

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**СПРАВОЧНИК
НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Некоммерческое партнерство
«ЦЕНТР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕРТИФИКАЦИИ –
ЗЕЛЕННЫЕ СТАНДАРТЫ»

Москва, 2013

Издатель
ООО «Деловые Медиа»

ПРЕДИСЛОВИЕ

В данном документе по умолчанию ссылки на Директиву относятся к Директиве Европейского Парламента и Совета по промышленным выбросам 2010/75/EU «Комплексное предотвращение и контроль загрязнений (переработанная)».

Первоначальный реферативный справочник (BREF) по наилучшим доступным технологиям (НДТ) для черной металлургии был принят Европейской Комиссией в 2001 г. В ноябре 2005 г. начался его пересмотр.

Справочник BREF по наилучшим доступным технологиям для черной металлургии представляет результаты обмена информацией между государствами-членами ЕС, заинтересованными представителями промышленности, неправительственными организациями (НПО), оказывающими содействие в защите окружающей среды, и Комиссией по составлению, проверке и, при необходимости, обновлению справочников по НДТ, в соответствии со ст. 13(1) Директивы.

Обмен информацией осуществлялся на форуме, организованном Европейской Комиссией. Члены форума предложили кандидатуры технических экспертов, из которых была образована Техническая рабочая группа (ТРГ), которая явилась основным источником информации для составления справочника BREF. Работу ТРГ возглавляет Европейское бюро комплексного предотвращения и контроля загрязнений (Совместный исследовательский центр Комиссии).

Справочник BREF по наилучшим доступным технологиям (НДТ) для черной металлургии был опубликован 8 марта 2012 г.

Настоящий справочный документ по применению наилучших доступных технологий (НДТ) в промышленности по переработке чёрных металлов составлен на основе переведённого и адаптированного для применения на территории Российской Федерации справочника BREF по наилучшим доступным технологиям (BAT) для черной металлургии.

Настоящий справочный документ разделён на 12 разделов.

В разделе 1 приведена общая информация о секторе черной металлургии.

В разделе 2 приведена информация и данные об общих промышленных процессах и способах, используемых в этом секторе. Характеризуются также «горизонтальные» взаимоотношения, связанные со специальными видами деятельности, которые не связаны с тем или иным видом деятельности в черной металлургии.

В разделах 3-8 приведена информация по конкретным процессам в черной металлургии (агломерационные установки, грануляция, коксовые печи, доменные печи, кислородно-конвертерный процесс выплавки стали и разливки, процесс выплавки стали в электродуговых печах и разливка).

В разделе 9 представлены заключения о наилучших доступных технологиях (НДТ).

В разделе 10 приведена информация об альтернативных технологиях в черной металлургии, которые уже применяются.



→ В разделе 11 приведена информация о “появляющихся технологиях”, определяемых в соответствии со ст. 3(14) Директивы.

Заключительные замечания и рекомендации для продолжения данной работы приведены в разделе 12.

Источниками информации для настоящего справочного документа явилась деятельность ТРГ, созданной специально для обмена информацией в рамках ст. 13 Директивы. Информация собиралась и оценивалась Европейским бюро комплексного предотвращения и контроля загрязнений (Совместный исследовательский центр Комиссии), которое возглавило работу по определению НДТ, руководствуясь принципами технической компетентности, прозрачности и нейтральности.

Заключения по НДТ составлялись с помощью метода последовательных приближений по этапам, приведенным ниже:

- идентификация ключевых экологических проблем сектора на основе двух самых важных технологических схем, а именно агломерационная установка/установка для окомкования/коксовая печь/доменная печь/кислородный конвертер и электродуговая печь. Ключевыми экологическими аспектами для действий при реагировании являются выбросы в воздух и потребление энергии;
- изучение технологий, которые являются самыми важными при обращении к этим ключевым проблемам;
- идентификация наилучших уровней экологических показателей, на основе имеющихся данных в ЕС и во всем мире;
- изучение условий, при которых были достигнуты эти уровни экологических показателей, таких как затраты, воздействия между элементами окружающей среды и основные движущие силы, участвующие при реализации этих технологий;
- выбор НДТ и связанных с ними уровней основных экологических показателей, методов соответствующего мониторинга в этом секторе согласно ст. 3(10) Приложения III к Директиве.

Экспертное заключение Европейского бюро комплексного предотвращения и контроля загрязнений и ТРГ играло ключевую роль в каждом из этих шагов и способе представления информации.

По возможности приведены экономические данные вместе с описанием технологий. Эти данные дают грубую оценку величины затрат и результатов. Однако реальные затраты и результаты от применения технологии зависят в значительной мере от конкретной ситуации на соответствующей установке, которую нельзя точно оценить в этом документе. При отсутствии данных, относящихся к затратам, заключения об экономической жизнеспособности технологий составлены на основе наблюдений на имеющихся установках.

Концепция применения НДТ является динамичной и поэтому проверка справочников BREF представляет собой непрерывный процесс. Например, по мере развития науки и технологий успешно внедряются новые процессы в промышленности. Для того чтобы отразить такие изменения и их последствия для НДТ, этот документ должен периодически пересматриваться, и при необходимости обновляться.

Содержание

1. ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ	9
1.1. Область действия	9
1.2. Производство стали в Европе и во всем мире	10
1.3. Географическое распределение выплавки чугуна и стали в ЕС	12
1.4. Экономические показатели и занятость в секторе черной металлургии	16
1.5. Процесс производства стали	16
1.6. Основные экологические проблемы при производстве чугуна и стали	20
 2. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ	 26
2.1. Регулирование потребления энергии в черной металлургии	26
2.1.1 Поток энергии и использование технологических газов на металлургическом заводе с полным циклом	26
2.1.2. Управление потоками пара и тепла на металлургическом заводе с полным циклом	29
2.1.3. Поток энергии в электродуговой печи	30
2.2. Электростанции на заводах черной металлургии	31
2.2.1. Применяемые процессы и технологии	31
2.2.2. Уровень выбросов и потребления	35
2.2.2.1 Выбросы в воздух	35
2.3 Управление материалами	38
2.3.1 Хранение и обращение с поступающими материалами	38
2.3.2 Управление отходами производства	42
2.3.2.1 Использование отходов в собственном производстве металлургического завода с полным циклом	42
2.3.2.2 Применение отходов металлургического завода с полным циклом как технологического сырья	44
2.3.2.3 Управление отходами металлургического завода с полным циклом	44
2.4 Управление водой и сточными водами	44

2.5 Основные технологии, рассматриваемые при определении НДТ	47
2.5.1 Системы управления охраной окружающей средой	49
2.5.2 Регулирование потребления энергии	53
2.5.2.1 Технологии для повышения эффективности использования энергии.....	53
2.5.2.2 Технологии для оптимизации использования технологических газов	54
2.5.2.3 Технологии для повышения эффективности утилизации тепла	55
2.5.2.4 Насосы и вентиляторы с частотно-регулируемым приводом.....	58
2.5.3 Снижение выбросов NOx на электростанциях, отапливаемых технологическими газами	60
2.5.3.1 Снижение выбросов NOx с помощью основных мер	60
2.5.3.2 Снижение выбросов NOx с помощью вспомогательных мер	62
2.5.4 Управление материалами	64
2.5.4.1 Технологии для улучшения использования лома	64
2.5.4.2 Технологии для снижения рассеянных выбросов от хранения и обращения с материалами.....	66
2.5.4.3 Технологии для регулирования сбросов в водные объекты от хранения, обращения и смешивания материалов	70
2.5.4.4 Специализированные установки для рециклинга отходов с высоким содержанием железа.....	71
2.5.5 Мониторинг на предприятиях черной металлургии	79
2.5.5.1 Непрерывный мониторинг параметров и выбросов в воздух	79
2.5.5.2 Примеры непрерывного мониторинга выбросов после систем обеспыливания.....	81
2.5.5.3 Мониторинг технологических газов	83
2.5.5.4 Периодический мониторинг выбросов после систем обеспыливания.....	84
2.5.5.5 Мониторинг PCDD/F.....	86
2.5.5.6 Мониторинг рассеянных и неорганизованных выбросов	88
2.5.5.7 Мониторинг сброса сточных вод.....	92
2.5.6 Снижение уровней шума.....	92

3. АГЛОМЕРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ	93
3.1 Применяемые процессы и технологии	93
3.1.1 Цель процесса агломерации	93
3.1.2 Усреднение и смешение сырья	95
3.1.3 Работа агломерационной ленты.....	95
3.1.4 Грохочение горячего и охлажденного агломерата	97
3.2 Уровни выбросов и потребления	98
3.2.1 Обзор основных потоков и данных потребления и производства.....	98
3.2.2 Экологические проблемы для процесса агломерации	102
3.2.2.1 Выбросы в воздух	102
3.2.2.2 Сточные воды.....	118
3.2.2.3 Отходы и побочные продукты	119
3.2.2.4 Потребление энергии	120
3.2.2.5 Шум.....	120
3.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ для агломерационных установок	120
3.3.1 Оптимизация технологического процесса	120
3.3.2 Методы снижения выбросов в воздух от агломерационных установок	124
3.3.2.1 Современные электростатические пылеуловители (EPS)	124
3.3.2.2 Рукавный фильтр – комбинированное или комплексное снижение выбросов твердых и газообразных загрязнителей.....	133
3.3.2.3 Циклоны.....	146
3.3.2.4 Мокрые золоуловители	147
3.3.2.5 Снижение выбросов летучих органически соединений (ЛОС).....	152
3.3.2.6 Снижение выбросов PCDD/F	155
3.3.2.7 Снижение выбросов SO ₂	156
3.3.2.8 Снижение выбросов NO _x	166
3.3.3 Пылеулавливание и снижение выбросов пыли от вторичных источников ..	170
3.3.4 Использование отходов и побочных продуктов производства на агломерационной установке	172
3.3.5 Утилизация тепла в процессе спекания	174
3.3.5.1 Утилизация тепла при спекании и охлаждении агломерата	174
3.3.5.2 Частичная утилизация отходящих газов.....	177

4. УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ	194
4.1. Применяемые процессы и технологии	194
4.1.1 Дробление и сушка/обезвоживание.....	195
4.1.2 Приготовление сырья окатышей	196
4.1.3 Отвердевание.....	196
4.1.3.1 Процесс обжига с прямолинейным движением.....	197
4.1.3.2 Процесс обжига в ротационной печи.....	198
4.1.4 Грохочение и обработка	198
4.2 Нынешние уровни выбросов и потребления.....	199
4.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления производства.....	199
4.2.2 Экологические проблемы в процессе изготовления окатышей.....	201
4.2.2.1 Выбросы в воздух	201
4.2.2.2 Потоки воды	203
4.2.2.3 Остатки процесса, такие как отходы и побочные продукты.....	204
4.2.2.4 Потребление энергии	204
4.2.2.5 Шум.....	204
4.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ для установок получения окатышей.....	205
4.3.1 Общая информация	205
4.3.2 Электростатические пылеуловители на дробилках (сухое измельчение).....	206
4.3.3 Индивидуальное или совместное снижение содержания твердых и газообразных загрязняющих веществ из зон сушки и отвердевания.....	207
4.3.4 Адсорбер по принципу выпадения газовой взвеси (GSA)	208
4.3.5 Интегрированная в технологический процесс очистка от оксидов азота.....	210
4.3.6 Селективное каталитическое восстановление (SCR).....	211
4.3.7 Очистка сточных вод на установке для получения окатышей.....	212
4.3.8 Установка для удаления мышьяка	213
4.3.9 Утилизация физического тепла с участка отвердевания окатышей	214

1. ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1.1 Область действия

Этот справочный документ по применению наилучших доступных технологий (НДТ) для черной металлургии охватывает темы, определенные в Приложении I к Директиве 2010/75/EU, а именно: экономическую деятельность при производстве кокса; отжиге и спекании металлических руд (включая сульфидную руду); производстве чушкового чугуна и стали (первичную или вторичную плавку), включая непрерывную разливку, производительностью выше 2,5 т/ч.

В частности, настоящий справочный документ охватывает следующие процессы:

- загрузку, разгрузку и перемещение крупнотоннажного сырья;
- составление смесей и смешение сырья;
- спекание и окомкование железной руды;
- производство кокса из коксующихся углей;
- производство горячего металла в доменных печах, включая переработку шлака;
- производство и рафинирование стали с использованием конвертерного процесса, включая предшествующую десульфуризацию в ковше, последующую ковшовую металлургию и переработку шлака;
- производство стали в электродуговых печах, включая последующую ковшовую металлургию и переработку шлака;
- непрерывную разливку (тонкий слаб/тонкая лента) и непрерывную разливку листа (по форме, близкой к окончательной).

В исходном справочнике BREF не рассматривались следующие виды экономической деятельности:

- производство извести в обжиговых печах, которое входит в BREF для производства цемента, извести и оксида магния (CLM);
- переработка пыли для утилизации цветных металлов (например, пыль электродуговых печей) и производство ферросплавов, которые входят в BREF для цветной металлургии (NFM);
- эксплуатация установок для удаления серной кислоты в коксовых печах, которая рассматривается в BREF для крупнотоннажного производства неорганических химических соединений – аммиака, кислот и удобрений (LVIC-AAF). Однако в настоящем справочном документе представлены полезные сведения об основных типах процессов десульфуризации коксового газа.

Ниже (табл. 1.1) приведены другие справочные документы BREF, имеющие важное значение для смежной экономической деятельности.

ТАБЛИЦА 1.1

Справочные документы BREF	Экономическая деятельность
Для крупных топливосжигающих установок (LCP)	Установки для сжигания с номинальной тепловой мощностью 50 и более МВт
Для цветной металлургии (FMP)	Технологические процессы типа прокатки, травления, нанесения покрытий и т.д.
Для выбросов от хранения и обращения (EFS)	Хранение и обращение с материалами
Для систем промышленного охлаждения (ICS)	Системы охлаждения агрегатов и технологического оборудования
Общие принципы мониторинга (MON)	Мониторинг выбросов и потребления
По энергоэффективности (ENF)	Требования по энергоэффективности
Экономика и воздействия (ECM)	Экономика и воздействия между средами от технологий

Исходный справочник BREF включает новые разделы для электростанций на заводах черной металлургии, работающих на технологических газах. Однако полученная информация, относящаяся к выбросам с этих станций, оказалась недостаточной, для того чтобы можно было сделать заключение по BAT-AELs (уровни выбросов по BAT) для SO_2 , NO_x и CO. Эта проблема должна рассматриваться в специальной главе пересмотренного BREF для крупных топливосжигающих установок (LCP). [282]

Область действия справочников BREF не включает вопросы, которые относятся только к безопасности на рабочем месте или безопасности продукции, поскольку эти вопросы не охвачены Директивой. Они обсуждаются только тогда, когда оказываются в области действия Директивы.

1.2 Производство стали в Европе и во всем мире [92, 13, 250]

Чугун и сталь играли важную роль в развитии человеческой цивилизации на протяжении столетий, и мы можем найти их применение в сельском хозяйстве, строительстве, генерации и распределении энергии, производстве машин и оборудования, в домашнем хозяйстве и медицине.

Мировое производство стали значительно выросло с 2000 г. и превысило 1000 млн т впервые в 2004 г. В 2006 г. мировое производство стали превысило 1200 млн т (рис. 1.1). Основной причиной этого стало то, что производство стали в Китае возросло со 121 до 421 млн т в 2006 г.

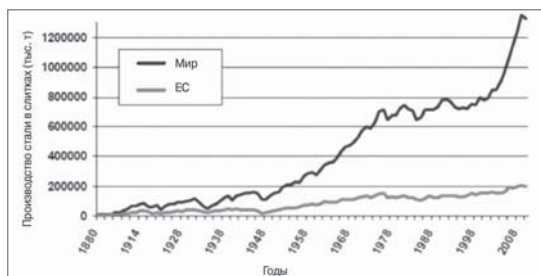


Рис. 1.1 Производство стали в слитках в Европе и во всем мире с 1880 г. [286]

Производство стали в слитках в ЕС возрастало на 1,2% в год в период с 1985 по 1994 г. (по объему). Самый быстрый рост наблюдался в течение трех лет с 1986 по 1989 гг. (3,7% в год). Впоследствии производство в странах ЕС-12 снизилось со 140 до 132 млн 1992 и 1993 г., перед повышением до 140 млн т в 1994 г. и 143 млн т в 1995 г. После вступления Австрии, Финляндии и Швеции в ЕС производство стали в слитках возросло до 156 млн т в 1995 г. С 2000 г. производство стали в ЕС стабилизировалось, а во всем мире продолжало расти. В 2006 г. производство стали в слитках в ЕС составило 198 млн т., по сравнению со 120 млн т в России и Японии, США и Китае 116,99 и 421 млн т, соответственно.

Из рис. 1.1 видно также, что европейская доля в мировом производстве стали устойчиво снижалась, снизившись до уровня 21% в 1970 г. После нефтяного кризиса 1974-75 гг. рост производства фактически приостановился в Европе и существенно снизился во всем мире вплоть до середины 1990-х гг. При производстве 198 млн т в 2008 г. доля ЕС в 2008 г. составила 15% от мирового производства.[286]

На рис. 1.2 показано, что производство конвертерной стали оставалось почти постоянным, в то время как производство стали в электродуговых печах постепенно возрастало.

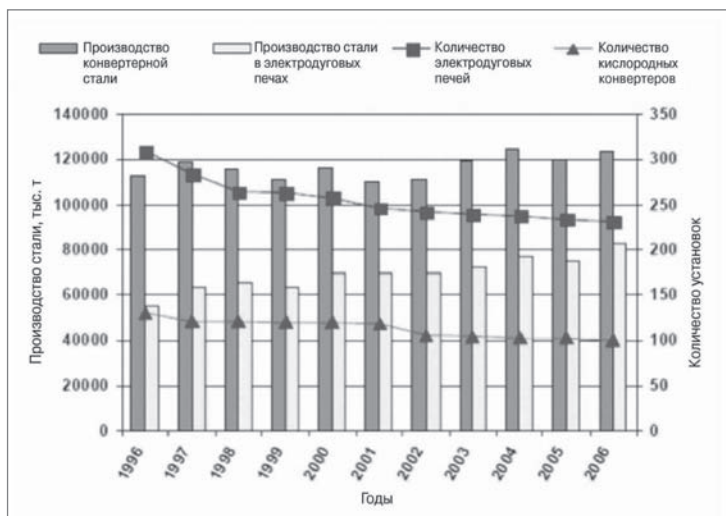


Рис. 1.2. Производство стали в электродуговых печах и кислородных конвертерах в ЕС с 1996 по 2006 г. [286]

Доля производства стали в электродуговых печах в общем производстве стали достигла 41,8% в 2006 г. Тем не менее, прогнозируется, что направление производства доменная печь – кислородный конвертер будет оставаться доминирующим в производстве стали, по крайней мере, в среднесрочной перспективе.

1.3 Географическое распределение выплавки чугуна и стали в ЕС [200], [205], [207], [208], [209], [240], [288], [318], [366], [403]

В табл. 1.2 – 1.7 показано распределение металлургических объектов по мощностям и другим характеристикам в странах ЕС-27.

ТАБЛИЦА 1.2. КОЛИЧЕСТВО УСТАНОВОК И ОБЪЁМ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА И ОКАТЫШЕЙ В СТРАНАХ ЕС-27

Государство-член ЕС	Количество установок для спекания	Количество конвейеров агломашин	Рабочая поверхность ленты, м ²	Производство, тыс. т/год	Количество установок для окатышей	Производство, тыс. т/год
Австрия	2	2	342	3500		
Бельгия	4	5	1405	15300		
Чешская Республика (1)	2	9	735	6500		
Германия	8	12	2289	29400		
Испания	1	2	481	5400		
Финляндия	1	3	225	2700		
Франция (2)	5	6	2013	23765		
Венгрия	2	2	100	900		
Италия	2	7	962	11500		
Нидерланды		3	354	4400	1	4900 (1)
Польша	2	4	1161	9000		
Словакия (1)	1	4	440	4100		
Швеция	0				5	22150 (2)
Соединенное Королевство	3	4	1328	13700		
Итого	34	63	11828	130165	6	27050

(1) Данные за 2007 г.

(2) Данные за 2008 г.

Примечания. Остальные данные за 2005 г.

ТАБЛИЦА 1.3 ПРОИЗВОДСТВО КОКСА В СТРАНАХ ЕС-27 [156], [286]

Государство-член ЕС	Производство, тыс. т/год
Австрия	1360
Бельгия	2714
Болгария	615
Чешская Республика	3231
Германия	8250
Испания	2747
Финляндия	870
Франция	4290
Венгрия	913
Италия	4580
Нидерланды	2160
Польша	9599
Румыния	1804
Швеция	1182
Словакия	1749
Соединенное Королевство	4276
Итого	50340

Примечание. Данные за 2006 г.

**ТАБЛИЦА 1.4 КОЛИЧЕСТВО ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ И ПРОИЗВОДСТВО ЧУГУНА
В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ ЕС [286]**

Государство-член ЕС	Количество печей	Производство, тыс. т/год
Австрия	6	5547
Бельгия	4	7516
Болгария	3	1147
Чешская Республика	6	6185(1)
Германия	18	30360
Испания	2	3432
Финляндия	3	3158
Франция	10	13013
Венгрия	2	1336
Италия	6	11492
Нидерланды	2	5417
Польша	7	5333
Румыния	4	3975
Швеция	3	3577
Словакия	3	4100 (1)
Соединенное Королевство	7	10696
Итого	86	116284

Примечание. Данные за 2006 г. (1).

13

**ТАБЛИЦА 1.5 КОЛИЧЕСТВО КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ И ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В НИХ В
СТРАНАХ ЕС [286]**

Государство-член ЕС	Количество кислородных конвертеров	Производство, тыс. т/год
Австрия	5	6487
Бельгия	8	8172
Болгария	3	1155
Чешская Республика	4	6283
Германия	21	32550
Испания	3	3601
Финляндия	8	3454
Франция	7	12242
Венгрия	9	1650
Италия	3	11823
Нидерланды	2	6223
Польша	6	5766
Румыния	5	4374
Швеция	3	3585
Словакия	4	4715
Соединенное Королевство	8	11203
Итого	101	123283

Примечание. Данные за 2006 г.

ТАБЛИЦА 1.6 КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ И ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В НИХ В СТРАНАХ ЕС-27 [286]

Государство-член ЕС	Количество ЕАФ	Производство, тыс. т/год
Австрия	3	643
Бельгия	7	w3458
Болгария	6	696
Чешская Республика	16	578
Германия	42	14674
Греция	6	2416
Испания	28	14790
Финляндия	3	1600
Франция	25	7610
Венгрия	2	439
Италия	44	19794
Люксембург	3	2802
Латвия	-	3
Нидерланды	2	150
Польша	12	4244
Португалия	2	1400
Румыния	7	1889
Швеция	8	1881
Словения	3	628
Словакия	1	378
Соединенное Королевство	10	2666
Итого	231	82736

Примечание. Данные за 2006 г.

ТАБЛИЦА 1.7 ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ УСТАНОВОК НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ СТАЛИ В ЕС -27 [286]

Государство-член ЕС	Производительность, тыс. т/год
Австрия	6836
Бельгия	11631
Болгария	1227
Чешская Республика	6145
Германия	45497
Эстония	0
Греция	2416
Испания	18278
Финляндия	529
Франция	18984
Венгрия	285
Италия	3170
Люксембург	2802
Латвия	548
Нидерланды	6213
Польша	8248
Португалия	1380

Государство-член ЕС	Производительность, тыс. т/год
Румыния	5450
Швеция	4779
Словения	520
Словакия	581
Соединенное Королевство	13652
Итого	196971

Примечание. Данные за 2006 г.

1990-е гг. не были отмечены массовым внедрением абсолютно новых технологий в ЕС. Скорее были усовершенствованы классические методы производства на различных стадиях (доменные печи, выплавка стали и т.д.), и они оказались намного более эффективными за счет усовершенствования производственной цепи. Эти усовершенствования позволили значительно снизить потребление энергии и уровня загрязнений, и в то же самое время повысить качество продукции.

Размещение металлургических заводов с полным циклом в странах ЕС-27 показано на рис. 1.3, из которого четко видна концентрация заводов вдоль угольного пояса Европы. Тем не менее, металлургические заводы с полным циклом имеются в большинстве государств-членов.



Рис. 1.3 Географическое распределение заводов с полным циклом в странах ЕС [47]

1.4 Экономические показатели и занятость в секторе черной металлургии ЕС [27], [28], [200], [250], [286], [291] [292], [293]

Глобализация мировой экономики оказывает огромное воздействие на черную металлургию. Эта отрасль подвергается значительным структурным изменениям. На протяжении 1990-х и 2000-х годов эти изменения характеризовались разработкой новых концепций в производстве стали (например, мини-электросталеплавильные комплексы, новые концепции электродуговых печей, новые технологии разлива и технологии прямого восстановления или восстановительной плавки). Условия высокой конкуренции на рынках могут ускорить эти структурные изменения и содействовать консолидации компаний в черной металлургии. Это следует из растущего количества объединений одних, с образованием совместных предприятий и поглощением других. Развитие непрерывной разливки оказало чрезвычайно положительное воздействие на экономику черной металлургии в 1970-е и 1980-е годы.

Черная металлургия является ключевой отраслью в экономике и товарной конкурентоспособности Европы. При производстве 198 млн т на страны ЕС-27 пришлось 15 % мирового производства стали в 2008 г. Годовой оборот в секторе черной металлургии ЕС составляет приблизительно 150 млрд. евро, а число работающих составляет 440 тыс. чел. [184]. В табл. 1.8 показано изменение занятости в странах ЕС-15 с 1996 по 2004 г.

ТАБЛИЦА 1.8 ЗАНЯТОСТЬ В СЕКТОРЕ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ЕС-15 С 1996 ПО 2004 Г. [286]

Государство-член ЕС	Число рабочих и служащих	
	1996 г.	2004 г.
Австрия	12651	11000
Бельгия	22638	17700
Германия	114305	92660
Дания	1170	400
Греция	2006	2000
Испания	22955	21600
Финляндия	7210	8400
Франция	38106	37000
Ирландия	375	NA
Италия	36226	39150
Люксембург	5196	4100
Нидерланды	12211	10400
Португалия	2231	1100
Швеция	13648	18800
Соединенное Королевство	36527	20950
Итого	327455	285260

Примечание. NA – нет данных.

1.5 Процесс производства стали [60], [200]

В настоящее время в мире используется четыре способа производства ста-

ли: классическое, кислородно-конвертерное производство (приблизительно 59,8%) или выплавка в электродуговых печах и прямое восстановление (приблизительно 40,2%) (см. табл. 1.5, табл. 1.6 и рис. 1.4).

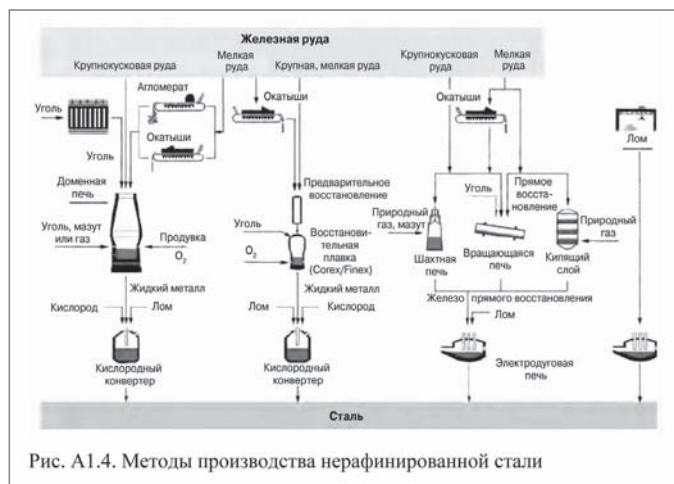


Рис. 1.4. Методы производства неафинированной стали

Процентная доля мирового производства неафинированной стали с помощью прямого восстановления (DR) составила около 6,8% в 2006 г., что соответствовало 59,8 млн т железа прямого восстановления (DRI). С учетом планируемых производственных площадок для DRI мировое производство DRI должно было возрасти до 80 млн т к 2010 г. В Европе производство DRI было ограничено 704000 т в 2006 г. (580000 т в Германии и 124000 т в Швеции), что составляло приблизительно 1,5% от мирового производства. Потребление DRI в ЕАФ, по данным за 2006 г., составило 1,523 млн т в ЕС-27.

К концу 2007 г. в общей сложности в эксплуатации находилось шесть установок для восстановительной плавки железной руды, при общей производительности по выплавке 7,45 т горячего металла. В странах ЕС-27 не имеется установок для восстановительной плавки в промышленном масштабе. Поэтому данные способы здесь не описаны, но мы будем упоминать о них в гл. 10: “Альтернативные технологии в черной металлургии”.

Металлургические заводы полного цикла.

Из четырех способов выплавки стали, описанных выше, классическая схема — доменная печь/кислородный конвертер вне всякого сомнения является самой сложной и она характерна для крупных промышленных комплексов, известных как металлургические заводы полного цикла, занимающих площадь несколько кв. км (рис. 1.5). Металлургические заводы полного цикла характеризуются сетями взаимозависимых потоков материалов и энергии между различными промышленными установками, большая часть которых приведена в этом докумен-

те (агломерационные установки, установки для получения окатышей, коксовые печи, доменные печи и кислородные конвертеры с последующей разливкой). Перед подробным описанием этих индивидуальных типов установок будет дано общее представление об упомянутой взаимозависимости.



Рис. 1.5. Вид сверху металлургического завода с полным циклом вблизи побережья [200]

Обзор процесса

Технологические маршруты металлургического завода с полным циклом, рассматриваемые в этом BREF, приведены на рис. 1.6.

18

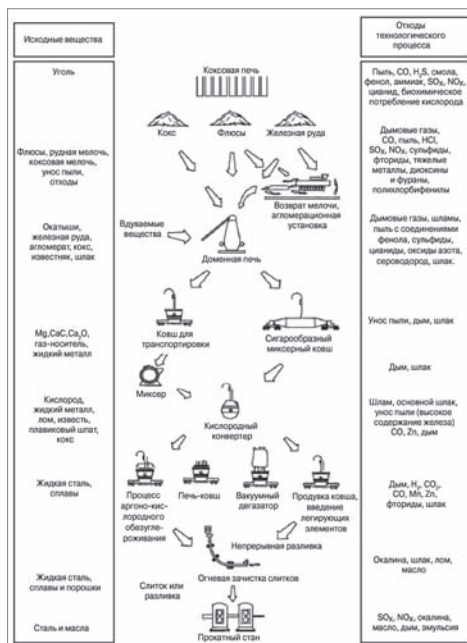


Рис. 1.6. Обзор технологических методов на заводе с полным циклом. [200]

На этом рисунке представлена схема основных потоков сырья и выбросов и остатков, связанных с процессом для каждой стадии технологического маршрута.

На заводе с полным циклом доменная печь является основной структурной единицей, в которой происходит восстановление оксидов железной руды с получением жидкого чугуна, называемого также “жидким металлом”. Для современной доменной печи с высокими эксплуатационными характеристиками требуется физическая и металлургическая подготовка руды. Для подготовки железной руды используются установки двух типов: для спекания и для получения окатышей. Окатыши почти всегда изготавливают из строго определенной железной руды или концентрата. В Европе имеется только один завод с полным циклом, на котором работает установка для получения окатышей. Агломерат обычно производится на заводах из заданных смесей тонкоизмельченных руд, остатков и аддитивов.

Основными восстанавливающими агентами в доменной печи являются кокс и угольная пыль, образующие монооксид углерода и водород, которые восстанавливают оксиды железа. Кокс и уголь также частично выступают в роли топлива.

Кокс производится из угля с помощью сухой перегонки коксующихся углей в коксовой печи, и он имеет лучшие физические характеристики, чем уголь. Во многих случаях дополнительные восстанавливающие агенты/топлива поставляются с помощью вдувания жидкого топлива, природного газа (и в некоторых случаях) пластика. Горячее дутье обеспечивает необходимый кислород для образования монооксида углерода (CO), который служит основным восстанавливающим агентом для оксидов железа.

Доменная печь загружается сверху шихтой. Она состоит из чередующихся слоев кокса и смеси агломерата и (или) окатышей, кусковой руды и флюсов. В печи железная руда все больше и больше восстанавливается, а жидкий чугун и шлак собираются в горне печи, откуда они сливаются.

Шлак из доменной печи гранулируется, окомковывается или выпускается в шлаковую траншею. Гранулы или куски шлака обычно продаются компаниям, производящим цемент. Шлак из траншей можно также использовать в дорожном строительстве.

Жидкий чугун из доменной печи (жидкий металл) транспортируется в кислородный конвертор, в котором содержание углерода (приблизительно 4%) снижается менее чем до 1%, в результате чего получается сталь. Обычно применяется предшествующая десульфуризация жидкого металла в ковше и последующая ковшовая металлургия, для того чтобы получить сталь требуемого качества. После выпуска из кислородного конвертора жидкая сталь разливается либо в слитки, либо с помощью непрерывной разливки. В некоторых случаях применяется вакуумная дегазация, для того чтобы дополнительно повысить качество стали.

Литые изделия, будь то слитки, слябы, заготовки или блюмсы впоследствии подвергаются обработке в прокатных станах и на чистовых линиях, для того чтобы подготовить их для рынка.

1.6 Основные экологические проблемы при производстве чугуна и стали [200], [240], [246], [289], [389]

Черная металлургия является материалоемкой и энергоемкой отраслью. На рис. 1.7 представлена упрощенная схема входных и выходных потоков, иллюстрирующая и дающая цифровые показатели для самых важных потоков вместе с количеством произведенной нерафинированной стали в ЕС-27 в 2006 г. В эту схему не включены горнопромышленное сырье, вода и газообразные продукты, иные, чем топливо и связанные с деятельностью по рециклингу.

Из рисунка следует, что почти половина вводимых ресурсов превращается в отходящие газы, технологические газы и твердые остатки.

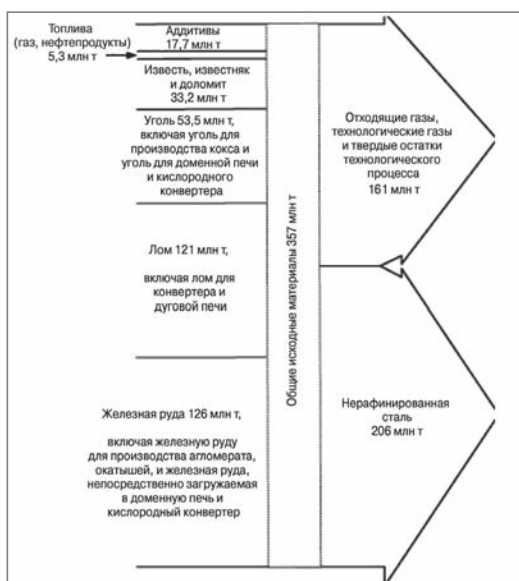


Рис. 1.7 Обзор входных и выходных потоков материалов для производства чугуна и стали в ЕС-27 в 2006 г. [286]

Если следовать по двум самым важным процессам в способах производства стали с помощью установки для получения агломерата/окатышей/коксовой печи/ доменной печи/кислородного конвертера и электродуговой печи, то можно определить основные экологические проблемы, на которые следует обратить внимание.

Агломерационная установка

Агломерат, как продукт процесса агломерации материалов, в которых содержится железо, представляет собой основную часть шихты в доменной печи. На выбросы от главной дымовой трубы агломерационных установок приходится до 50% общих выбросов пыли от металлургического завода с полным циклом. Другими важными загрязняющими веществами в выбросах дымовых газов от агломерационной ленты и охладителя являются тяжелые металлы, SO_2 , HCl ,

НФ, ПАХ и стойкие загрязнители (такие как РСВ и PCDD/F). Кроме того, определенные проблемы связаны с утилизацией физического тепла и использованием твердых отходов. Выгоды для окружающей среды в этом процессе связаны с рециклингом твердых побочных продуктов с высоким содержанием железа в последующих процессах и с потенциальной утилизацией тепла.

Установки для получения окатышей

Окомкование является еще одним процессом, используемым для спекания материалов, в которых содержится железо, когда доминирующей экологической проблемой являются выбросы в воздух. Другими важными проблемами на установках для получения окатышей являются использование физического тепла, очистка сточных вод и внутреннее использование остатков процесса.

Коксовые заводы

Завод состоит из одной или более коксовых батарей с устройством для нагревания в коксовой печи (без доступа воздуха) и установки для очистки технологического газа. Самой важной проблемой являются выбросы в воздух. Основной источник выбросов в воздух – отходящие газы от процесса коксования. Кроме того, многие выбросы являются рассеянными выбросами от различных источников, таких как разгрузка, хранение, транспортирование, дробление и смешение (подготовка) угля, утечки из крышек и разравнивателей, дверей коксовых печей, подъемных труб и загрузочных окон для угля и выдачи кокса из камер, и, наконец, тушения кокса и сортировки (дробления и грохочения), транспортирование, обращение и хранение. Рассеянные/неорганизованные выбросы летучих органических соединений (ЛОС) в воздух могут происходить из коксовых батарей, а рассеянные (неорганизованные) выбросы аммиака и ВТХ (бензола, толуола, ксилола) от установок для переработки побочных продуктов, которые обладают потенциалом образования неприятных запахов. Выбросы пыли и SO_2 с коксовых заводов и других установок, в которых коксовый газ используется в качестве топлива, также вызывают проблемы. Так, десульфуризация коксового газа является приоритетным средством минимизации этих выбросов. Еще одна серьезная проблема для коксовых заводов – удаление сточных вод. Оптимизированное управление коксовым газом и его использование в других процессах металлургических заводов с полным циклом позволяет экономить энергию и минимизировать выбросы в воздух.

Доменные цеха

Значительные выбросы во все среды происходят при осуществлении процесса в доменной печи с целью получения жидкого металла из материалов, содержащих железо. Вследствие высокого уровня использования восстанавливающих агентов (главным образом кокса и угля) в этом процессе потребляется большая часть энергии, потребляемой заводом с полным циклом. Происходят выбросы во все среды, и они будут подробно описаны. Основные экологические проблемы связаны с образованием пыли, сточными водами от скрубберов Вентури для очистки доменного газа, выбросами от переработки шлака, такими как SO_2 и H_2S , которые могут привести к неприятным запахам, пылью и шламом, и, наконец, с минимизацией потребления энергии.

Цеха кислородных конвертеров

Выбросы в воздух от различных источников, таких как первичное и вторичное обеспыливание, предварительная обработка жидкого металла и внепечная обработка стали, а также различные твердые остатки технологического процесса представляют основные экологические проблемы в кислородно-конвертерном производстве. Кроме того, появляются сточные воды от мокрого обеспыливания (в случае его применения) и от непрерывной разливки. Особое внимание следует уделять рассеянным выбросам пыли, которые происходят в случае неэффективной работы системы улавливания вторичных выбросов.

Электросталеплавильные цеха

Непосредственная плавка материалов, содержащих железо (главным образом лом) обычно осуществляется в электродуговых печах, для которых необходимо значительное количество электроэнергии, и сопровождается значительными выбросами в воздух и образованием твердых остатков, таких как отходы и побочные продукты (главным образом пыль от фильтров и шлак). Выбросы в воздух от печи состоят из широкого диапазона неорганических соединений (пыль с оксидами железа и тяжелыми металлами) и органических соединений, таких как стойкие органические загрязнители (например, РСВ и PCDD/F).

Потребление энергии

Потребление энергии на заводах черной металлургии значительное. При потреблении энергии образуется такой парниковый газ как CO₂. В процессах, осуществляемых на таких заводах, имеется много источников выбросов CO₂, и они связаны с тремя основными факторами: обеспечением достаточной температуры, для того чтобы провести химические реакции и необходимую физическую переработку; обеспечением поставки восстановителя (главным образом СО) в систему, для того чтобы восстановить оксиды железа; обеспечением поставки электроэнергии и пара, необходимых для работы заводов.

Удельное потребление энергии для производства стали в электродуговых печах в Европе в среднем составляет около 1,8 ГВт/т жидкой стали. С учетом эффективности использования поставляемой энергии потребление первичной энергии должно быть значительно выше. В дополнение к этому, имеется поставка ископаемого топлива в количестве около 0,5 ГДж/т жидкой стали.

В частности, поскольку СО₂, образуемый при потреблении энергии, является парниковым газом (ПГ), экономия энергии должна стать основной целью проводимых изменений, и в настоящее время это считается частичным решением проблемы глобального потепления, которая представляет собой экологическую проблему мирового масштаба.

Как упоминалось в Сводном отчете об изменении климата IPCC (Межправительственной группы по изменению климата) от 2007 г., не имеется однозначного выбора для политики по смягчению изменения климата. Решение скорее можно найти в последовательности из выборов ослабления для стабилизации в атмосфере концентрации ПГ [40].

Что касается черной металлургии, то выбросы CO_2 зависят в значительной степени от типов и количеств восстанавливающих агентов (например, кокса, угля и нефтепродуктов), используемых в доменной печи. По этой причине черная металлургия активно реализует различные меры для снижения потребления энергии, вообще, и выбросов ПГ, таких как CO_2 , в частности. Масштабные усилия были предприняты для снижения потребления восстанавливающих агентов (ближе к стехиометрической минимальной потребности). С 1980 г. удельное потребление энергии снизилось с 23 приблизительно до 17 ГДж/т жидкой стали в 2004 г. для современного завода с полным циклом [35].

Потребление энергии постоянно снижается в результате внедрения энергоэффективного оборудования в процессах производства стали и повышения эффективности объектов для преобразования энергии, таких как электростанции. Оборудование для экономии энергии включает в себя оборудование для утилизации вторичных энергоресурсов. Еще одной мерой является оптимизация потребления энергии и затрат за счет внедрения общей системы для регулирования потребления энергии. Все эти меры обсуждаются в данном документе.

В некоторой степени, прямое восстановление (DR) может быть вариантом для снижения выбросов CO_2 .

Кроме того, помимо экономии энергии и повышения эффективности ее использования были разработаны проекты для снижения выбросов диоксида углерода с целью улавливания и хранения CO_2 , что описано в данном документе.

Другие проблемы

Другие важные проблемы, обсуждаемые в данном документе, связаны с запахом и шумовыми выбросами, которые могут быть довольно значительными для некоторых процессов.

В данном документе не рассмотрены проблемы, связанные с местным загрязнением почвы и грунтовых вод.

В табл. 1.9 – 1.11 представлен подробный обзор выбросов в различных частях процессов (I – III) на предприятиях черной металлургии.

ТАБЛИЦА 1.9 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ МАРШРУТЫ ВЫБРОСОВ ПРЕДПИСАННЫХ И ДРУГИХ ВЕЩЕСТВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ПРИЧИНИТЬ ВРЕД ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ (I) [240]

Выбросы	Источники														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Оксиды серы		A		A		A			A	A	A		A	A	
Оксиды азота		A		A		A							A	A	
Диоксид углерода		A		A		A		A		A	A	A	A	A	
CO	A		A			A		A	A		A		A	A	
Хлорид водорода	A		A									A	A		
Фторид водорода	A		A											A	
Сульфид водорода								A							
Аммиак								w							
Оксиды железа	Aw	A	A	A				A	A	A	A	A	A	A	A
Щелочные металлы		A	A	A				A	A	AL	A	A			

Выбросы	Источники														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Щелочноземельные металлы		A	A	A				A	A	AL	A	A			
Частицы оксидов металлов	Aw	A	A	A			A	A	A	A	A	A			
Неметаллические частицы	Aw	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A			
Металлическое железо												A			
Неорганические фториды			A	A				A			A	A			
Цианид водорода								w							
Кадмий и оксид кадмия	W	A		A				A			A	A	A	A	
Цинк, свинец и их оксиды	w	A		A				A				A	A	A	A
Другие металлы и их оксиды	Aw		A	A									A	A	A
Соединения фосфора								WI			AwI				
Сера										I	A				
Углерод								A				A			
Другие неорганические химикаты	AW												A	A	
Масла и жиры	W														
Шлак								LI			LI			LI	LI
Шламы								wLI		LI	wLI				
Отходы огнеупоров	Aw														
PCDD/F		A		a								A		A	
РАН		A												A	
PCB		A												A	
ЛОС		A		a			A					A		A	

Примечания: 1) Источники: 1 – обращение с сырьем; 2 – установка агломерации: очистка дымовых газов; 3 – установка агломерации: вторичные выбросы; 4 – установки для получения окатышей; 5 – пылеприготовление; 6 – воздухонагреватели доменной печи; 7 – подбункерное помещение; 8 – первичная очистка доменного газа; 9 – литейный двор; 10 – десульфуризация; 11 – кислородный конвертер: продувка (первичные выбросы); 12 – кислородный конвертер: загрузка/выпуск (вторичные выбросы); 13 – электродуговая печь: загрузка; 14 – электродуговая печь: плавка и рафинирование; 15 – электродуговая печь: выпуск стали и шлака.

2) Основные загрязняющие вещества: A – выбросы в воздух; W – сбросы в воду; L – сбросы на землю; другие вещества: a – выбросы в воздух; w – сбросы в воду; l – сбросы на землю.

3) Вещества включают их соединения, за исключением того, когда дается отдельная ссылка на соединение. Выбросы в воздух могут также сопровождаться сбросами в воду и на землю, в зависимости от используемого способа борьбы с выбросами, например, с помощью улавливания пыли, сбора шламов или жидкостей.

ТАБЛИЦА 1.10 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ МАРШРУТЫ ВЫБРОСОВ ПРЕДПИСАННЫХ ВЕЩЕСТВ И ДРУГИХ ВЕЩЕСТВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ПРИЧИНИТЬ ВРЕД ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ (II) [240]

Выбросы	Источники														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Оксиды серы	A		A					A					A		
Оксиды азота			A						A						
Диоксид углерода			A	A		A			A			A			
СО			A	A		A			A						
Хлорид водорода															
Фторид водорода			A				A								
Сульфид водорода														A	
Аммиак															

Выбросы	Источники														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Оксиды железа	Al	A	A	A		A	I		A		AwI	Al	AwI	wI	Al
Щелочные металлы														wL	AL
Щелочноземельные металлы														wL	AL
Частицы оксидов металлов											AwI	Al	AwI	wI	Al
Неметаллические частицы														wI	
Металлическое железо	Al									A				wI	
Неорганические фториды	Al	A													
Цианид водорода	AlI	A													
Кадмий и оксид кадмия					WI	A	I								
Цинк, свинец и их оксиды					wIA		I				AwI	Al	AwI		Al
Другие металлы и их оксиды			A	A	wLIA		LI			A	AwI		AwI		ALI
Соединения фосфора			A												
Сера														wI	
Углерод															
Другие неорганические химикаты	Al	ALI	A												
Масла и жиры											W				
Отходы шлака	Al		LI	ALI	I	LI			LI	LI		LI		LI	LI
Шламы													wI		
Отходы огнеупоров	ALI				I	LI	I	LI	LI		LI	LI		LI	
PCDD/F															
ЛОС															

Примечания: 1) Источники: 1 – электродуговая печь: ремонт футеровки печи и ковша; 2 – легирование; 3 – обработка в ковше; 4 – перелив из ковша в ковш и повторное науглероживание; 5 – дегазация; 6 – обезуглероживание; 7 – электрошлаковый переплав; 8 – вакуумно-индукционная плавка; 9 – индукционная плавка; 10 – ферросплавные порошки; 11 – непрерывное литье; 12 – разливка в слитки; 13 – огневая зачистка слитков; 14 – переработка шлака; 15 – выжигание настелей.

2) и 3) см. табл. 1.9.

ТАБЛИЦА 1.11 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ МАРШРУТЫ ВЫБРОСОВ ПРЕДПИСАННЫХ ВЕЩЕСТВ И ДРУГИХ ВЕЩЕСТВ, КОТОРЫЕ МОГУТ ПРИЧИНИТЬ ВРЕД ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ (III) [240]

Выбросы	Источники											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Твердые частицы	A	A	A	A	A	A	A	A				
Диоксид серы				A	A		A	A				
Сульфид водорода		A	A	A		A						A
Оксиды азота				A	A		A	A				
BTX		A	A	A		A					A	A
PAH	a	a	A	A		A						a
ЛОС	A		A			A						A
Фенолы		A	A			A	A				A	A
Метан	A		A			A	A					

Выбросы	Источники											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
СО	A	A	A	A	A	A						
Дым смолы		A	A	A		A	A	A				
Цианид водорода		A	A	A								A
Взвешенные твердые частицы									w			
Аммиак	A	A	A	A		A			w			
Цианид									w			
SCN (тиоцианаты)									W			
Металлы									W	I	L	
Сера											I	

Примечания. 1) Источники: 1 – выбросы при загрузке; 2 – утечки из колошника; 3 – утечки из дверей; 4 – выбросы при выгрузке; 5 – дымовые газы коксовой печи (дымовая труба коксовой батареи); 6 – аварийная вентиляция; 7 – аварийное сжигание на печи; 8 – отходящие газы устройства для сжигания аммиака; 9 – сброс после очистки сточных вод; 10 – шлам от очистки сточных вод; 11 – удаление серы и скрубберного раствора и десульфуризация; 12 – отверстия отстойника и емкости для хранения.

2) и 3) см. табл. 1.9.

2. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ

2.1 Регулирование потребления энергии в черной металлургии

2.1 Регулирование потребления энергии в черной металлургии [241], [277], [281], [375]

В обзоре технологических методов на рис. 1.6 показаны различные производственные агрегаты металлургических заводов с полным циклом. Индивидуальные агрегаты соединены как материальными потоками, так и внутренними потоками остатков (прокатная окалина, пыль с фильтров, шламы от мокрой газоочистки доменного газа или конвертерного газа и т.д.), воды (обычная очистка различных потоков сточных вод, последовательное использование охлаждающей воды и т.д.) и энергии (коксовый, доменный, конвертерный газ, пар от газовых утилизационных бескомпрессорных турбин или процесса в кислородном конвертере и т.д.). Такая взаимозависимость минимизирует выбросы и оптимизирует производительность, что способствует снижению затрат.

Проблемы, относящиеся к энергии, рассмотрены в каждой главе, посвященной определенному процессу (разделы 3 - 8). Однако данный раздел поясняет существующую взаимозависимость между различными процессами на металлургическом заводе с полным циклом.

Энергетическая взаимозависимость на металлургическом заводе с полным циклом может быть сложной. В качестве примера на рис. 2.1 показаны входные и выходные потоки различных типов энергии и восстановительных агентов, а также поток внутренней энергии завода с полным циклом. В потоке поступающих

материалов доминируют уголь и мазут. Эти материалы используются главным образом для производства кокса на коксовом заводе и как восстанавливающие агенты в доменной печи. Обычной практикой является использование альтернативных восстанавливающих агентов в доменной печи, таких как уголь, каменноугольная смола или мазут, которые вдуваются в доменную печь на уровне воздушных фурм. Для этих целей применяются также масла, жиры, различные газы (например, коксовый газ) и другие углеводороды, такие, как отходы пластмасс.

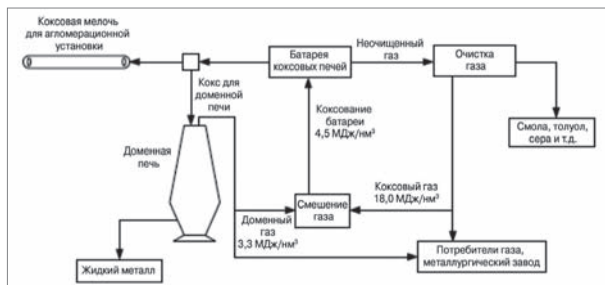


Рис. 2.1 Технологическая схема типичного использования газа при комплексном производстве агломерата, кокса и жидкого металла [206]

Качество (теплотворная способность и степень чистоты) и объемы потоков различных газов значительно различаются, и эти факторы определяют степень эффективности использования топлив.

Основной задачей регулирования потребления энергии в черной металлургии является эффективное распределение и использование технологических газов и покупных топлив. Коксовый газ, доменный газ и конвертерный газ составляют основу энергетической системы завода с полным циклом. Большая часть потребности в энергии обеспечивается за счет этих газов; остающаяся часть удовлетворяется с помощью покупной энергии, обычно электроэнергии и природного газа. Эти аспекты иллюстрируются на рис. 2.1 и 2.2.

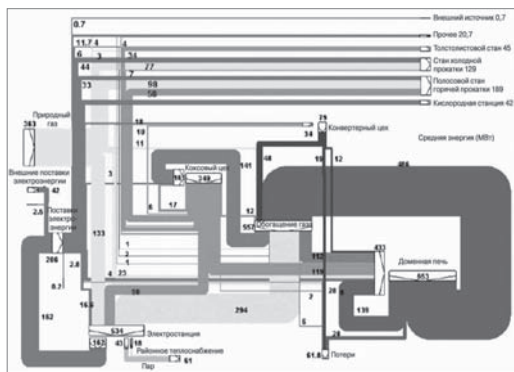


Рис.2 .2 Пример потоков энергии на заводе с полным циклом [281]

Топлива на заводе с полным циклом

Коксовый газ (COG)

Коксовый газ, образующийся при науглероживании (коксовании), обычно очищается перед использованием в качестве газового топлива. Очистка включает в себя удаление нафталина, смолы, легких масел, соединений, которые содержат серу, и удаление или диссоциацию аммиака (для получения водорода). Как показано на рис. 2.3, на заводе с полным циклом есть несколько вариантов для использования коксового газа. Так как он имеет самую высокую теплотворную способность из всех технологических газов, он обычно применяется для повышения теплотворной способности других технологических газов для использования в воздухонагревателях доменных печей и в нагревательных печах полосовых станках горячей прокатки и в других высокотемпературных процессах или в коксовых печах. Избыток коксового газа может использоваться в доменной печи в качестве альтернативного восстанавливающего агента, а также на электростанциях.

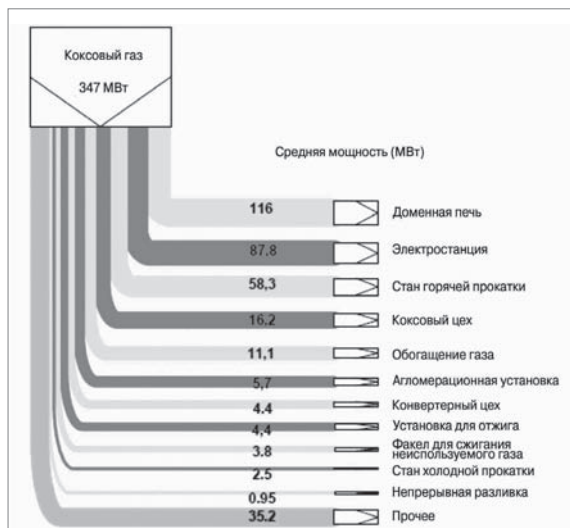


Рис. 2.3 Пример использования коксового газа на заводе с полным циклом [281]

Доменный и конвертерный газы

Доменный газ является газом с минимальной теплотворной способностью и температурой факела. Вследствие этого его наиболее целесообразно использовать для низкотемпературных процессов, таких как собственно доменная печь (воздухонагреватели) и батареи коксовых печей (коксование). Воздухонагреватели доменной печи можно нагревать исключительно с помощью доменного газа. Остающийся доменный газ можно подавать на электростанции для производства электроэнергии и технологического пара. Конвертерный газ может найти применение для обогащения (повышения теплотворной способности) доменного газа. Пример потоков доменного и конвертерного газов приведен на рис. 2.4.

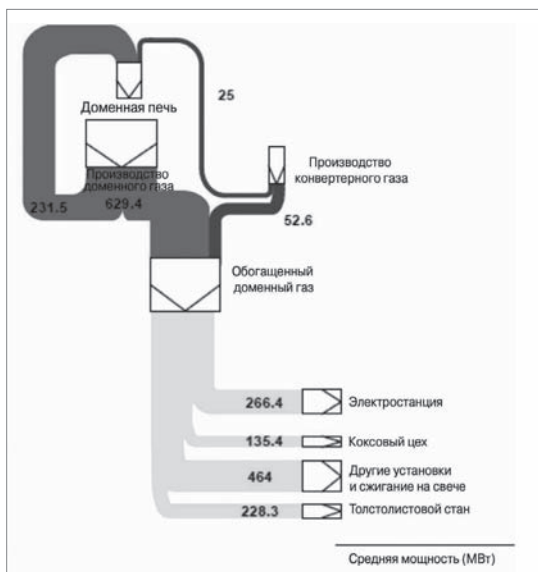


Рис. 2.4 Пример потоков доменного и конвертерного газа на заводе с полным циклом [281]

Газ, образующийся в процессе кислородно-конвертерной плавки, состоит в основном из монооксида углерода. Газ очищается или промывается на специальном оборудовании. После очистки он направляется на установку для утилизации конвертерного газа. Установка состоит из холодильной станции, уравнительного бака и газоперекачивающей станции. После смешения конвертерного газа с доменным газом смесь сжигается в нагревательных печах прокатного стана или на электростанции с комбинированным производством тепловой и электрической энергии (СНП).

2.1.2 Управление потоками пара и тепла на металлургическом заводе с полным циклом

На металлургическом заводе с полным циклом всегда есть потребность в паре. Он необходим как для нагрева, так и для некоторых процессов. Наиболее важными потребителями пара являются доменная печь, коксовый завод (паровая турбина в качестве привода эксгаустера коксового газа, например) и оборудование для вакуумной обработки на сталеплавильном заводе. Не охваченные в этом документе процессы очистки на установках для гальванизации и отжига, а также предварительная обработка изделий на установках для травления, также потребляют пар.

В соответствующих случаях и при технической осуществимости должна быть возможность получения большего количества пара в связи с утилизацией тепла. Имеется много источников, такие как очистка газа на коксовой печи (например, производство серной кислоты на коксохимическом заводе) и системы

подавленного сжигания в сочетании с котлами-утилизаторами в конвертерном цехе. Другие виды производственной деятельности, такие как горячая прокатка (например, испарительное охлаждение глиссажных труб в печах с шагающими балками, котлы-утилизаторы в толкательных печах) и работа нагревательных печей (например, линия непрерывного отжига, непрерывной гальванизации) не обсуждаются в данном документе, но они также могут использоваться для получения пара. Количество утилизируемого вторичного тепла в основном зависит от непрерывной потребности в паре. В некоторых случаях поставка вторичного тепла в сети районного теплоснабжения может оказать положительное влияние на количество утилизируемого вторичного тепла.

Для обеспечения требуемой поставки пара в периоды, когда установка не обслуживается, необходимо иметь вспомогательную систему для его производства. Для выполнения этой задачи и дополнительно для контроля давления в паровой системе может использоваться электростанция.

Если предусмотрено отопление служебных помещений и занимаемой площади на заводе с помощью паровой системы, то можно отказаться от необходимости в отдельной системе отопления. Пример производства пара и использования промышленного сбрасываемого тепла показан на рис. 2.5.

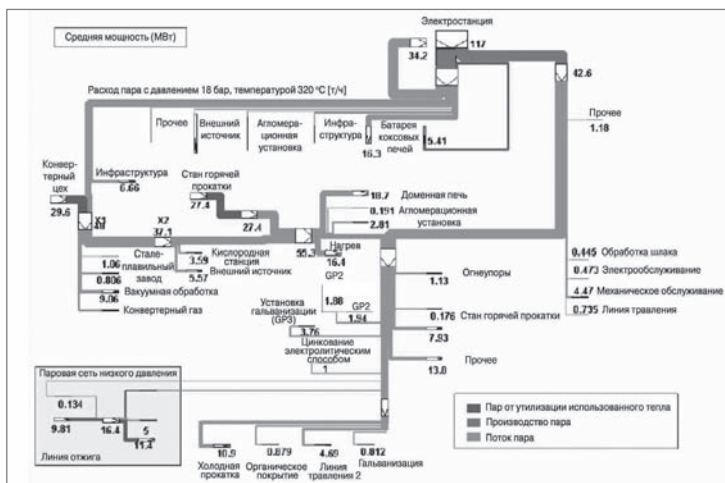


Рис. 2.5 Пример производства пара и использования промышленного сбрасываемого тепла [281]

2.1.3 Поток энергии в электродуговой печи

В сталеплавильных цехах с электродуговыми печами утилизация тепла может применяться сходным образом с системами охлаждения. В зависимости от пригодности существующих систем и потребности, эта энергия может использоваться либо для целей внутреннего, либо внешнего местного отопления. Больше информации можно найти в BREF для систем промышленного охлаждения (ICS) [41].

2.2 Электростанции на заводах черной металлургии

2.2.1 Применяемые процессы и технологии

Необходимо дать ссылку на BREF для крупных топливосжигающих установок (LCP) [282]. В этом BREF содержится много информации, относящейся к применяемым технологиям и мерам снижения загрязнений для крупных топливосжигающих установок при использовании коммерческих топлив, таких как природный газ.

Электростанции (на рис. 2.6 представлена типичная электростанция на металлургическом заводе с полным циклом) выполняют важную роль на заводах с полным циклом, так как они потребляют избыточные технологические газы и обеспечивают поставку необходимого пара и электроэнергии для всех ключевых процессов. Эти виды топлива (доменный, коксовый и конвертерный газ), конечно, используются и в других сферах деятельности завода, но на большинстве заводов с полным циклом дополнительно используются также покупные виды топлива (мазут и природный газ, например) на электростанции.



Рис. 2.6. Вид электростанции на заводе с полным циклом [281]

Электростанция может работать как на низкокалорийных, так и высококалорийных газах. В зависимости от энергетической ситуации на заводе электростанция может производить электрическую энергию, пар и (или) тепло для системы районного теплоснабжения. Когда имеется целесообразность и практическая возможность, электроэнергия может вырабатываться на газовой утилизационной бескомпрессорной турбине, использующей высокое давление кокишикового газа.

Эффективное использование технологических газов от производства чугуна и стали на заводах с полным циклом обычно реализуется с помощью котлов на газообразном топливе или газовых турбин (парогазовая турбина).

Котел, работающий на газе

На рис. 2.7 представлена типичная схема размещения котла/генератора с паровой турбиной на металлургическом заводе.

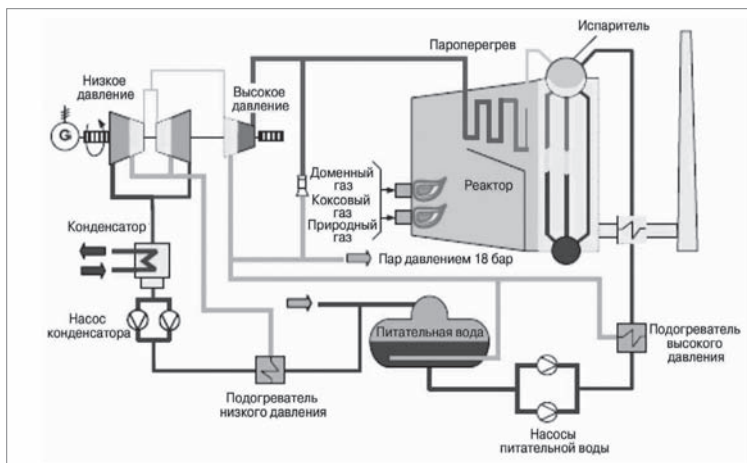


Рис. 2.7 Схема размещения котла/генератора (40 МВтэл [281]

32

Эта относительно простая схема позволяет достичь высоких результатов, и она предназначена для использования технологических газов с низкой теплотворной способностью (CV) (главным образом доменного газа). Для получения той же самой тепловой мощности котла должен использоваться более высокий объем газа с низкой CV по сравнению, например, с природным газом, и, следовательно, выше будет и объем отходящих газов. Использование коксового газа дополнительно приводит к более высокой температуре отходящих газов. Эффективность производства энергии при таком сочетании на 15-20 % ниже по сравнению с коммерческой электростанцией. В табл. 2.1 и 2.2 приведены примеры эффективности производства при использовании газа с низкой CV.

ТАБЛИЦА 2.1 КПД КОТЛОВ С ГАЗОВОЙ ТОПКОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗА С НИЗКОЙ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ [281]

Электрический КПД, %		Использование топлива, %
Существующая установка	Новая установка	Новая и существующая установки
24-41	34-41(1) 34-42(2)	54-56(2)

(1) Более высокие значения электрического КПД наблюдались в случае котлов, работающих преимущественно на природном газе, и при производстве только электроэнергии.

(2) При дополнительном производстве тепловой энергии (40 МВт) верхнее значение для электрического КПД снижается до 42%. В этом случае использование топлива составляет 54-56%.

Большая часть электростанций, использующих технологические газы, работают в режиме комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, который имеет также название “когенерации”. Это означает, что тепловой двигатель или электростанция одновременно генерируют как электрическую, так и тепловую энергию. Общая эффективность потребления топлива может быть оптимизирована с помощью генерации электроэнергии и отделения тепловой энергии для промышленных процессов и (или) районного теплоснабжения. Так как на большинстве заводов с полным циклом имеется избыток тепловой энергии, часто отсутствует внутренний спрос. Если не имеется частных или коммерческих потребителей для использования отводимой тепловой энергии, электростанции работают для сжигания избытка газов с целью максимального производства электрической энергии. На рис. 2.8 приведен пример крупного котла/генератора с перегревом и отделением тепловой энергии для районного теплоснабжения.

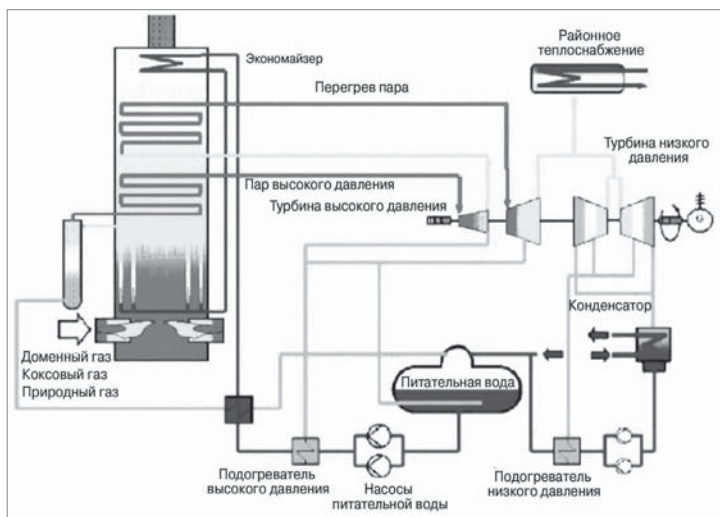


Рис. 2.8 Пример размещения котла/генератора с перегревом пара (85 МВтэл)

Газовые турбины

Газовые турбины на технологических газах обычно не используются в Европе, поскольку у этих газов низкая теплотворная способность. Кроме того, имеются различные проблемы с очисткой и эксплуатацией вследствие использования технологических газов.

Больше информации по этой проблеме имеется в BREF для крупных топливосжигающих установок (LCP) [282].

Технологические газы обычно не применяются для одиночных газовых турбин. Для них предпочтительным топливом является природный газ. С целью повышения эффективности такие турбины работают с котлом-утилизатором и

дополнительным отоплением на технологических газах. Тепло используется для производства пара ради генерации дополнительной энергии с помощью паровой турбины. Такая схема называется парогазовой электростанцией (ССРП) или газовой турбиной в парогазовом цикле (ССГТ). Они могут работать в различных режимах для генерации только электроэнергии, и в режиме СНР (выработка тепловой и электрической энергии). На установке ССРП или ССГТ генерируется электроэнергия, и этот последний шаг повышает КПД генерации электроэнергии (табл. 2.2).

ТАБЛИЦА 2.2 КПД ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ КОМБИНИРОВАННОГО ЦИКЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГАЗА С НИЗКОЙ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ В ПАРОГАЗОВОМ ЦИКЛЕ (ССГТ) [281]

Тип установки	Электрический КПД, %		Использование топлива, %
	Существующая установка	Вновь проектируемая	Новая и существующая установка
Комбинированный цикл:			
только для электроэнергии	Нет данных	Данные не представлены	Нет данных
в режиме выработки тепловой и электрической энергии	46(1)	Данные не представлены	45-55 60(2)

(1) Если электроэнергия производится в максимальном диапазоне.

(2) Если пар производится в максимальном диапазоне.

34

На рис. 2.9 показана газовая турбина с котлом-утилизатором и дополнительным сжиганием, которая работает в режиме СНР в комбинированном цикле. При такой конфигурации может быть достигнут электрический КПД равный 46 %.

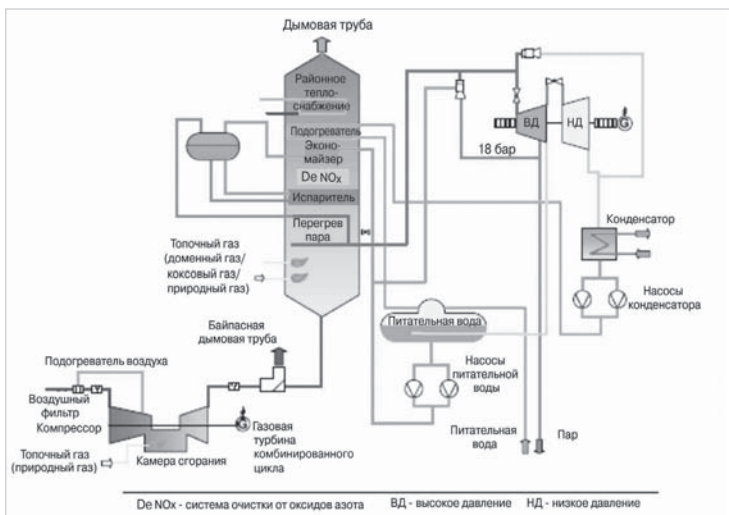


Рис. 2.9 Пример газовой турбины (38 МВтэл) и паровой турбины (30 МВтэл) в комбинированном цикле производства тепловой и электрической энергии [281]

2.2.2 Уровень выбросов и потребления

2.2.2.1 Выбросы в воздух

Общая эффективность электростанции на металлургическом заводе с полным циклом ниже, по сравнению с коммерческой электростанцией, а характеристики выбросов, например, в отношении SO_x , NO_x и твердых частиц существенно отличаются. Работа электростанции на заводе с полным циклом, которая отапливается доменным/конвертерным и (или) коксовым газом, зависит от производительности всего завода. При сравнении с крупными топливосжигающими установками, которые оптимизированы в отношении вырабатываемой энергии, следует рассмотреть изменения в количествах и составе поступающего топлива.

В табл. 2.3 представлены уровни выбросов более чем 20 электростанций, работающих на европейских металлургических заводах с полным циклом.

ТАБЛИЦА 2.3 ДОСТИГАЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЫБРОСОВ ДЛЯ КОТЛОВ С ГАЗОВОЙ ТОПКОЙ И ТУРБИН ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ С МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ[220]

Уровень	Среднегодовые значения, мг/нм ³			
	NOx	SO ₂	CO	Пыль
Среднее	87,9	97,7	7,7	6,4
Максимум	190	305	33	31
Минимум	14	1,1	0,8	0,8

35

Снижение выбросов пыли

Топочные газы, такие как доменный и конвертерный газ, обычно подвергаются обеспыливанию перед их применением. Коксовый газ очищается в цехе улавливания химических продуктов коксования, и содержание пыли в нем также снижается. Понижается концентрация предшественников пыли, таких как сера. Остаточное содержание пыли в отходящих газах после сжигания сравнительно низкое. Без дополнительных технологий очистки достигаются концентрации пыли в 0,8 – 31 мг/нм³ при содержании 3% O₂ для котлов-утилизаторов и 15% O₂ для турбин. Ежегодное среднее значение составляет 6,4 мг/нм³ (см. табл. 2.3).

Снижение выбросов SO₂

Обычно в коксовом газе содержится значительные количества серы, главным образом в виде H₂S. По этой причине коксовый газ должен подвергаться десульфуризации перед его использованием в качестве топлива. При мокрой окислительной десульфуризации остаточное содержание серы может быть очень эффективно снижено. После сжигания дополнительная очистка отходящих газов не проводится.

По сравнению со сжиганием природного газа наблюдаются более высокие значения выбросов SO₂. Значения выбросов австрийской электростанции, работающей на технологическом газе, находились в диапазоне 66-84 (получасовое среднее) или 120-160 мг/нм³ (получасовое среднее). Все данные справедливы при содержании 3% O₂ для котлов и 15% O₂ для турбин. Значения учитывают все условия эксплуатации, в том числе пуск и останов [72].

В табл. 2.4 приведены некоторые значения выбросов SO_2 в отходящих газах пяти австрийских установок, отапливаемых газом.

ТАБЛИЦА 2.4 СРЕДНЕГОДОВЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЫБРОСОВ SO_2 ДЛЯ ПЯТИ УСТАНОВОК АВСТРИИ, РАБОТАЮЩИХ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗАХ [32]

Система	SO_2 , мг/нм ³		
	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Генерирующий блок 3 (1)	81	89	103
Генерирующий блок 4 (1)	91	112	114
Генерирующий блок 5 (1)	89	95	98
Генерирующий блок 6 (1)	92	94	78
Среднее для электростанций (1)	89	77	85
Газовая и паровая турбина в парогазовом цикле(2)	13	10	31

(1) При содержании O_2 3%. (2) При содержании O_2 15%.

Снижение выбросов монооксида углерода (CO)

На электростанциях CO сгорает почти полностью и можно достичь очень низких значений выбросов в отходящих газах без каких-либо дополнительных мер (см. табл. 2.3).

Снижение выбросов NO_x

Значение показателя выбросов NO_x в большой степени зависит от эффективности станции, содержания азота в топливе и соответствующего содержания кислорода в отходящих газах. В табл. 2.5 приведен типичный состав технологических газов на металлургических заводах.

ТАБЛИЦА 2.5. ТИПИЧНЫЙ СОСТАВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

Параметр	Единицы	Доменный газ		Коксовый газ		Конвертерный газ
		Минимум	Максимум	Минимум	Максимум	Среднее по отрасли
CO	Об. %	19	27	3,4	5,8	60,9
H_2	Об. %	1	8	36,1	61,7	4,3
CO_2	Об. %	16	26	1	5,4	17,2
N_2	Об. %	44	58	1,5	6	15,5
CH_4	Об. %			15,7	27	0,1
C_xH_y	Об. %			1,4	2,4	
Низшая теплотворность	кДж/нм ³	2600	4000	9000	19000	8184
Содержание пыли	мг/нм ³	0	10			
Общая сера	мг/нм ³		170	100	800	

Оксиды азота (NO_x) образуются в течение процессов высокотемпературного сжигания за счет окисления азота, который является компонентом воздуха, а также за счет окисления азота в топливных газах. Монооксид азота (NO) образуется чаще всего, в то время как диоксид азота (NO_2) образуется после

сжигания и только при достаточном количестве кислорода в отходящих газах и атмосфере. Поскольку в конечном итоге весь NO будет превращаться в NO₂, общие выбросы NO_x измеряются в NO₂ (мг/нм³).

В принципе, можно сделать различие между образованием как термических, так и связанных с топливом NO_x, в зависимости от температуры и концентрации, времени пребывания и типа топлива. Образование термических NO_x начинается при 1300°C и быстро возрастает с повышением температуры.

Доменный газ

Вследствие относительно низкой температуры факела при сжигании доменного газа обычно не происходит значительного образования термических NO_x. Количество топливных NO_x при сжигании доменного газа зависит от концентрации азотистых соединений. Топливные NO_x приводят к выбросам в диапазоне 40-90 мг/нм³ (при 3% O₂) как среднесуточные значения в дымовых газах, без каких-либо мер снижения.

Коксовый газ

Топливные NO_x являются результатом окисления аммиака и органического азота, которые содержатся в коксовом газе. Вследствие значительных количеств аммиака и органического азота в коксовом газе, образуются термические NO_x. При сжигании коксового газа с более высокой теплотворной способностью (и природного газа) вследствие более высоких температур образование термических NO_x значительное.

В табл. 2.6 показана взаимосвязь между содержанием азота в коксовом газе и концентрацией NO_x в выбросах отходящих газов электростанций без каких-либо первичных мер подавления.

ТАБЛИЦА 2.6 ТИПИЧНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ NO_x, МГ/НМ³, В ВЫБРОСАХ ПРИ СЖИГАНИИ КОКСОВОГО ГАЗА НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ [140]

Параметр	Минимум	Максимум
Общее содержание N ₂ в коксовом газе	209	800
Топливные NO _x	90	320
Термические NO _x	150	120
Общие NO _x	240	440

Примечание. Приведены среднесуточные значения.

На металлургических заводах с полным циклом коксовый газ часто смешивается с доменным и конвертерным газом, что приводит к более низким значениям выбросов по вышеупомянутым причинам. Коксовый газ можно использовать в любом диапазоне от 0 до 100% при смешении с доменным и конвертерным газом.

2.3 Управление материалами

2.3.1 Управление материалами

[200], [271], [241], [243], [260], [273], [274], [363], [365]

Металлургические заводы с полным циклом – крупные комплексы с большим потреблением материалов. На предприятии с годовым производством от 3 до 5 млн т стали приходится обращаться с 8 – 12 млн т сырьевых материалов, таких как руды, окатыши, лом, уголь, известь, известняк (в некоторых случаях также мазут и пластик) и аддитивами – вспомогательными материалами и остатками технологического процесса, такими как побочные продукты и отходы.

Все материалы обычно поступают на завод с помощью транспорта для перевозки бестарных грузов по автомобильной, железной дороге или водным транспортом. Эти материалы и промежуточные продукты, такие как кокс и агломерат, хранятся на складах или в силосах и транспортируются к индивидуальным технологическим установкам, обычно с использованием конвейерной ленты. На рис. 2.10 показана технологическая схема процесса транспортировки материалов на металлургическом заводе с полным циклом.

Металлургические заводы с полным циклом характеризуются высокими уровнями эффективности использования ресурсов, достигаемыми благодаря применению ряда передовых технологий, хорошо организованного и продуманного управления материалами.

С экологической точки зрения, хранение и обращение с большими количествами твердых материалов может привести к значительному росту выбросов пыли. Часть этих выбросов будет в виде тонкодисперсной пыли (PM10). По сравнению с выбросами из точечных источников, когда доля PM10 в выбросах пыли от хранения сыпучих материалов после очистки находится в диапазоне от 90 до 99%, доля PM10 от хранения сыпучих материалов и обращения с ними обычно бывает намного ниже [3], [83].

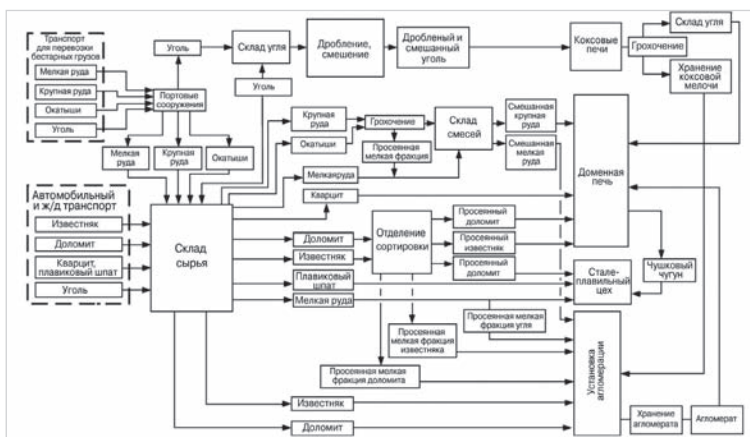


Рис. 2.10 Технологическая схема обычного процесса перемещения материалов на заводе с полным циклом [200]

Существуют проблемы с достижением стандартов качества окружающего воздуха в ЕС для PM₁₀ по соседству с крупными металлургическими заводами (например, в Германии, Нидерландах, Бельгии и Соединенном Королевстве). В обзоре источников относительно PM₁₀ на крупных металлургических заводах с полным циклом в Соединенном Королевстве было определено, что с точки зрения вкладов в уровни местного качества воздуха выбросы от высоких дымовых труб не являются значительными. Напротив, вклад от рассеянных источников с низким уровнем рядом с заводами полного цикла во Фландрии и Бельгии был идентифицирован как значительный. В исследовании использован мониторинг качества воздуха нескольких участков вместе с традиционными методами тригонометрической съемки и розы загрязнений [198], [199].

Основное внимание этого BREF сосредоточено на ключевых процессах в черной металлургии. Однако ясно, что вспомогательные операции на заводе являются экологически значимыми источниками пыли и PM₁₀, и поэтому операторы должны использовать BAT для минимизации выбросов от этих источников неорганизованных и рассеянных выбросов. BREF для выбросов от хранения [283] охватывает многие такие области, и настоятельно рекомендуем читателям обратиться к этому документу за подробностями.

В этом разделе приведены обычные способы для снижения выбросов пыли от хранения, обращения и транспортирования материалов. Основные неорганизованные и рассеянные, и обычно источники с низким уровнем выбросов пыли и PM₁₀ на металлургическом заводе с полным циклом могут включать:

для поступающих материалов:

- разгрузка судна, баржи, поезда или грузовика;
- конвейеры; • отвалы;
- смешение и подготовка шихты;
- транспортирование;
- дороги и дорожки на участке завода;
- не покрытый грунт;

для отправляемых материалов:

- переработка и транспортирование отходов технологического процесса;
- хранение отходов технологического процесса;
- процедуры разгрузки отходов процесса, таких как побочные продукты и отходы.

Информацию о неорганизованных и рассеянных источниках выбросов, иных, чем хранение, обращение и транспортирование материалов, можно найти в специальных разделах.

Взвешенная пыль от складов и конвейерных лент, включая участки загрузки-выгрузки, может быть значительным источником выбросов. Когда материалы, например выщелачиваемые соединения, такие, как углеводороды от прокатной окалины или лом хранятся на складах без соответствующих напольных покрытий, следует также уделять внимание загрязнению почвы и грунтовых и (или) сточных вод. В некоторых странах материалы с выщелачиваемыми компонентами должны храниться на площадке с надлежащей защитой почвы.

Обращение с железной рудой

Европейские металлургические заводы с полным циклом обычно используют железную руду из различных источников, а значительное количество этих руд импортируется в ЕС с помощью транспорта для перевозки бестарных грузов. Для прибрежных металлургических заводов разгрузка может стать непосредственно первичным складом, в то время как для других металлургических заводов должна быть выгрузка на промежуточные склад для последующего транспортирования на металлургический завод с помощью барж, по железной или автомобильной дороге. Некоторые металлургические заводы получают руду непосредственно с рудников, и опять же с использованием барж, железнодорожного или автомобильного транспорта. Следует уделять внимание минимизации вторичного загрязнения различных руд на основном складе и избегать непреднамеренного смешения руд с флюсами и особенно с углем, когда загрязнение оксидов железа может оказывать вредное воздействие на огнеупоры коксовой печи. Следует обращать внимание на предотвращение образования выбросов рассеянной пыли на всех стадиях обращения с материалами путем применения надлежащих способов.

Железородная мелочь затем либо смешивается с другими материалами, такими как флюсы, коксовая мелочь, и оказывается на вторичном складе или направляется в бункеры и на конвейерную ленту перед установкой для агломерации или получения окатышей. Смешение проводится для поддержания надлежащего качества исходного сырья для обоганительной фабрики и в конечном итоге для доменных печей. Образуются отвалы различных партий руды, и они подлежат дальнейшей утилизации.

Импортируемые непосредственные загрузки черных металлов для доменной печи (т.е. руда с пустой породой и окатыши) утилизируются из первичных складов и обычно подвергаются просеиванию, когда надрешеточная руда направляется в бункеры доменной печи, в то время подрешеточная руда направляется на аглофабрику [240].

Скrapный двор и обращение с ломом

Технические требования ЕС к стальному лому были согласованы большинством торговых компаний в странах ЕС-27, которые участвуют в рециклинге и переработке лома черных металлов. В рамках технических требований лом классифицируется на шесть категорий: амортизационный лом, новый лом без покрытия с низким количеством остаточных примесей, дробленый лом, стальная стружка, лом с высоким количеством остаточных примесей и дробленый лом после мусоросжигания. В этих технических требованиях содержатся также рекомендации, относящиеся к аспектам охраны окружающей среды, здоровья и безопасности, такие как содержание опасных, воспламеняющихся и взрывоопасных веществ, Cu, Sn, Cr, Ni, Mo, S и P и радиоактивных материалов [53]. Определения позиций в этом перечне технических требований применяются только к лому нелегированной углеродистой стали как сырью для черной металлургии.

Металлический лом обычно хранится снаружи, непокрытый и зачастую на немошеном грунте. Лом черных металлов разгружается в корзины с помощью магнитов или грейферов. При манипулировании с ломом минимизируются поступления в технологический процесс любых инородных, немагнитных материалов типа камней, древесины или цветных металлов.

Некоторые виды лома могут приводить к отложению остаточных материалов на почве, а также к загрязнению ее тяжелыми металлами и углеводородами в течение хранения и манипулирования.

В зависимости от типов и количества перерабатываемого лома, операций манипулирования с ним (т.е. загрузка, выгрузка) могут также наблюдаться выбросы неорганических (пыль) и органических материалов (например, маслянистые осколки) при определенных погодных условиях.

Кроме того, некоторые виды работ с ломом могут также вызвать шумовое загрязнение.

Обращение с флюсами

Флюсы дробятся, например, с помощью молотковой дробилки и просеиваются до фракции 0-4 мм для использования на аглофабриках. Можно сразу покупать желательную фракцию.

Обращение с материалами/отходами из внешних источников на заводах с полным циклом

Металлургические заводы с полным циклом могут получать отходы из внешних источников, например отработанные масла и жиры, известь, водомасляные эмульсии, отходы пластмасс и т.д. Углерод и железо из этих материалов можно утилизировать при коксовании в коксовых печах или плавке в доменных печах. Можно также непосредственно вдвигать восстанавливающие агенты на уровне дутьевых фурм доменной печи.

Радиоактивность лома [5], [215], [260], [373]

Контроль радиоактивности поступающего скрапа - важная проблема, которая подробно рассматривалась экспертной группой Экономической комиссии ООН для Европы (UNECE). Эта группа разработала в 2006 г. основы рекомендаций с примерами добросовестной практики. При этом в максимально возможной степени учитывались существующие национальные, региональные и международные документы и нормы, а также национальный опыт. Работа экспертной группы включает:

- рекомендации в отношении мониторинга и процедур реагирования на металлический лом с радиоактивностью;
- стратегию международного обучения и наращивания возможностей в отношении мониторинга и процедур реагирования (2007);
- отчет об усовершенствовании обращения с аспектами радиационной защиты при рециклинге металлического лома, ISBN 92-1-116 789-2 (2002).

Данные рекомендации, связанные с решением этой проблемы, полезны не только исключительно для сталелитейных компаний, но и для других заинтересованных сторон - от административных отделов до отраслей, занимающихся утилизацией и рециклингом в секторе металлургии (www.unece.org/trans/radiation/radiation.html).

2.3.2 Управление отходами производства

2.3.2.1 Использование отходов в собственном производстве металлургического завода с полным циклом

На металлургических заводах с полным циклом производится широкий набор материалов, включая сталь в качестве основного продукта. Другими видами получаемых материалов в процессах металлургического производства являются доменный и различные сталеплавильные шлаки, сульфат аммония, сернистая и серная кислота с установки для десульфуризации коксового газа, коксовый деготь, коксовый пек и (неочищенный) бензол от коксохимического цеха и другие продукты, такие как чугунный скрап.

Некоторые из этих материалов часто используются в качестве сырья в других секторах. С помощью процесса оптимизации, включая максимальную степень внутренней рециркуляции углерода и железосодержащей пыли, образование отходов на металлургических заводах с полным циклом минимизируется. Были разработаны различные процессы утилизации, в результате чего доля общих остатков, требующих размещения, стала относительно небольшой. В дополнение к материалам, появляющимся в технологических процессах, заводы с полным циклом получают другие продукты, включая отходы, образующиеся от различных установок и секторов.

На рис. 2.11 приведен типичный пример управления отходами производства, такими как побочные продукты и отходы, на металлургическом заводе с полным циклом. Большая часть отходов производства, образующихся на металлургическом заводе с полным циклом, имеет высокое содержание железа, углерода, кальция и других полезных компонентов, и они могут замещать первичное сырье, такое как железная руда, уголь, шлакообразователи, мазут и кокс. Обычно обращение с отходами производства на заводе с полным циклом характеризуется применением передовых технологий комплексной переработки, предназначенных для сохранения как можно большего количества полезных компонентов, содержащихся в отходах металлургического производства.

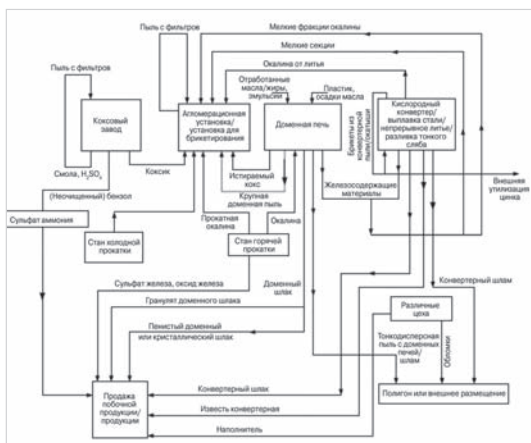


Рис. 2.11 Пример управления
побочными продуктами и отходами
на заводе с полным циклом [243]

Идентификация и отдельный сбор по категориям материалов (например, по химическому составу, размеру частиц или содержанию нефти) являются необходимыми предварительными условиями для обеспечения надлежащего использования на самом металлургическом заводе, без потерь с точки зрения эффективности производства, качества продукции и защиты окружающей среды.

Железосодержащая фракция не переработанного шлака, железо и углеродсодержащая пыль и шламы от систем очистки газа, отработанное масло, новый скрап и окалина могут быть возвращены в производственный цикл с помощью агломерационных установок, оборудования для получения окатышей, коксовых печей, доменных печей и кислородных конвертеров. Для мелкозернистых материалов характерна тенденция возврата в производственный цикл с помощью агломерационной установки, в то время как более грубые материалы чаще возвращаются в доменную печь или кислородный конвертер. Для того чтобы вернуть некоторые фракции в доменную печь и кислородный конвертер часто используются установки для брикетирования, где все виды тонкозернистых остатков объединяются в кирпичи/брикеты на цементной связке, с которыми легче обращаться, и которые можно использовать в различных процессах. В частности, пыли или шламы от технологических агрегатов можно брикетировать или превращать в окатыши, а затем использовать в металлургическом цикле, когда содержание цветных металлов невысокое.

В табл. 2.7 приведены примеры использования металлосодержащих шлаков в Европе.

ТАБЛИЦА 2.7 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ В ЕВРОПЕ [174]

Использование шлаков ⁽¹⁾	Количество	
	%	тыс. т/год
Производство цемента	1	152
Дорожное строительство	45	6840
Гидротехника	3	456
Удобрения	3	456
Внутренний рециклинг	14	2128
Промежуточное хранение	17	2584
Конечное размещение	11	1672
Прочее	6	912
Итого	100	15200

(1) "Металлосодержащие шлаки" относятся к шлакам кислородных конвертеров, внепечной обработки стали и электродуговых печей.

Примечание. Данные относятся к 2004 г. и к 12 государствам-членам ЕС: Австрии, Бельгии, Германии, Дании, Испании, Франции, Финляндии, Люксембургу, Нидерландам, Соединенному Королевству, Швеции, Словакии.

Ниже будут описаны специализированные установки для рециклинга отходов с высоким содержанием железа. На некоторых из них возможна непосредственная утилизация жидкого железа; другие установки используются на стадии предварительной обработки для повторного использования отходов в доменной или электродуговой печи. Наличие высоких концентраций нежелательных соединений, таких как щелочи, тяжелые металлы и минеральные масла, затрудняет процессы рециклинга отходов с высоким содержанием железа.

2.3.2.2 Применение отходов металлургического завода с полным циклом как техногенного сырья

Шламы с высоким содержанием цинка и пыль регенерируются в течение очистки конвертерного и доменного газа. Тем не менее, содержание цинка в шламе не достаточно высокое для того, чтобы его повторное использование было экономически выгодным. Только некоторые виды таких шламов и пыли можно эффективно перерабатывать, и поэтому почти все предприятия отрасли имеют большие отложения шламов и отходов.

Если содержание цветных металлов в пыли или шламах заводов с полным циклом достаточно высокое для обеспечения технической и экономической целесообразности их использования, некоторые цветные металлы можно утилизировать на внешних предприятиях по производству металла или установках для рециклинга. Например, пыль сталеплавильных агрегатов с высокими концентрациями цинка можно использовать в качестве сырья в секторе производства цинка вместо цинковых руд.

2.3.2.3 Удаление отходов металлургического завода с полным циклом

Небольшая часть от общего количества отходов металлургических заводов с полным циклом не имеет экономического использования (как на самих заводах, на технологических агрегатах, так и за их пределами). Но состав некоторых отходов требует их захоронения. Материалы, которые обычно требуют депонирования или захоронения, включают в себя:

- тонкодисперсную пыль/шламы от очистки доменного газа;
- куски футеровки желоба доменной печи;
- тонкодисперсную пыль от мокрой очистки конвертерного газа (если используется процесс мокрой очистки);
- в некоторых случаях и пыль, в которой содержатся большие количества хлоридов щелочных металлов и хлоридов тяжелых металлов на выходе электрофильтров, рукавных фильтров или скрубберов, используемых для очистки отходящих газов от агломерационных лент.

Многие металлургические заводы с полным циклом имеют свои собственные, сертифицированные полигоны захоронения, в то время как другие компании используют внешние полигоны. Во всех случаях полигоны должны получить разрешение на прием конкретных отходов.

2.4 Управление водой и сточными водами [200], [279], [316]

На металлургических заводах с полным циклом вода используется, например, для прямого и косвенного охлаждения, очистки газа, ломки окалины и операций промывки, включая очистку отходящих газов с использованием скрубберов.

Могут эксплуатироваться различные системы водоснабжения: полностью замкнутые системы, полужамкнутые контуры или разомкнутые контуры. Замкнутые контуры можно использовать, например, для охлаждения с деминерализованной или умягченной водой на определенных установках, т.е. на кристаллизаторе машины непрерывного литья или на котлах электростанций. Здесь используется второй контур в качестве полужамкнутого контура с градирней.

Ниже приведено три примера использования полузакрытых систем:

- в градирнях для снижения температуры воды. Имеется необходимость в выпуске потока небольшого расхода для ограничения концентрации соли в воде, с целью предотвращения отложения этой соли, и, следовательно, коррозии и возможных дополнительных утечек воды;
- для рециклинга сточных вод после очистки для дальнейшего использования не требуется такое высокое качество воды как для первого использования. Так как могут образовываться некоторые запрещенные для сброса вещества, небольшое количество воды должно выпускаться и поступать в оборот на установку для очистки сточных вод перед окончательным сбросом. Недостающее количество должно пополняться свежей водой;
- для технической воды, которая может быть в замкнутом цикле. Так как могут образовываться некоторые недопустимые для прямого сброса вещества, небольшое количество воды должно выпускаться и поступать на установку для дополнительной очистки сточных вод перед окончательным сбросом. Это количество должно компенсироваться свежей водой.

Управление водой на металлургических заводах с полным циклом зависит главным образом от местных условий, прежде всего от наличия и качества пресной воды и от законодательных требований.

На рис. 2.12 приведен пример управления водой с указанием очистки воды на заводах с полным циклом, почти с неограниченным наличием пресной воды; таким образом, объясняется наличие прямоточных систем охлаждения, в результате чего удельный забор воды составит более 100-200 м³/т стали.

45

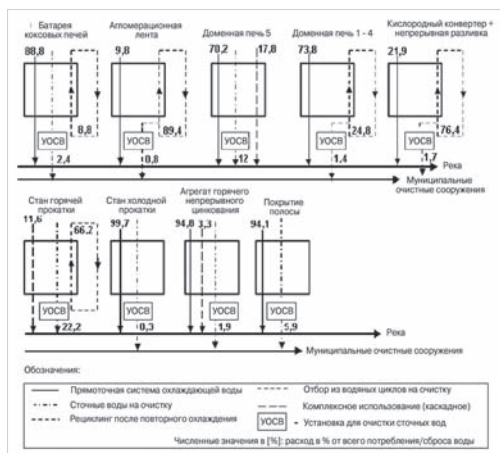


Рис. 2.12 Пример управления водой на заводе с полным циклом в местности с высоким избытком пресной воды [140]

Важным фактором для непрерывного потребления и сброса воды являются затраты. Затраты для очистки сточных вод и их сброс, основанные на официальном налоге на сброс воды в муниципальную систему, могут быть значи-

тельными. Еще одним фактором, связанным с затратами, является то, что часто вода, отбираемая из вышеупомянутых объектов, должна подвергаться стадии кондиционирования перед ее использованием. Кроме того, откачивание таких больших объемов воды требует значительного потребления электроэнергии.

По этим причинам потребление воды постоянно снижалось с 1980 г. В частности, в местах с очень высоким уровнем потребления пресной воды, где дефицит воды должен покрываться грунтовой или родниковой водой, может возникать необходимость в интенсивном снижении потребления воды. В таких случаях удельное потребление воды может быть ниже, чем 5 м³/т стали.

В табл. 2.8 приведено сравнение потребности в заборе воды для прямоточной системы и для системы, связанной с интенсивной рециркуляцией на типичном заводе с полным циклом. Интенсивная рециркуляция в системах косвенного и прямого охлаждения снижает общий забор воды до 2,4% потребности прямоточной системы.

ТАБЛИЦА 2.8 ПОТРЕБЛЕНИЕ ВОДЫ, ТРЕБУЮЩЕЙСЯ ДЛЯ ЗАВОДОВ С ПОЛНЫМ ЦИКЛОМ С ПРЯМОТОЧНОЙ СИСТЕМОЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПО СРАВНЕНИЮ С СИСТЕМОЙ С ИНТЕНСИВНОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ [279]

Водопотребление	Качество	Забор воды			
		Прямоточная система		Интенсивная рециркуляция	
		м ³ /мин	% от общего	м ³ /мин	% от общего
Косвенное охлаждение	Обычное	675	70,7	7,4	32
Прямое охлаждение	Обычное	265	27,8	6,2	26,8
Техническая вода	Низкое	7,7	0,8	5,1	22,1
	Высокое	1,5	0,2	1,5	6,5
Потери на испарение		4,8	0,5	2,9	12,6
Итого		954	100	23,1	100

Примечание: Неизвестно, включена ли в эти данные вода, используемая в последующих операциях (в этом документе не включена, например, прокатка).

На следующих рисунках представлены другие примеры двух различных комплексных систем двух заводов с полным циклом с отдельными контурами (рис. 2.13) и с противоточной каскадной системой со стадиями производства стали (от стана холодной прокатки до доменной печи) (рис. 2.14).

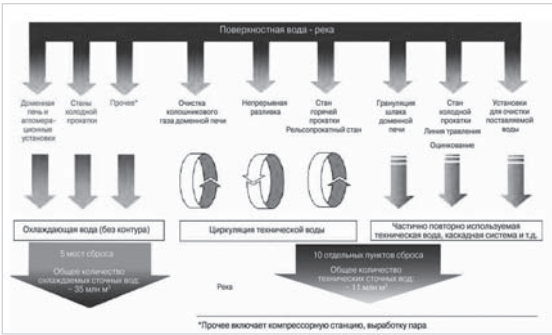


Рис. 2.13 Пример управления водой на заводе с полным циклом с отдельными контурами [316]

На заводе (см. рис. 2.13) общее количество потребляемой воды в 2005 г. составило почти 1,2 млрд. м³/год. Степень рециркуляции воды в этом случае 97,2%, и только 2,5% нужно было пополнить свежей водой. Сброс сточных вод составил только 1,2%, а остальные потери - 1,6%.

В результате забор воды составил около 3,16 м³/т нерафинированной стали.

Технологии, которые привели к снижению забору воды и минимизации сброса сточных вод в вышеупомянутом случае включали:

- предотвращение использования питьевой воды для технологической линии;
- рост количества и (или) производительности систем циркуляции воды при строительстве новых цехов или модернизации/переоборудовании существующих цехов;
- централизацию распределения исходной пресной воды;
- использование в установках каскадного типа до тех пор, пока отдельные параметры не будут соответствовать установленным законом нормам или техническим регламентам;
- использование воды в других цехах при условии дальнейшего использования без нарушения единичных параметров;
- раздельное распределение очищенных и неочищенных сточных вод. С помощью этой меры достигается возможность размещения сточных вод при разумных затратах;
- использование дождевой воды всегда, когда это возможно.

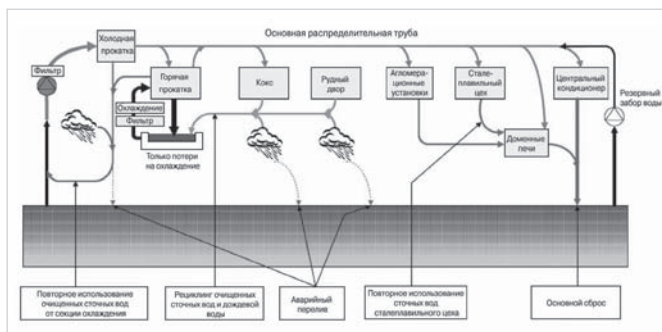


Рис. 2.14 Пример управления водой на заводе с полным циклом с использованием каскадной системы [316]

2.5 Основные технологии, рассматриваемые при определении НДТ

В этом разделе описаны технологии (или их сочетания) и связанный с ними мониторинг, которые направлены на достижение высокого уровня защиты окружающей среды в экономической деятельности в области тематики данного документа.

Обсуждаются системы управления состоянием окружающей среды, технологии, интегрированные в процесс, и меры очистки в конце производственного цикла. Рассмотрены также меры предотвращения образования отходов и управления ими, включая минимизацию отходов и процедуры рециклинга. Кроме того, включены технологии для уменьшения потребления сырья, воды и энергии.

В Приложении III к Директиве перечислен ряд критериев для определения ВАТ (НДТ), и информация в этой главе относится к этим соображениям. Насколько возможно, использована стандартная структура, приведенная в табл. 2.9, для общего представления об информации, собранной в отношении каждой технологии, с целью сравнения технологий и оценки их на основе определения ВАТ согласно Директиве.

Этот раздел необязательно дает исчерпывающий перечень технологий, которые можно применять в секторе. Могут существовать другие технологии для конкретной установки, которые можно было бы рассмотреть для определения НДТ.

ТАБЛИЦА 2.9 ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ КАЖДОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ВКЛЮЧАЕМОЙ В ВАТ

Тип рассматриваемой информации	Основное содержание информации
Описание	Краткое техническое описание с использованием при необходимости рисунков, диаграмм и технологических схем
Достижимые экологические выгоды	Основные потенциальные экологические выгоды, достигаемые с помощью реализации технологии (включая экономию энергии, воды, сырья, а также рост выхода продукции, эффективности использования энергии и т.д.)
Воздействия на окружающую среду (вода, воздух, почвенный покров)	Воздействия на окружающую среду и другие среды вследствие реализации технологии для используемых технологий: • потребление сырья и воды; • потребление энергии и вклад в изменение климата; • потенциал разрушения озонового слоя; • фотохимический потенциал образования озона; • подкисление в результате выбросов в воздух; • твердые частицы в окружающем воздухе (включая микрочастицы и металлы); • эвтрофикация почв и водоемов (в результате выбросов в воздух или сбросов в воду); • потенциал истощения кислорода в воде; • стойкие/токсичные/биоаккумулируемые компоненты в воде или почве (включая металлы); • образование или снижение (отходов) отходов; • возможность повторного использования или рециклинга (отходов) остатков; • шум и (или) запах; • риск аварий
Эксплуатационные данные	Реальные технические данные (включая сравнительные условия, периоды мониторинга и методы мониторинга) об уровнях выбросов, потребления ресурсов (сырья, воды, энергии) и количестве образующихся отходов. Любая другая полезная информация о том, как работает, обслуживается или контролируется технология
Применимость	Указание о типе установок или процессов, в которых технология может или не может применяться, а также ограничения для реализации в определенных случаях, с учетом, например, возраста установки (новая или существующая), факторы, связанные с модернизацией (например, наличие места), размер установки (крупная или небольшая), уже внедренные технологии и тип или качество продукции
Экономика	Затраты (капитальные эксплуатационные) и любая возможная экономия (например, снижение потребления сырья или энергии, платежей за размещение отходов) или доходов, включая подробности того, как они были рассчитаны/оценены. Экономическая информация, важная для нового строительства и модернизации существующих установок, позволяющая идентифицировать общее экономическое воздействие технологии
Движущие силы для внедрения	Особые местные условия, требования (например, законодательство, меры безопасности) или не экологические механизмы (например, рост производительности, повышение качества продукции), которые управляют или стимулируют реализацию технологии к настоящему времени

Тип рассматриваемой информации	Основное содержание информации
Примеры установок	Ссылка на установку (установки), для которых была внедрена технология, и по которой была собрана информация и использована при написании раздела. Указание о степени использования технологии в Европе или мире
Справочная литература	Литература или другой справочный материал (например, книги, отчеты, исследования, веб-сайты), которые были использованы при написании раздела и в которых содержится более подробная информация о технологии

2.5.1 Системы управления охраной окружающей среды

Директива определяет “технологии” (в рамках определения “наилучших доступных технологий”) как “используемые технические приемы, так и способ, с помощью которого производственная установка проектируется, строится, обслуживается, эксплуатируется и выводится из эксплуатации”.

В этом отношении система управления окружающей средой (EMS) представляет собой технические приемы, которые дают возможность операторам производственных установок обращаться к решению экологических проблем систематическим и наглядным способом. Такие системы управления наиболее эффективны и действенны, когда они составляют неотъемлемую часть общего управления и эксплуатации производственной установки.

EMS концентрирует внимание оператора на экологических показателях производственной установки, в частности с помощью применения четких технологических процессов как для нормальных, так и для иных условий эксплуатации, и с помощью установления соответствующих сфер ответственности.

Все эффективные EMSs вводят концепцию непрерывных усовершенствований, означающую, что управление окружающей средой является постоянным процессом, а не операцией, которая в конечном итоге завершается. Имеются различные технологические решения, но большинство EMS основано на схеме: планирование, исполнение, проверка, принятие необходимых мер (которая широко используется в компаниях в контексте управления). Эта схема (цикл) является повторяющейся динамической моделью, когда завершение одного цикла переходит в начало следующего цикла (рис. 2.15).

EMSs могут принимать форму стандартизированной или не стандартизированной (“изготовленной по заказу”) системы. Реализация и строгое соблюдение признанной на международном уровне стандартизированной системы, такой как EN ISO 14001:2004 могут придать более высокий уровень доверия EMS, в особенности, когда она подвергается внешней проверке. Система экологического менеджмента и аудита (EMAS) придает дополнительную надежность вследствие взаимодействия с общественностью посредством экологической экспертизы и механизма обеспечения соответствия с применяемым природоохранным законодательством. Однако и не стандартизированные системы могут, в принципе, быть в равной степени эффективными при условии, что должным образом планируются и реализуются.



Рис. 2.15 Непрерывное усовершенствование модели Системы управления окружающей средой (EMS)

Обычно как стандартизованные (EN ISO 14001:2004 или EMAS), так и не стандартизованные системы применяются, в принципе, к организациям. Но в данном документе принимается более узкий подход, не включающий все виды деятельности организации, например, в отношении продукции и услуг, так как Директива регулирует только производственные установки/предприятия.

EMS может содержать следующие компоненты:

- 1) обязательства по управлению, включая обязательства высшего руководства;
- 2) определение природоохранной политики, которое включает непрерывное усовершенствование производственной установки с помощью управления;
- 3) планирование и установление необходимых процедур, целей и показателей, в сочетании с финансовым планированием и инвестициями;
- 4) выполнение процедур, требующих особого внимания:
 - структура ответственности;
 - обучение, информированность и компетенция;
 - представление информации;
 - участие сотрудников;
 - ведение документации;
 - эффективный контроль процесса;
 - программы обслуживания;
 - готовность к аварийным ситуациям и реагированию;
 - обеспечение соответствия с природоохранным законодательством;
- 5) проверка и корректирующие действия, уделяя особое внимание следующим аспектам:
 - мониторинг и измерения (см. также Справочный документ по общим принципам мониторинга) [42];
 - корректирующие и предупредительные действия;
 - ведение учета;
 - независимый (когда это практически возможно) внутренний и внешний аудит, для того чтобы определить, будет ли EMS соответствовать планируемым мероприятиям, и будет ли оно должным образом реализовываться и обслуживаться;

- 6) проверка EMS и ее непрерывной пригодности, адекватности и эффективности высшего руководства;
- 7) подготовка регулярной экологической экспертизы;
- 8) подтверждение органом сертификации или внешним контролером EMS;
- 9) последующая разработка чистых технологий;
- 10) соображения в отношении воздействий на окружающую среду после завершения эксплуатации производственной установки, на стадии планирования нового предприятия и его срока эксплуатации;
- 11) применение сравнительного анализа на регулярной основе.

Достижимые экологические выгоды

EMS содействует и поддерживает непрерывные улучшения экологических показателей производственных установок. Если производственная установка уже имеет общие позитивные экологические показатели, EMS оказывает помощь оператору в поддержании высокого уровня показателей.

Взаимодействия между средами

Систематический анализ начальных воздействий на окружающую среду и область действий для улучшений в контексте EMS устанавливают основу для оценки наилучших решений для всех компонентов окружающей среды.

Эксплуатационные данные

Все значительные виды потребления (включая энергию) и выбросы управляются скоординированным способом оператором в краткосрочном, среднесрочном и долговременном режиме, в сочетании с финансовым планированием и инвестиционными циклами. Это означает, что, например, адаптация кратковременных решений по очистке от выбросов в конце производственного цикла может связать оператора более высоким потреблением энергии в долговременной перспективе, и отложит инвестиции в реализацию потенциально более благоприятных с экологической точки зрения решений. Это требует определенного учета воздействий между средами. Рекомендации по ним, затратам и проблемам рентабельности приведены в Справочном документе по экономике и воздействиям между средами (ЕСМ) [85] и в Справочном документе по энергоэффективности (ЕНЕ) [48].

Применимость

Компоненты ЕСМ, описанные выше, обычно могут применяться ко всем производственным установкам в рамках действия данного документа. Область действия (например, уровень подробностей) и характер EMS (например, стандартизованная или не стандартизованная) должны относиться к природе, масштабу и сложности производственной установки, и это должно быть связано с воздействием на окружающую среду.

Экономика

Трудно определить точно затраты и экономические выгоды от внедрения и обслуживания качественной EMS. Имеются также экономические выгоды, которые являются результатом использования EMS, и они различаются от отрасли к отрасли.

Внешние издержки, относящиеся к подтверждению системы, можно оценить с помощью рекомендаций, изданных Международным форумом по аккредитации¹ (<http://www.iaf.nu>).

Мотивация для внедрения

Мотивацией для внедрения EMS служит:

- улучшение экологических показателей;
- улучшение представления об экологических аспектах компании, которые можно использовать для выполнения природоохранных требований потребителей, регулирующих органов, банков, страховых компаний или других заинтересованных сторон (например, людей, проживающих или работающих вблизи производственной установки);
- улучшение базы для принятия решений;
- улучшенная мотивация персонала (например, менеджеры могут быть убеждены, что воздействия на окружающую среду контролируются, и работники могут ощущать, что они работают экологически ответственной компанией);
- дополнительные возможности для снижения эксплуатационных затрат и повышения качества продукции;
- улучшенная репутация компании;
- уменьшение затрат на выполнение финансовой ответственности, страховку и штрафы за невыполнение обязательств.

Примеры предприятий

EMS применяется на ряде производственных установок в странах ЕС.

Большинство европейских предприятий в секторе черной металлургии имеют сертифицированные EMS, в то время как ISO 14000 применяется чаще, чем EMAS. Некоторыми примерами являются:

- Buderus Edelstahl GmbH², Вецлар, Германия;
- Uddeholm Tooling AB³, Хагфорс, Швеция;
- Villares Metals SA⁴, Сан-Паулу, Бразилия;
- Bohler Edelstahl GmbH⁵, Капфенберг, Австрия;
- Voestalpine Stahl GmbH⁶, Линц, Австрия;
- Voestalpine Stahl GmbH, Донавиц, Австрия;
- Rivagroup Taranto⁷, Италия;
- ArcelorMittal Dunkirk⁸, Florange, Фос-сюр-Мер, Франция.

Справочная литература

Рекомендации EMAS (ТС) № 1221/2009 [396]

Генеральный директорат по окружающей среде, веб-сайт EMAS [397]

EN ISO 14001:2004

ISO 14000 веб-сайт семейства стандартов [398]

Технический комитет ISO 14000 [398]

¹ Международный форум по аккредитации официально зарегистрирован в США в 1998 г. Он является Всемирной ассоциацией следующих организаций: Органов по аккредитации, работающих в области регистрации или сертификации систем менеджмента качества по ISO 9000 и менеджмента охраны окружающей среды ISO 14000; Органов по аккредитации в области сертификации продукции.

² Немецкая компания, основанная в 1920 г. в земле Гессен, производящая специальные стали в электродуговых печах.

³ Одна из ведущих шведских компаний, производящая порошковую прессованную и инструментальную сталь.

⁴ Ведущая бразильская компания в секторе производства специальных высоколегированных сталей.

⁵ Одна из ведущих в мире компаний по производству специальных сталей, основанная в 1870 г.

⁶ Одна из ведущих в мире металлургических компаний, основанная в 1938 г. и специализирующаяся в производстве стали для автомобильной промышленности, железнодорожных систем и инструментальную сталь.

⁷ Одна из крупнейших в Европе металлургических фирм, состоящая из двух компаний, основанная в 1954 г.

⁸ Крупнейшая металлургическая компания мира, которая на конец 2008 г. контролировала 10% мирового рынка стали. Основана в 2006 г. путем слияния люксембургской компании Arcelor и индийской компании Mittal Steel.

2.5.2 Регулирование потребления энергии

2.5.2.1 Технологии для повышения эффективности использования энергии

Имеется несколько специальных и важных тем, о которых следует упоминать в связи с металлургическими заводами с полным циклом, для того чтобы повысить общую эффективность использования энергии, включая:

- оптимизацию потребления энергии. Обычно изменения в поставке энергии для одного процесса на металлургическом заводе оказывают влияние на несколько других процессов (например, использование коксового газа в доменной печи может привести к повышению теплотворной способности колошного газа). Оптимизация средств, которые учитывают весь комплекс, может быть предпочтительнее, чем учет каждого процесса как автономной единицы;
- мониторинг в реальном времени. Он часто используется на заводе для самых важных потоков энергии и процессов сжигания. Данные хранятся длительное время, и, поэтому, можно проанализировать типичные ситуации. Очень важен мониторинг в реальном времени для всех случаев сжигания избытков газа. Это основной способ, используемый для предотвращения потерь энергии на свечах и в процессах сжигания. Системы непрерывного мониторинга всех параметров процессов, связанных с использованием энергии, можно использовать для оптимизации контроля процесса. Появляется возможность безотлагательного обслуживания, благодаря чему достигается производство без нарушений технологического режима;
- средства отчетности и анализа. Они часто используются для проверки среднего потребления энергии в каждом процессе. В сочетании с контролем затрат учет энергии является основой для оптимизации ее потребления и экономики. Системы контроля энергии дают возможность анализа текущих и прошлых данных (например, в виде таблиц);
- уровни удельного потребления энергии. Их можно определить для каждого процесса. Обычно используют отчетные уровни энергии, хотя эти значения необходимо тщательно проверять. Значения сравниваются на долговременной основе;
- энергетический аудит. Такой аудит определен в Энергетической эффективности BREF как важнейший инструмент в регулировании потребления энергии. С помощью такого аудита можно также идентифицировать эффективные возможности экономии энергии.

Достижимые экологические выгоды

Цель регулирования потребления - максимально продуктивное использование газов, образующихся в технологических процессах. Благодаря регулированию минимизируется необходимость в импорте дополнительных источников энергии в систему и оптимизируется удельное потребление энергии в рамках специфических ограничений системы.

Не передавались данные о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, применимости, экономике, мотивации для внедрения, примерах предприятий.

Справочная литература: [281]

2.5.2.2 Технологии для оптимизации использования технологических газов

Некоторые потенциальные технологии интегрированы в технологический процесс для повышения эффективности потребления энергии на металлургических заводах с полным циклом посредством оптимизации использования технологических газов. Технологии предусматривают:

- использование газгольдеров для всех побочных газов или других адекватных систем кратковременного хранения и хранения под давлением с целью максимальной утилизации технологических газов;
- повышение давления в газораспределительной сети, если имеются потери энергии при сжигании на свечах, с целью использования больших объемов технологических газов, результатом чего явится рост уровня утилизации;
- обогащение газа технологическими газами с различной теплотворной способностью для различных потребителей и процессов с целью достижения приемлемых уровней топливной эффективности. Чем выше требуемая температура технологического процесса, тем выше требуемая теплотворная способность газов;
- отапливание технологическими газами нагревательных печей с целью максимального использования технологических газов и снижения потребности в покупке природного газа или электрической энергии;
- использование системы с компьютерным управлением для регулирования теплотворной способности;
- регистрация расхода кокса и температуры отходящих газов;
- адекватное распределение мощностей установок для утилизации энергии технологических газов.

Достигаемые экологические выгоды

С помощью применения вышеупомянутых технологий можно снизить удельное потребление энергии для производства стали на металлургическом заводе с полным циклом.

Эффективность использования энергии можно повысить с помощью надлежащего контроля горения и в конечном итоге снизить выбросы в воздух.

Не передавались данные о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, экономике, мотивации для внедрения, примерах предприятий.

Применимость

Удельное потребление энергии зависит от масштаба процесса, качества продукции и типа производственных установок (например, вакуумная обработка в кислородном конвертере, температура отжига, вид продукции и т.д.). Каждый завод с полным циклом и его сектор имеет продукцию различного спектра, конфигурацию процесса, стратегию использования сырья и т.д., и поэтому характеризуется своим индивидуальным удельным потреблением энергии. Необходимо также учитывать климатические особенности при рассмотрении удельного потребления энергии.

Справочная литература: [242], [281].

2.5.2.3 Технологии для повышения эффективности утилизации тепла

Некоторые потенциальные, встроенные в процесс меры, используемые для повышения эффективности энергии в производстве стали с помощью утилизации тепла, предусматривают:

- утилизацию тепла отходящих газов с помощью теплообменников и его распределение либо к другим агрегатам металлургического завода, либо в систему районного теплоснабжения (если вблизи находятся потребители);
- установку паровых котлов или адекватных систем в крупных нагревательных печах (печи могут покрывать часть потребности в паре);
- подогрев воздуха для сжигания в печах и других системах сжигания для экономии топлива, с учетом негативных воздействий, т.е. повышения уровня выбросов NOx в отходящих газах;
- установку паропроводов и трубопроводов горячей воды;
- утилизацию тепла от продуктов, например агломерата;
- при необходимости охлаждения стали использование как тепловых насосов, так и солнечных;
- использование котлов-утилизаторов в печах с высокой температурой;
- испарение жидкого кислорода и охлаждение компрессора для обмена энергией для стандартных теплообменников;
- использование газовых утилизационных бескомпрессорных турбин для преобразования кинетической энергии газа, образующегося в доменной печи, в электроэнергию.

Достижимые экологические выгоды

С помощью применения вышеупомянутых технологий можно снизить удельное потребление энергии для производства стали на заводах с полным циклом. Можно избежать выбросов CO₂ и других загрязняющих веществ путем замены ископаемых топлив производством энергии для системы районного теплоснабжения.

Не передавались данные о взаимодействиях между средами.

Эксплуатационные данные

В системе муниципального теплоснабжения тепловая энергия поставляется с помощью замкнутого трубопровода для отопления зданий и производства подогретой воды для технических нужд. Потребитель всегда получает тепло с помощью теплообменников.

Системы районного теплоснабжения используются обычно в городских районах стран Северной Европы, России и все больше в странах Центральной Европы. Тепловая энергия производится в более крупных городах на крупных электростанциях с комбинированной выработкой электрической и тепловой энергии (СНР). В некоторых населенных пунктах тепловая энергия производится на отдельных котельных установках, на которых сжигают определенные виды топлива, мазут, природный газ или биомассу.

Температура воды в системе районного теплоснабжения регулируется в диапазоне от 75 до 120°C. Температура обратной сетевой воды находится в диапазоне от 40 до 45°C.

Специфическими особенностями промышленных систем районного теплоснабжения являются оптимизация и контроль. Когда около 90% ежегодной потребности в тепловой энергии обеспечивается с помощью вторичного тепла различных процессов, довольно сложно непрерывно распределять оптимальные тепловые нагрузки и контролировать температуру и давление в других местах производственного предприятия. В случае поставки основной части тепловой энергии в систему районного теплоснабжения может возникнуть необходимость в резервной системе.

Применимость

Метод используется главным образом на всех металлургических заводах, на которых применяется сходный способ охлаждения.

Комбинированное производство тепловой и электрической энергии применимо для всех металлургических заводов, находящихся вблизи городских территорий с соответствующей тепловой потребностью. То же самое относится ко многим другим непрерывным производствам.

Удельное потребление энергии зависит от масштаба производства, вида товарной продукции, типа производственной установки и технологических параметров процесса (вакуумная обработка в кислородном конвертере, температура обжига, размеры и вес заготовок и изделий и т.п.).

Каждый завод с полным циклом и его отдельные производства имеют продукцию различного сортамента, что определяет величину удельного потребления энергии.

Необходимо также учитывать особенности климатических условий в районе каждого из рассматриваемых заводов.

Экономика

Важнейшим параметром экономии является продажа вторичного тепла на внешнем рынке. Организация системы районного теплоснабжения является примером выгодного использования вторичного тепла.

По этой причине система оказалась чрезвычайно выгодной технологией для завода с полным циклом Raahе Steel Works (принадлежащем ведущей финской компании Raatarguukki Oy) в городе Раахе, на берегу Ботнического залива. Кроме того она сформировала чрезвычайно большое преимущество всей системы районного теплоснабжения, снизив тариф в городе Раахе для конечных потребителей. В этом районе, в котором используется система районного теплоснабжения, появилась новая отрасль, распределяющая вторичное тепло.

Мотивация для внедрения

Движущими силами для внедрения системы районного теплоснабжения являются экономия природных топлив, снижение выбросов CO₂ и других воздействий на окружающую среду. Движущими силами для внедрения комбинированного производства тепловой и электрической энергии являются выгоды для окружающей среды, улучшение работы доменных печей и предотвращение высоких капиталовложений.

Примеры заводов

На упоминаемом заводе Marienhutte в г. Грац, Австрия, утилизируется за год около 40 ГВт·час тепловой энергии из электродуговой печи (емкостью 35 т), которая подается в систему районного теплоснабжения (существующую с 2005 г.). Районное теплоснабжение используется также на заводе Ovako Hofors AB в г. Лулео, Швеция и на агломерационной фабрике компании Ruukki в Финляндии.

На металлургическом заводе с полным циклом компании SSAB Lulekraft в г. Лулео, Швеция, имеется установка для комбинированного производства тепловой и электрической энергии. Со времени пуска в течение 2003 г. в местную систему районного теплоснабжения было поставлено 12995 ГВт·ч горячей воды. Приблизительно 4,5 млн т CO₂ должно было образоваться, если бы то же самое количество тепла было произведено при сжигании мазута (с учетом утилизации 90% и удельных выбросах 0,0879 т CO₂/ГДж). При тех же условиях удалось избежать выбросов 1800 и 600 т NO_x и SO_x, соответственно. Генерируемая электроэнергия обеспечивает потребности в производстве листовой стали компании SSAB Tunplat AB, и при этом остается избыток электроэнергии, который можно использовать в другом месте. Производимой тепловой энергии хватает для обеспечения потребностей системы районного теплоснабжения в г. Лулео (в котором имеется 22000 домов). Кроме того, избыточная энергия из системы используется для местной установки переработки биомассы.

Общие поставки энергии из системы за 2004 г. приведены в табл. 2.10.

ТАБЛИЦА 2.10 ПРОИЗВОДСТВО ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ CHP [208]

Подача топлива, ГВт·ч		Вырабатываемая энергия, ГВт·ч	
Газ	2075	Общий экспорт энергии	1472
Мазут	82	Горячая вода в районное теплоснабжение	751
		Экспорт электроэнергии	613
		Экспорт пара	27
		Экспорт сухого газа	81

Компания Hofors Energy AB в Швеции поставляет в общей сложности 130 ГВт·ч энергии для компании Ovako Hofors и для населения г. Хофорс. Треть этой энергии поставляется в виде пара, в то время как остальная часть – в виде горячей воды. Использование вторичного тепла обеспечивает дополнительную экономию мазута в 4000 м³ в год, что эквивалентно снижению условных выбросов CO₂ на 23000 т в год для компании Ovako Hofors. В результате сотрудничества между компаниями Hofors Energy AB и Ovako Hofors AB население г. Хофорса обеспечено системой горячего водоснабжения, что позволило снизить потребление мазута в зданиях дополнительно на 4000 м³ мазута в год. Это означает снижение условных выбросов CO₂ приблизительно на 11000 т/год.

Поставки тепловой энергии в систему районного теплоснабжения от компании Raahen Energy в Финляндии составляют 160000 МВт·ч в год, что экви-

валентно ежегодному замещению 18000 т мазута. Сходное количество энергии замещается с помощью собственных видов топлива, пара и электроэнергии компании Raahen Steel Works. Кроме того, снижается потребление энергии на металлургических заводах, и появилась возможность продавать вторичное тепло энергокомпании Raahen Energy.

Еще одним примером системы районного теплоснабжения является завод компании Voestalpine Stahl GmbH в австрийском г. Линц, который поставляет 139 ГВт-ч в год.

Справочная литература: [208], [277], [281].

2.5.2.4 Насосы и вентиляторы с частотно-регулируемым приводом

Анализ насосов, используемых для систем районного теплоснабжения в промышленной зоне, показывает, что часто насосы работают непрерывно при высокой мощности, хотя зачастую требуется очень низкая мощность накачки.

Большинство современных насосов и вентиляторов можно использовать с частотно-регулируемым приводом, и, поэтому, они могут работать с заданной скоростью вращения (числом оборотов в мин) для получения желаемого значения для обеспечения требуемого расхода. Использование насосов и вентиляторов с частотно-регулируемым приводом и переменной скоростью вращения позволяет лучше и быстрее корректировать расход воды и отходящих газов в соответствии с потребностями условий различных процессов. Меры оптимизации дополнительных систем включают:

- полное отделение насосов от питания сети, когда они отключаются;
- замену существующих насосов насосами меньшей мощности с высоким КПД;
- установку двигателей с высокой эффективностью.

Максимальная экономия энергии достигается при оптимизации потребления энергии в целом, а не с отдельным учетом индивидуальных компонентов системы. Поэтому необходим системный анализ, включая компоненты в насосной системе, например, привод с регулируемой частотой вращения, электродвигатель, коробку скоростей, насос и трубопроводы, а также инструменты и регулирующее оборудование. Должны быть разработаны меры для оптимизации потребления энергии индивидуально, для каждой насосной системы, и они должны оцениваться с экономической точки зрения. Важно сделать анализ необходимых параметров (давления, расхода, температуры, уровня и т.д.), и компонентов каждой отдельной системы. Точная настройка всех компонентов и их взаимодействия также входит в план оптимизации. Это обеспечивает поэтапное определение наилучшей эффективности системы и оптимальное использование энергии.

Достижимые экологические выгоды

Результатом этих изменений является значительная экономия электроэнергии, а также меньшие затраты на обслуживание и меньшие нарушения производственного цикла.

Меры эффективности также играют значительную роль в ослаблении изменения климата. В шведской компании SSAB Oxel sund AB (производитель высокопрочной и износостойкой стали) экономия электроэнергии на годовой основе составляет 3,2 ГВт-час. С точки зрения снижения выбросов CO₂ это эквивалентно 250 т/год.

Не приведены данные о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные.

Применимость

Технология может быть применена к воде для очистки отходящих газов, охлаждающей воде котла-утилизатора и фурмы кислородного конвертера, вытяжному вентилятору дымовых газов и сходному оборудованию, например, в кислородно-конвертерном процессе с продувкой сверху. В случае, когда надежность насосов особенно важна для безопасности процесса, нельзя использовать насосы с частотно-регулируемым приводом.

Экономика

Меры оптимизации часто могут снизить потребление энергии в системах, использующих электродвигатели, на 30% и более. Снижение затрат на потребление электроэнергии обычно означает, что инвестиции окупаются в течение 2-3 лет, с эффективностью инвестиций от 30 до 59%.

Увеличивается также срок эксплуатации насосной системы с оптимизацией потребления энергии, и возрастает коэффициент использования оборудования. Снижение механической нагрузки также снижает затраты на обслуживание.

Экономия энергии и эффективность параметров для системы районного теплоснабжения компании Ulm GmbH (производитель специальных сортов стали в г. Ульм, земля Баден-Вюртемберг), Германия, включает:

- экономию электроэнергии 64%, или 325000 кВт-час в год;
- снижение затрат на 32500 евро в год;
- инвестиции в размере 67000 евро в год;
- срок окупаемости: 2,1 года;
- прибыль на инвестиции: 48%.

Для компании SSAB Oxelsund AB, Швеция, общая потенциальная экономия превышает 55000 евро в год только за счет сокращения потребления энергии (при цене 0,033 евро за кВт-час).

Мотивация для внедрения

Движущей силой являясь главным образом экономические соображения.

Примеры предприятий

Система районного теплоснабжения с использованием котлов-утилизаторов вторичного тепла компании Ulm GmbH в г. Ульм, Германия, позволяет обеспечить пиковые нагрузки в долине Дуная вблизи предприятия и поставляет тепловую энергию в жилой квартал Вибинген г. Ульма.

Технология применяется компанией SSAB Oxel sund AB, Швеция.

Справочная литература: [34], [208]

2.5.3 Снижение выбросов NOx на электростанциях, отапливаемых технологическими газами

2.5.3.1 Снижение выбросов NOx с помощью основных мер

В принципе, для снижения выбросов NOx можно использовать как первичные, так и вторичные меры. Вторичные меры оказывают влияние как на термические, так и на топливные NOx.

Основные (первичные) меры могут позволить снизить выбросы только термических NOx. Следующие первичные меры можно применять отдельно или в сочетании:

- использование горелок с низкими выбросами NOx;
- рециркуляцию дымовых газов;
- инъекцию воздуха в верхнее воздушное пространство для остаточных продуктов сжигания с использованием субстехиометрических горелок (с обеднением воздуха в смеси с топливом);
- инъекцию восстановительного топлива;
- ступенчатую подачу воздуха;
- ступенчатое сжигание топлива.

Все эти меры снижают температуру сжигания и парциальное давление кислорода. Результатом является значительное снижение выбросов NOx. Температура сжигания зависит от теплотворной способности подаваемого газа. Путем смешения большего количества дымовых газов (без горючих компонентов) с технологическим газом температура снижается.

Установление горелок с низкими выбросами NOx и рециркуляцией дымовых газов

Эта одна из самых эффективных мер снижения выбросов, которые должны также использоваться при тщательно согласованных способах сжигания.

Использование горелок с низкими выбросами NOx и дополнительной внешней рециркуляцией дымовых газов позволяет достичь среднесуточного значения выбросов 80-90 мг/нм³ термических NOx. При сжигании коксового газа вместе с природным газом (без доменного газа) среднесуточное значение достигает 90 мг/нм³.

При установке горелок с низкими выбросами NOx и дополнительной внешней рециркуляцией дымовых газов возможно снижение выбросов на 40%, хотя только при использовании горелок с низкими выбросами NOx можно достичь их снижения на 30%, а при использовании только рециркуляции дымовых газов снижение выбросов NOx достигает 15%.

Вследствие добавки термических и топливных NOx среднесуточное значение общих выбросов NOx будет достигать 210 мг/нм³ при использовании этих первичных мер и при обычном составе коксового газа.

На выбросы NOx оказывают влияние и другие параметры процесса типа:

- нагрузка на площадь сечения печи (частичная нагрузка/полная нагрузка);
- дополнительное сжигание доменного газа в то же самое время (пониженная температура горения);

- инъекция воздуха в верхнее воздушное пространство.

Инжекция воздуха в верхнее воздушное пространство в качестве дополнительной меры

Инжекция воздуха в верхнее воздушное пространство используется дополнительно при сжигании остаточного топлива к установленным горелкам с низкими выбросами NOx и рециркуляцией дымовых газов, но на существующих объектах это менее эффективно.

Инжекция воздуха в верхнее воздушное пространство в качестве альтернативной меры

Одним вариантом может быть сочетание горелки с низкими выбросами NOx и рециркуляция дымовых газов. Другой вариант сжигания остаточных дымовых газов - использование одной субстехиометрической горелки и подача воздуха, необходимого для последующего сжигания. По сравнению с первым вариантом NOx в выбросах снижается только на треть. Кроме того, могут возникнуть технические проблемы, когда в печь устойчиво инжектируется воздух для полного дожигания дымовых газов с возрастанием концентрации CO вблизи стенок, что приводит к коррозии.

Инжекция восстановительного топлива

Еще одной возможностью снижения выбросов NOx является инъекция восстановительного топлива, например, смеси рециклируемых отходящих газов и природного газа, между уровнем последней горелки и верхним воздушным пространством. Но это не эффективно при использовании горелок с низкими выбросами NOx.

Ступенчатая подача воздуха

Вокруг факела образуются несколько зон сжигания с различным количеством кислорода. Вследствие этого зона сжигания становится больше и время пребывания в факеле возрастает. Ступенчатая подача воздуха может проводиться непосредственно в горелку или в печное пространство.

Ступенчатое сжигание топлива

Подобно ступенчатой подаче воздуха, топливо вводится в печное пространство обычно в две стадии. Результаты по снижению выбросов NOx сходные.

Достижаемые экологические выгоды

С применением этих мер можно достичь эффективности снижения выбросов NOx, которая указана в табл. 2.11.

ТАБЛИЦА 2.11. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ NOX ДЛЯ ПЕРВИЧНЫХ МЕР

Применяемые первичные меры	Эффективность снижения выбросов NOx, %
Горелки с низким уровнем выбросов NOx	28
Рециркуляция дымовых газов	13
Инжекция воздуха в верхнее воздушное пространство для остаточного сжигания с субстехиометрическими горелками	23
Инжекция восстановительного топлива	13
Горелки с низким уровнем выбросов NOx и рециркуляция дымовых газов	38

Не представлялись данные о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

Первичные или интегрированные в технологический процесс меры, такие как установка горелок с низкими выбросами NOx могут применяться в новых или полностью модернизированных крупных топливосжигающих установках в черной металлургии.

Примеры установок

Упомянутые электростанции: Voestalpine Stahl GmbH, Линц Австрия.

TKS¹, Дуйсбург-Хукинген, Германия.

Справочная литература: [140], [281].

Больше информации о снижении выбросов NOx с помощью первичных мер можно найти в BREF для крупных топливосжигающих установках (LCP) [282].

2.5.3.2 Снижение выбросов NOx с помощью вспомогательных мер

Селективное каталитическое восстановление (SCR)

Аммиак вдувается в дымовые газы и превращает NOx в молекулярный азот (N₂) и воду (H₂O). Необходима температура выше 320°C для предотвращения появления аммонийных солей, которые блокируются каталитическим преобразователем. На рис. 2.16 приведена типичная конфигурация каталитического преобразователя NOx в потоке.

В зависимости от условий эксплуатации имеется три варианта расположения каталитического преобразователя в установке для:

- высокого содержания пыли;
- низкого содержания пыли;
- с размещением в хвостовой части.

В случае варианта с высоким содержанием пыли каталитический преобразователь устанавливается между экономайзером и воздухоподогревателем. Необходимая температура каталитической реакции находится в диапазоне от 320 до 400°C. Вследствие широкого диапазона условий эксплуатации и параметров газа достижение стабильной температуры на установках металлургических заводов с полным циклом не представляется возможным.

Для этого варианта требуется много места вследствие того, что отходящие газы проходят через каталитический преобразователь за пределами печного пространства и должны вернуться обратно. Все отходящие газы должны быть очищены примерно при 350°C. Обычно концентрация NOx (около 100 мг/нм³) низкая, и поэтому, трудно смешивать NH₃ с отходящими газами без стационарного смесителя. Кроме того, в холодных частях воздухоподогревателя конденсирующаяся сера будет превращаться в триоксид серы (SO₃), который может блокировать выход подогревателя. Еще одним недостатком является высокое содержание пыли.

¹ Тиссен Крупп – один из крупнейших промышленных концернов Германии, основанный в 1860 г. Крупнейший в мире производитель высоколегированной стали.

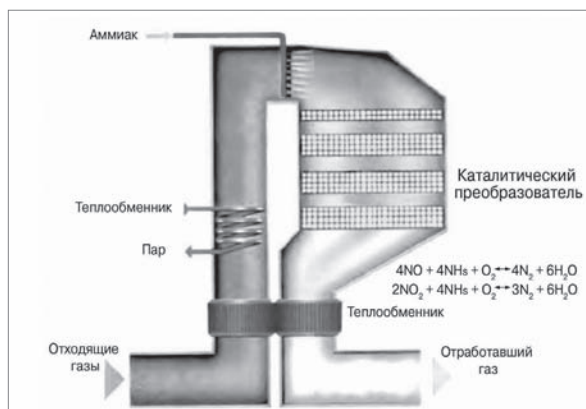


Рис.2.16 Каталитический преобразователь NOx

В варианте с низким содержанием пыли, а также в варианте с размещением в хвостовой части отходящие газы покидают технологический процесс после пылеулавливателя (например, электрофилтра) при температуре только 50-130оС. Отходящие газы почти очищены от пыли, но их нужно подогреть перед тем, как они поступят в каталитический преобразователь. Это можно сделать с помощью систем нагрева, дополнительных горелок или пара, а результатом является снижение экономической эффективности.

Достигаемые экологические выгоды

Как показано в табл. 2.12, с помощью способа SCR выбросы NOx в отходящих газах можно снизить до концентраций ниже 80 мг/нм³ в качестве среднего годового показателя.

ТАБЛИЦА 2.12 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ПЯТИ ПРОЦЕССОВ НА УСТАНОВКАХ, РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ SCR [32]

Производственные объекты	NOx, мг/нм ³		
	2005 г.	2006 г.	2007 г.
Энергоблок 3	28	21	18
Энергоблок 4	36	24	25
Энергоблок 5	29	17	23
Энергоблок 6	71	76	66
Шины электростанции	69	66	46
Газовая и паровая турбина (1)	15	16	17

Базовое содержание 15%.

Не приведены данные о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

SCR можно применять на новых и старых предприятиях. Для того чтобы не было воздействия между средами (потребление энергии и химических веществ, дополнительные инвестиционные затраты), технология SCR должна сочетаться с первичными мерами.

Примеры установок

Упомянутые электростанции: Voestalpine Stahl GmbH, Линц Австрия.

TKS, Дуйсбург-Хамборн, Германия.

Справочная литература: [32], [40], [277].

Больше информации о SCR можно найти в BREF для крупных топливосжигающих установок (LCP) [282], BREF для установок для сжигания отходов [285] и в BREF для производства цемента, извести и оксида магния (LCM) [212].

Неселективное каталитическое восстановление (SNCR)

Другим способом для снижения выбросов NO_x является неселективное каталитическое восстановление (SNCR). Для него не требуется катализатор, но необходим более высокий уровень температуры, от 900 до 1000°C. Инвестиционные потребности для SNCR обычно ниже, чем для SCR (в особенности, когда температура отходящих газов достаточно высокая), но потребление восстанавливающих агентов (например, NH₃) выше вследствие образования термических NO_x в этом температурном диапазоне. Впрыск восстанавливающих агентов должен проводиться на различных стадиях, а именно при достижении диапазона оптимальных температур. Это затрудняет регулирование и требует тщательного управления процессом.

Не приведены данные о достигаемых экологических выгодах, взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, экономике, мотивации для внедрения, примерах установок.

Применимость

Не была представлена информация о применении SNCR на электростанциях, отапливаемых газом.

Справочная литература:[140].

Информацию о SCNR можно найти в BREF для крупных топливосжигающих установок (LCP) [282], BREF для установок для сжигания отходов [285] и в BREF для производства цемента, извести и оксида магния (LCM) [212].

2.5.4 Управление материалами**2.5.4.1 Технологии для улучшения использования лома**

Для электродугового и кислородно-конвертерного процессов требуются различные виды лома черных металлов в соответствии с различными рецептурами и качеством стали. По этой причине покупной или образующийся на предприятии и подвергаемый рециклингу лом должны храниться отдельно. Лом квалифицируется на основе его веса, размера и данных химического анализа. На терминале металлолома должны быть отдельные бункеры для каждого вида лома.

Имеется несколько технологий, которые могут помочь операторам отбраковать лом, который не пригоден для переработки вследствие содержания в нем тяжелых металлов или других нежелательных или опасных веществ. Некото-

рые из этих технологий могут помочь операторам в определении характеристик лома, который используется. Жесткость определения этих характеристик важна для последующих операций (например, плавка в электродуговой печи, кислородном конвертере). Неспособность проведения адекватной проверки и соответствующих процедур может стать причиной неожиданных параметров выбросов.

Некоторые технологии для улучшения использования лома предусматривают:

- определение критериев приема, подходящих для производственной специализации в заказах на закупки лома;
- наличие надлежащей информации о составе лома с помощью тщательного мониторинга происхождения лома: в особых случаях опытная плавка может помочь в определении состава лома;
- наличие адекватных объектов для приема и проверки поставок;
- наличие процедур для исключения лома, который не пригоден для использования на производственной установке;
- хранение лома в соответствии с различными критериями (например, размер, легирующие элементы, степень чистоты); хранение лома с потенциальными выбросами загрязняющих веществ в почву на непроницаемой поверхности с системой дренажа и сбора; применение покрытия, которое может снизить необходимость в такой системе;
- размещение вместе партий лома для различных плавков с учетом информации о составе, для того чтобы использовать самый подходящий лом для сорта стали, которая будет выплавляться (это важно в некоторых случаях для предотвращения наличия нежелательных элементов и в других случаях можно воспользоваться преимуществами легирующих элементов, находящихся в ломе и требуемых для выплавки стали необходимого сорта);
- немедленный возврат всего лома, образующегося внутри предприятия, на склад для рециклинга;
- наличие оперативного плана управления;
- сортировка лома для минимизации риска попадания опасных или неталлических загрязняющих веществ, в особенности РСВ, масел и жиров. Это обычно делает поставщик лома, но оператор должен проверять все партии лома. Поэтому проверка должна быть возможна, насколько это достижимо, на предмет загрязняющих веществ. Может потребоваться оценка небольших количеств пластмасс (например, в компонентах с пластиковым покрытием);
- контроль радиоактивности (см. п. 2.3.1);
- удаление компонентов, в которых содержится ртуть, является требованием Директивы о вышедших из эксплуатации транспортных средствах (2000/53/ЕС) и Директивы об отходах электротехнического и электронного оборудования (WEEE) (2002/96/ЕС) (в настоящее время заменена Директивой 2012/19/ЕС Европейского Парламента и Совета от 4 июля 2012 г.). Это обязанность переработчиков лома. Следующие две меры могут способствовать выполнению Директивы:

- документальное подтверждение отсутствия ртути в контрактах на закупку лома;
- отказ от лома, в котором содержатся явные электронные компоненты и блоки.

Достижимые экологические выгоды

Наличие информации о качестве скрапа повышает возможность прогнозирования ожидаемых выбросов. Исключение ртути должно снизить выбросы ртути.

При использовании некоторых из перечисленных способов максимальное количество лома, используемого в кислородных конвертерах, возросло с 200 до 250 кг/т стали. Более высокая степень использования лома в кислородных конвертерах ведет к общему снижению загрязнения окружающей среды и повышению энергоэффективности.

Не приведены данные о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные.

Применимость

Такая практика, в принципе, применима ко всем кислородным конвертерам и электродуговым печам, которые должны классифицировать качество лома на основе веса и химического анализа.

Экономика

Полный рециклинг всего лома, образующегося на предприятии, и повышение общего поступления лома приводит к экономии затрат. Рост количества производимой стали означает снижение количества покупаемых слэбов и повышает рентабельность.

Примеры производств

Ruukki Production, Раахе, Финляндия. Большая часть описанных способов относится к обычной практике в европейских странах для кислородно-конвертерного и электродугового производства стали.

Справочная литература: [208], [240], [278], [260], [273], [280], [394].

2.5.4.2 Технологии для снижения рассеянных выбросов от хранения и обращения с материалами

BREF по выбросам от хранения (EFS) [283] подробно охватывает многие из этих областей, и мы настоятельно рекомендуем, чтобы читатель обратился к этому документу.

На заводах с полным циклом и в электросталеплавильных цехах первичные рассеянные выбросы могут появиться в системах разгрузки, хранения, обращения и транспортирования. Вторичные выбросы пыли появляются от перемещения пыльных материалов из мест хранения или в местах размещения, взвешенной пыли от шоссе, образующейся вследствие движения транспорта и загрязнений от колес транспортных средств и шасси.

Рассеянные выбросы могут быть следствием самих технологических процессов. Источники рассеянных выбросов с низким уровнем, иные, чем хранение, обращение и транспортирование материалов, можно обнаружить в различных

секторах. Например, на участке переработки отходов выбросы образуются вследствие недостаточной экстракции в течение дробления, просеивания, загрузки, плавления, разливки. Эти рассеянные выбросы обычно относятся к вторичным отходящим газам.

Ключевые технологии для минимизации рассеянных выбросов пыли на предприятиях черной металлургии, возникающих от источников, перечисленных выше, приведены ниже.

Обычные технологии должны предусматривать:

- работу металлургического предприятия в условиях системы управления окружающей средой (EMS). В EMS металлургического завода должен быть разработан соответствующий план действий в отношении рассеянной пыли;
- предложения о временном прекращении некоторых работ, когда они идентифицированы как источники выбросов PM₁₀, становящиеся причиной высоких концентраций в окружающей среде. Необходимо иметь достаточное количество средств для контроля PM₁₀, с соответствующими данными о направлении и скорости ветра, для возможности проведения триангуляционной съемки и идентификации ключевых источников тонкодисперсной пыли.

Меры для предотвращения выбросов пыли в течение обращения и транспортирования бестарных сырьевых материалов:

- ориентация длинных складов в направлении преобладающего ветра;
- установка ветрозащитных барьеров или использование естественных рельефов для обеспечения укрытия;
- контроль содержания влажности поставляемых материалов;
- особое внимание процедурам для предотвращения нежелательного обращения с материалами и длинных открытых спусков;
- адекватная герметизация конвейеров и бункеров и т.д.;
- использование распыления воды для подавления пыли, с такими добавками как латекс (при необходимости);
- жесткие стандарты обслуживания оборудования;
- высокие стандарты поддержания порядка, в частности очистки дорог и режимов торможения на дорогах;
- использование мобильного и стационарного оборудования для вакуумной очистки;
- подавление или удаление пыли и использование для очистки рукавных фильтров для подавления значительных источников образования пыли;
- применение машин для уборки улиц со сниженными выбросами для проведения обычной очистки дорог с твердым покрытием.

Технологии для деятельности, связанной с поставкой, обращением и утилизацией материалов, предусматривают:

- общее ограждение разгрузочных бункеров в зданиях, оснащенных вытяжкой воздуха с фильтрами для пыльных материалов, кроме того бункеры должны быть оснащены пылезадерживающими перегородками и разгрузочными решетками в сочетании с системой удаления и очистки от пыли;

- ограничение высоты спусков, если возможно, максимум до 0,5 м;
- использование распыления воды (предпочтительно с применением рециркулированной воды) для подавления пыли;
- при необходимости, оснащение промежуточных бункеров фильтровальными установками для контроля содержания пыли;
- использование полностью закрытых устройств для утилизации материалов из бункеров;
- при необходимости, хранение лома в местах с твердым покрытием для снижения риска загрязнения почвы (с использованием своевременной поставки для минимизации размера склада и, следовательно, выбросов);
- минимизация нарушений на рудных складах;
- ограничение высоты и контроль общей формы рудных складов;
- использование хранения внутри здания или внутри корпуса, а не на внешних складах, если это возможно;
- создание защиты от ветра с помощью естественного рельефа, земляных валов или высаживания высокой травы и вечнозеленых деревьев в открытых местах. Это приводит не только к эстетическим выгодам, но также и к тому, что растительность может улавливать и поглощать пыль без причинения долговременного вреда;
- гидропосев травы на отвалах шлака и отвальных кучах;
- озеленение участков на неиспользованных территориях с верхним слоем почвы и посадкой травы, кустарника и другой почвенной растительности, которая должна минимизировать поднятие пыли с земли с этих территорий;
- увлажнение поверхности с использованием прочных пылесвязующих веществ;
- покрытие поверхностей брезентом или покрытие (например, латексом) складов для минимизации поднятия пыли;
- использование площадки с подпорными стенками для уменьшения открытой поверхности;
- при необходимости, меры могут включать использование непроницаемых поверхностей с бетоном и дренажем.

При поставке топлива и сырья по морю, когда выбросы пыли могут быть значительными, некоторые технологии предусматривают:

- использование операторами судов с автоматическими разгрузками или закрытыми разгрузчиками непрерывного действия. Пыль, образующаяся при использовании разгрузчиков грейферного типа, должна быть минимизирована с помощью сочетания приемов, обеспечивающих адекватное содержание влаги поставляемых материалов, путем минимизации высоты склонов и с помощью использования водяного распыления или водного тумана в устье воронки разгрузочного устройства;
- предотвращение использования морской воды при распылении руд или флюсов, так как это приводит к засорению электрофильтра агломерационной установки хлоридом натрия. Дополнительное поступление хлора в сы-

рьевые материалы может также привести к повышению выбросов (например, PCDD/F) и будет мешать рециркуляции пыли от фильтров;

- хранение порошкообразного угля, извести и карбида кальция в герметичных контейнерах. Их пневмотранспорт или передача должны осуществляться в заваренных мешках и их необходимо держать сухими.

Методы разгрузки поездов и грузовиков включают:

- при необходимости (в случае выбросов пыли) использование специализированного разгрузочного оборудования закрытой конструкции.

Для материалов, чувствительных к уносу, которые могут стать причиной значительных выбросов пыли, некоторые методы включают:

- использование перегрузочных пунктов, вибрационных сит, дробилок, воронок и т.п., которые могут быть полностью закрыты. Выбросы должны отводиться на установку с рукавным фильтром;

- использование централизованных или местных систем вакуумной очистки. Не рекомендуется смывать для удаления рассыпанные материалы. Это упрощает рециклинг сыпучих материалов.

Технологии для обращения и переработки шлака предусматривают:

- содержание отвалов гранулированного шлака влажными, так сухой шлак доменной печи и шлаки сталеплавильных агрегатов могут стать причиной роста образования пыли;

- использование закрытого оборудования для дробления шлака, оснащенного эффективными средствами удаления пыли и рукавными фильтрами.

Технологии для обращения с ломом предусматривают:

- обеспечение условий для хранения лома на участке покрытым и (или) на бетонном полу для минимизации подъема пыли, вызываемого движением транспортных средств.

Технологии, учитываемые при транспортировании материалов, предусматривают:

- минимизацию точек доступа от шоссе общего пользования;
- использование оборудования для очистки колес для предотвращения переноса грязи и пыли на дороги общего пользования;
- применение твердых поверхностей для автомобильных дорог с использованием бетона или асфальта для минимизации образования пылевых облаков в течение транспортирования материалов и очистки дорог;
- ограничение движения транспортных средств для определенных маршрутов с помощью оград, канав или валов из рециклированного шлака;
- увлажнение пыльных маршрутов водными струями, например при операциях по обращению со шлаком;
- обеспечение того, чтобы транспортные средства не были переполнены с тем, чтобы предотвратить любые проливы;
- обеспечение того, чтобы транспортные средства были покрыты чехлами для укрытия перевозимого материала;
- минимизация количества перевозок;

- использование трубчатых конвейеров, когда возможно, для минимизации потерь материала при разгрузке его с одной ленты на другую;
- технологии надлежащей практики для транспортирования горячего металла и манипулирования ковшами;
- обеспыливание пунктов перевалки конвейеров.

Достижимые экологические выгоды

Экологические выгоды определяются уровнем снижения выбросов пыли на этапах хранения, использования, транспортировки и смешивания материалов связаны с предотвращением выбросов пыли.

Не передавались данные о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, применимости, мотивации для внедрения.

Примеры предприятий

Все металлургические предприятия Соединенного Королевства

Справочная литература: [31], [165], [240], [283].

2.5.4.3 Технологии для регулирования сбросов в водные объекты от хранения, обращения и смешивания материалов

Дождевой сток с открытых территорий, но в особенности с мест складирования руды, угля и сырьевых материалов содержит взвешенные твердые частицы. Этот сток дождевой воды необходимо перехватывать и удалять взвешенные твердые частицы с помощью осаждения или других способов. Должны быть приняты решения по мониторингу качества сбросов в водные объекты от территорий хранения и смешивания, где такие сбросы могут происходить вблизи потенциально слабозащищенных участков.

Территории для обращения и хранения покупного лома являются потенциальными источниками загрязненных стоков вследствие выщелачивания нефтепродуктов и химических веществ дождевой водой. Лом должен храниться на твердой непроницаемой поверхности, и должна иметься надлежащая дренажная система, включая перехватывающий улавливатель перед сбросом, если только не будет доказано, что риск для окружающей среды будет пренебрежимо мал (например, хранение чистого лома).

Достижимые экологические выгоды

Снижение сбросов в водные объекты является экологической выгодой для таких технологий.

Не передавались данные о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, применимости, мотивации для внедрения.

Примеры предприятий

Все металлургические предприятия Соединенного Королевства.

Справочная литература: [240].

2.5.4.4 Специализированные установки для рециклинга отходов с высоким содержанием железа

Печь шахтного типа ОхуСир®

Блочная установка ОхуСир® состоит из трех модульных рабочих элементов: установка для производства кирпичей, установки для составления шихты, а также печи шахтного типа ОхуСир®. Процесс начинается с изготовления кирпичей и заканчивается поставкой жидкого металла на сталеплавильный завод. Для производства кирпичей шлак и пыль из установок для обеспыливания, в которых сдержатся углерод, железо и оксид железа, должны брикетироваться вместе с другими комковатыми железосодержащими материалами и коксом. Брикетирование является холодным процессом, при котором связующее и вода, а также коксовая мелочь добавляются к мелким фракциям, прессуются до образования брикетов, сушатся и отверждаются. Безобжиговые, самовосстанавливающиеся кирпичи загружаются в верхнюю часть шахтной печи, восстанавливаются и расплавляются до жидкого чугуна. Жидкий металл и шлак разливаются из печи в виде конечной продукции.

Достигаемые экологические выгоды

Внешняя переработка или полигонное депонирование в большинстве случаев заменяются комплексным рециклингом в печи шахтного типа ОхуСир®. Еще одним преимуществом данного метода является его сходство с объектами исходного производства, что дает возможность включать технологические газы и шлак в инфраструктуру блочной установки.

Не передавались данные о взаимодействиях между средами.

Эксплуатационные данные

Печь шахтного типа ОхуСир® в Дуйсбурге, Германия, производит 170000 т горячего металла в год.

Применимость

Печь шахтного типа ОхуСир® в особенности пригодна для металлургических заводов с полным циклом. Этот новый процесс годен как для переработки всех материалов, типа кусков шлака, так и для тонкодисперсной пыли и шлака с достаточным потенциалом для рециклинга с точки зрения содержания в них углерода и железа.

Экономика

Установка ОхуСир® оптимально объединяет защиту окружающей среды с экономической эффективностью.

Мотивация для внедрения

Движущей силой для внедрения является повышенная экологическая и экономическая эффективность вследствие резкого роста цен на сырьевые материалы, внешней переработки, а также размещения отходов.

Пример установок

Компания Thyssen Krupp Stahl, Дуйсбург, Германия.

Справочная литература: [6], [10], [12].

ДК процесс

Процесс ДК включает в себя агломерационную установку и доменную печь. Он отличается от обычного процесса производства чугуна качеством используемых сырьевых материалов, т.е. для них требуется другая предварительная обработка. Более 80% сырьевых материалов для процесса ДК состоят из пыли и шламов от доменных печей и кислородных конвертеров, а также прокатной окалины. Кроме того, можно использовать и много других отходов с высоким содержанием железа.

Первым шагом в подготовке сырьевых материалов является их спекание. В этом процессе пыль, шламы и прокатная окалина брикетируются для подготовки в качестве шихты для доменной печи. При этом брикетировании тонкодисперсный материал смешивается с известью и коксовой мелочью и слоями выкладывается на вращающуюся агломерационную ленту. Газовая горелка в горне поджигает коксовую мелочь в верхнем слое. После поджигания фронт горения (с температурой выше 1300°C) движется вниз через слой шихты за счет создаваемого давления. Процесс спекания завершается, когда фронт горения достигает дна слоя в конце агломерационной ленты. Затем агломерат удаляется и направляется в охладитель.

После этого агломерат вместе с коксом в качестве восстановителя перерабатываются в специальный литейный чугун в доменной печи. Жидкий чугун разливается в виде чушек и продается в литейные цеха по всему миру. Вследствие высокого содержания цинка в сырьевых материалах, используемых в процессе ДК (2-3% в среднем), шламы, очищаемые из доменного газа, после мокрой газоочистки утилизируются в виде концентрата чистого цинка, который используется в цинковой промышленности.

Достижимые экологические выгоды

Процесс ДК используется с начала 1980-х годов, когда появились установки, адаптированные к переработке отходов металлургических заводов. С того времени более 5 млн т материалов отходов было переработано, что внесло значительный вклад в защиту окружающей среды и эффективное использование ресурсов. Доказательством высокой ценности процесса является тот факт, что меньше, чем 4% материалов утилизируемых отходов необходимо депонировать на полигоне.

Взаимодействия между средами

На стадии агломерации происходят выбросы PCDD/F в отходящих газах. В связи с этим они проходят несколько стадий очистки.

Цинк, щелочи и свинец негативно воздействуют на работу доменной печи, и, поэтому, им следует уделять особое внимание. Они обуславливают повышенное потребление кокса, образование настыли и повышают износ огнеупоров.

Эксплуатационные данные

К ним относятся:

- переработка отходов: 500000 т/год;
- производство чушкового чугуна: 300000 т/год;
- производство доменного шлака: 120000 т/год;
- производство концентрата цинка: 20000 т/год.

Применимость

Процесс ДК можно использовать для переработки пыли и шламов от кислородных компрессоров и доменных печей. Кроме того, можно утилизировать прокатную окалину и другие железосодержащие отходы. Содержание цинка может достигать до 10% (в среднем 2-3%).

Экономика

Использование чушкового чугуна в литейной промышленности, а также цинкового концентрата в цинковой промышленности гарантирует высокую добавленную стоимость и долговременное использование создаваемой продукции. Полигонное депонирование заменяется рециклингом в процессе ДК.

Мотивация для внедрения

Предотвращение депонирования и содействие рециклингу отходов железа и цинка являются движущими силами для внедрения.

Пример установки

DK Recycling und Roheisen GmbH, Дуйсбург, Германия.

Справочная литература: [8], [12], [17]

Процесс восстановительной плавки

Пирометаллургическая восстановительная плавка металлов из оксидных осадков требует восстановления соответствующих оксидов (обычно с использованием углерода в качестве восстановителя) с последующей плавкой для отделения металла от других шлакообразующих компонентов.

Имеется два разных процесса (технология Primus® и процесс Redsmelt®), которые описаны ниже.

Технология Primus® использует двухстадийный процесс, который состоит из комбинации многоподовой печи (МНП) (установка для предварительного восстановления Primus®), предназначенной для сушки, нагрева и начального восстановления с последующей передачей в электродуговую печь (ЕАФ) (плавильный блок Primus®). Это позволяет провести полное восстановление железа и получить жидкий металл, с образованием шлака и заключительным удалением цинка. Такая технология дает возможность перерабатывать все обычные отходы от плавки чугуна и стали, которые обычно нельзя подвергать рециклингу в существующих установках, такие как пыль от электродуговой печи (ЕАФ), шламы от доменной печи, сталеплавильные шламы и маслянистые шламы с прокатной окалиной.

В многоподовой печи (МНП) смесь отходов (предварительно гранулированных, если они очень мелкозернистые) и угля загружается сверху. Вращающиеся штанги перемешивают и транспортируют загрузку, которая падает на под, где она сушится, подогревается и подвергается предварительному восстановлению при подаче встречного потока газа.

В последующий плавильный блок (специально спроектированная ЕАФ) поступает по желобу горячая шихта в межэлектродное пространство. В электрическом плавильном агрегате происходит полное восстановление, плавятся чугун и шлак, и достигается полное удаление цинка. Цинк и свинец переходят

в отходящие газы и утилизируются как легкорезализуемый концентрат оксида цинка. Железо, содержащееся в шихте, восстанавливается до жидкого чугуна или разливается в форму. Получающийся шлак, сходный с доменным шлаком, можно использовать для дорожного строительства.

В процессе Redsmelt®) остатки гранулируются вместе с углеродным восстановителем (антрацит или уголь с низким содержанием летучих веществ, подвергается предварительному восстановлению в карусельной печи (RHF), а затем горячая шихта направляется в электродуговую печь для плавления.

Гранулы однородно распределяются на вращающемся поду в тонком слое и перерабатываются в течение одного оборота печи, при использовании газовой горелки для подачи энергии.

Достижимые экологические выгоды

С помощью процесса достигается полное восстановление железа, цинка и свинца с получением шлака, который можно использовать для дорожного строительства, что позволяет избежать полигонного депонирования этих остатков.

Не передавались данные о взаимодействиях между средами.

Эксплуатационные данные

Два типа печей для предварительного восстановления (MHF и RHF) обладают различными возможностями.

MHF могут принимать влажные и маслянистые материалы, а также материалы с высоким содержанием цинка. Они предусматривают более простую подготовку материалов и потребляют меньше топлива. В течение продвижения через эту печь происходит интенсивное перемешивание поступающего материала, что содействует его быстрому нагреву, и, следовательно, обеспечивается максимальная производительность процесса. Оксиды металла подвергаются предварительному восстановлению с помощью CO и H₂. Энергия, необходимая для процесса предварительного восстановления, поступает при сжигании угля с высоким содержанием летучих соединений, и в течение предварительного восстановления происходит дожигание CO. В табл. 2.13 приведены некоторые эксплуатационные данные для установки Primus® в г. Дифферданж, Люксембург.

ТАБЛИЦА 2.13. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТАНОВКИ PRIMUS® В ДИФФЕРДАНЖЕ (ЛЮКСЕМБУРГ) С НОМИНАЛЬНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 10 Т/Ч [140].

Параметр	Многоподовая печь (установка для предварительного восстановления)	Электродуговая печь (установка для плавления)
Внутренний диаметр, м: пода	7,7	
печи		3,5
Количество подов	8	
Рабочая температура, оС	800-1000	1500
Потребление угля, кг/т	300	
Потребляемая мощность, МВтэл		10
Потребление электроэнергии, кВт-ч/т		800-900

Установка Primus® компании Primorec S.A. (филиал компании Paul Wurth S.A.) в Дифферданже, Люксембург, состоит из многоподовой печи МНФ и плазменной электродуговой печи, оснащенной полной системой очистки отходящих газов с утилизацией цинка. Отходящие газы от МНФ и ЕАФ смешиваются и подвергаются обеспыливанию с помощью рукавного фильтра. Летучие металлы экстрагируются в течение плавки и подвергаются предварительному восстановлению и очистке в рукавном фильтре. После впрыска извести и активированного угля происходит вторая стадия очистки перед тем, как выбросы попадают в дымовую трубу. В табл. 2.14 приведены достигаемые концентрации очищенного газа для основного потока отходящих газов.

ТАБЛИЦА 2.14 ДОСТИГАЕМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЧИЩЕННОГО ГАЗА ДЛЯ ПРОЦЕССА PRIMUS® (МНФ И ЕАФ) [139].

Параметр	Единица ⁽¹⁾	Концентрация в выбросах ⁽²⁾
Расход отходящих газов	м³/ч	113000
HCl	мг/м³	1,30
HF	мг/м³	0,09
CO	мг/м³	295
NOx как NO2	мг/м³	85
SO ₂	мг/м³	10
Общий органический углерод (TOC)	мг/м³	6
Пыль	мг/м³	0,3
As	мг/м³	<0,0027
Pb	мг/м³	<0,0064
Cd	мг/м³	<0,0008
Cr	мг/м³	<0,0047
Co	мг/м³	<0,0017
Cu	мг/м³	<0,0108
Mn	мг/м³	<0,0035
Ni	мг/м³	<0,0019
Hg	мг/м³	0,0621
V	мг/м³	<0,0021
Zn	мг/м³	<0,0567
Сумма тяжелых металлов	мг/м³	0,1534
PCDD/F (I-TEQ)	нг/м³	0,0001
ПАХ (EPA)	мкг/м³	0,829
Сумма PCB (3)	мкг/м³	0,07

(1) Относится к объему отходящих газов при нормальных условиях (273 Кб, 1013 мбар).

(2) Среднее значение из трех получасовых значений.

(3) Сумма PCB28, PCB52, 3CB101, PCB118, PCB153, PCB138, PCB180.

Примечание. Измерения проводились с ноября 2007 г.

В табл. 2.15 приведены достигнутые концентрации выбросов очищенных отходящих газов для МНФ и ЕАФ после очистки в рукавном фильтре. Очищенные отходящие газы выбрасываются из дымовой трубы вместе с очищенными основными газами.

ТАБЛИЦА 2.15. ДОСТИГАЕМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОЧИЩЕННОГО ГАЗА ДЛЯ ПРОЦЕССА PRIMUS® ИЗ ПЫЛЕШУМОЗАЩИТНОГО КОЖУХА ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ ПЕЧИ (MNR И EAF)

Параметр	Единица(1)	Концентрация в выбросах ⁽²⁾
Расход отходящих газов	м³/ч	50000
HCl	мг/м³	1,06
HF	мг/м³	0,02
CO	мг/м³	37
NOx как NO ₂	мг/м³	<4
SO ₂	мг/м³	9
Общий органический углерод (ТОС)	мг/м³	6
Пыль	мг/м³	<0,1
As	мг/м³	<0,0060
Pb	мг/м³	<0,0074
Cd	мг/м³	<0,0007
Cr	мг/м³	<0,0040
Co	мг/м³	<0,0018
Cu	мг/м³	<0,011
Mn	мг/м³	<0,24
Ni	мг/м³	<0,0028
Hg	мг/м³	0,0005
V	мг/м³	<0,0028
Zn	мг/м³	<0,044
Сумма тяжелых металлов	мг/м³	0,32
PCDD/F (I-TEQ)	нг/м³	<0,00013
ПАН (EPA)	мкг/м³	43,8
Сумма PCB (3)	мкг/м³	<0,07

(1) Относится к объему отходящих газов при нормальных условиях (273 Кб, 1013 мбар).

(2) Среднее значение из трех получасовых значений.

(3) Сумма PCB28, PCB52, 3CB101, PCB118, PCB153, PCB138, PCB180.

Примечание. Измерения проводились с ноября 2007 г.

RHF может работать при повышенной температуре (так как нет проблем с не перемешанными материалами). Кроме того, такие печи характеризуются высокой единичной производительностью за счет большого диаметра печи.

Применимость

Процесс Primus® позволяет перерабатывать все типичные отходы металлургического производства. Его можно применять операторам мини заводов и заводов с полным циклом, которые хотят снизить затраты на удаление отходов и эффективно их утилизировать.

Не приводятся данные по экономике.

Мотивация для внедрения

Предотвращение депонирования материалов отходов и содействие рециклингу остатков железа и цинка являются движущими силами для внедрения этой технологии.

Примеры установок

На установке Primus® компании Primores S.A. в Дифферданже, Люксембург, перерабатывается 60000 т пыли после EAF и 15000 т шламов прокатных станов в год.

Компания Dragon Steel Corporation, Тайвань, внедрила установки Primus® производительностью 100000 т/год с целью переработки пыли EAF, шламов доменных печей, а также прокатных станов. Установка начала эксплуатироваться в апреле 2009 г.

Несколько установок RHF эксплуатируется в Японии.

Первая европейская установка начала эксплуатироваться на металлургическом заводе Lucchini (один из филиалов российской компании “Северсталь”) в г. Пьомбино, Италия. С ее помощью перерабатывается 60000 т/год шламов металлургического завода с полным циклом. Установка вступила в эксплуатацию летом 2009 г. В этом случае стадия плавления должна выполняться в доменной печи завода Lucchini [139].

Справочная литература: [12], [15], [139], [140].

Безобжиговые окатыши/брикеты

На некоторых европейских металлургических заводах с полным циклом шихта доменных печей состоит главным образом из окатышей, поставляемых с внешних предприятий, и не используется агломерат. В таких условиях образуется рудная мелочь от операций грохочения, которая после брикетирования может быть возвращена в процесс производства чугуна. Это означает возврат этой рудной мелочи в производство чугуна вместе с другими материалами, в которых содержится железо и (или) углерод и которые можно брикетировать с использованием безобжиговых технологий.

Обычно установка для гранулирования холодным способом/брикетирования состоит из следующих элементов:

- силосы и бункеры для приема поступающих материалов и предохранительные сетки;
- предварительная сушка отфильтрованного осадка;
- смешение и дозирование связующих;
- пресс или машина для формования блоков для окомкования/брикетирования;
- просеивание мелочи;
- зона резания и хранение брикетов для внутреннего использования.

Различные отходы, принимаемые от металлургических заводов, должны храниться отдельно, для того чтобы контролировать смесь для получаемых брикетов.

В зависимости от типов брикетов, полученных холодным способом, используются различные отходы. В одном случае безобжиговые окатыши изготавливаются из материалов, в которых содержится углерод, таких как пыль из отходящих газов доменных печей и коксовая мелочь. Другие типы брикетов изготавливаются из материалов, в которых содержится главным образом железо, таких

как мелочь от брикетов, мелкий скрап, прокатная окалина и другие отходы, такие как шлам кислородных конвертеров, пыль конвертеров/доменных печей и шлаковая мелочь.

Отходы смешиваются, могут быть добавлены легирующие элементы и цемент, в качестве связующих используются гашеная известь и меласса. Гомогенизированная смесь подается в пресс для брикетирования или машину для формования блоков, а получаемые брикеты просеиваются с использованием вибрационных сит. Затем брикеты передаются в камеру для выдержки. После 24 ч выдержки завершается отвердевание брикетов. Брикеты должны храниться в течение трех недель в защищенном месте под покрытием (для достижения высокой прочности).

Производство и использование брикетов на цементной связке началось с 1975 г., а с 1993 г. такие брикеты стали важными составляющими шихты доменной печи (около 40-50 кг/т жидкого металла в Швеции в 2004 г.). Количество используемых брикетов зависит главным образом от доступности материалов по месту, но имеются случаи, когда это количество превышает 100 кг/т жидкого металла в шихте. Технология машин для формования блоков начала использоваться в 1993 г. в компании SSAB Tunnplåt, а в 1996 г. в компании SSAB Oxelund [208].

Достижимые экологические выгоды

Железосодержащие материалы подвергаются рециклингу. Таким образом снижается количество материалов, направляемых на полигон, что экономит первичное сырье и снижаются затраты на депонирование или переработку отходов. Брикеты на цементной связке не могут полностью заменить агломерат или окатыши.

Эта технология не связана с выбросами SO_x или NO_x.

Взаимодействия между средами

Возврат на участок мелочи снижает потенциальные требования к полигону: депонированию и использованию исходного сырья. Достижима концентрация пыли порядка 10-20 мг/м³ в отходящих газах после очистки.

Применимость

Безобжиговые окатыши/брикеты могут использоваться как на новых, так и на существующих установках. Эти технологии можно применять на любом металлургическом заводе с полным циклом, но в наибольшей степени они пригодны для заводов без агломерационных установок. Производство брикетов является обычной технологией, а их использование в шихте доменных печей или в кислородных конвертерах надежная и общепринятая практика.

Экономика

Утилизация ценных отходов, содержащих железо, позволяет избежать затрат, связанных с их удалением. Общие инвестиции для установки подобного типа в компании ILVA Steelworks, Rivagroup в г. Таранто, Италия для использования брикетов в кислородном конвертере с производительностью 150000 т/год составляют около 7-8 млн евро.

Мотивация для внедрения

Движущими силами для внедрения являются экологические выгоды и экономия места и затрат на депонирование, а также затрат на установку для агломерации.

Примеры установок

В настоящее время имеется три компании, на предприятиях которых используются схемы с получением безобжиговых окатышей/брикетов для возврата материалов в доменную печь или в случае ILVA Steelworks, Rivagroup в г. Таранто, Италия для кислородных конвертеров:

- SSAB Tunnpl t AB, Лулео, Швеция;
- SSAB Oxel sund AB, Швеция;
- ILVA Steelworks, Rivagroup, Таранто, Италия.

Справочная литература: [29], [208], [276], [319], [363].

2.5.5 Мониторинг на предприятиях черной металлургии**2.5.5.1 Непрерывный мониторинг параметров и выбросов в воздух**

На современных металлургических заводах большинство процессов подвергается мониторингу и контролируется с помощью систем с компьютерным управлением. Для оптимизации процессов и повышения энергоэффективности, а также достижения максимальной производительности должны быть определены и непрерывно корректироваться в режиме реального времени соответствующие параметры.

Дополнительный непрерывный мониторинг выбросов из важных источников позволяет точно определять количество выбросов, а в случае плохих показателей систем очистки принимать немедленные действия.

Основными параметрами, которые должны измеряться непрерывно для важных источников выбросов процессов металлургического производства, являются:

- давление;
- температура;
- содержание O₂;
- содержание CO;
- расход материалов на входе;
- расход материалов на выходе.

Дополнительную информацию с описанием систем непрерывного мониторинга можно найти в Сравнительном документе по общим принципам мониторинга (MON) [42].

Достижимые экологические выгоды

В случае плохих показателей систем контроля выбросов необходимо немедленно действовать. Непрерывные измерения дают возможность получать точную количественную информацию о выбросах из важных источников.

Взаимодействия между средами

Непрерывные измерения позволяют оптимизировать производственные процессы, минимизировать потребность в энергии и довести до максимума производительность.

Не передавались эксплуатационные данные, данные о экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

Для нормируемых источников выбросов на металлургических предприятиях основные загрязняющие вещества обычно подвергаются непрерывному мониторингу. Для определения нормируемых источников выбросов в Приложении IV в п. 13.4. приведен пример предельных значений расходов.

Примеры установок

Результаты непрерывного измерения выбросов в воздух для компании Voestalpine Stahl GmbH, Линц, Австрия представлены в табл. 2.16. В этом случае данные передаются в режиме реального времени местным органам [26]. Кроме того, в Германии на металлургических заводах все нормируемые параметры выбросов подвергаются непрерывному мониторингу, и обычно результаты измерений (ежедневные или получасовые средние, как требуется в разрешении) передаются в режиме он-лайн местным компетентным органам [175].

ТАБЛИЦА 2.16. РЕЗУЛЬТАТЫ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ВЫБРОСОВ В ВОЗДУХ НА ЗАВОДЕ КОМПАНИИ VOESTALPINE STAHL, ЛИНЦ, АВСТРИЯ

Установка	Потенциальный источник выбросов	Нормируемые загрязняющие вещества						Сравнительная концентрация кислорода, %
		Пыль	NO _x	SO ₂	CO	H ₂ S	YF	
Коксовая печь	H ₂ S в косовом газе					X(1)		
	Установка для получения серной кислоты			X				
Агломерационная установка (2)	Агломерационная лента	X	X	X		X		
	Обеспыливание зданий	X						
Доменные печи	Обеспыливание на литейном дворе печей	X						
	Обеспыливание на литейном дворе доменной печи	X						
Кислородные конвертеры	Обеспыливание блока	X		X(3)				
	Вторичное обеспыливание	X						
Электростанции	Блок 3		X	X	X			3
	Блок 4		X	X	X			3
	Блок 5		X	X	X			3
	Газовая и паровая турбина		X	X	X			15
	Блок 6		X	X				3

(1) Часовое среднее значение. (2) В соответствии с разрешением, должен проводиться непрерывный мониторинг ртуту. (3) В 2006 г. нынешние предельные значения выбросов подвергаются ревизии. Непрерывные измерения должны проводиться для SO₂.

Примечание. Установленные предельные значения, мг/нм³, обозначены символом X (на основе получасовых средних значений).

Данные за 2007 г. Выбросы, которые измеряются периодически, не включены в таблицу. Условия разрешений могут изменяться в течение реальной оценки воздействия на окружающую среду "Voestalpine L6".

В Соединенном Королевстве выбросы пыли с доменных печей подвергаются непрерывному мониторингу с помощью измерителей поглощения света, в агломерационных установках выбросы пыли также измеряются непрерывно. В доменных печах важен мониторинг расхода охлаждающей воды. У выбросов воздухонагревателей проводят мониторинг SO_x, NO_x, пыли и CO. Проводится мониторинг выбросов пыли с литейных дворов.

Справочная литература: [26], [242], [277].

2.5.5.2 Примеры непрерывного мониторинга выбросов после систем обеспыливания

Непрерывный мониторинг параметров и выбросов в воздухе

Система мониторинга компании SSAB Oxel sund AB, Швеция дает возможность непрерывного контроля показателей работы рукавного фильтра. Результаты измерения сообщаются ежедневно, еженедельно и ежемесячно. Работа кислородного конвертера (загрузка, продувка, выпуск) подвергается особенно тщательному контролю.

Система непрерывного измерения пыли установлена в системе отходящих газов после фильтра вторичного обеспыливания. Имеется два метода измерения в каналах после фильтра вторичного обеспыливания, а еще два – в отверстиях свода конвертеров. Принцип измерения – гравиметрический (мг/нм³). Оборудование калибруется раз в год внешней компанией. Собранные данные хранятся в собственной базе данных SSAB. Контроль работы рукавного фильтра выполняется собственными операторами SSAB. Для определения утечек используется флуоресцентный метод.

Выбросы пыли с кислородного конвертера (за исключением первичных отходящих газов) также подвергаются тщательному мониторингу. Выбросы контролируются в течение трех отдельных стадий процесса: загрузки, продувки и на стадии плавки.

Достижимые экологические выгоды

В случае неудовлетворительной работы системы вторичного обеспыливания необходимо принимать немедленные действия. Можно снизить общие выбросы. На рис. 2.17 показаны еженедельные средние значения, которые были определены с использованием вышеупомянутой системы мониторинга в течение одного года.

Не приводятся данные о взаимодействиях между средами, экономике, мотивации для внедрения.

Эксплуатационные данные

Калибровка системы в соответствии с измеренными значениями проводится раз в год. Процесс калибровки занимает два дня.

Применимость

Технология применима как для новых, так и существующих металлургических заводов.

Пример установок

SSAB Oxel sund AB, Швеция

Справочная литература: [208]

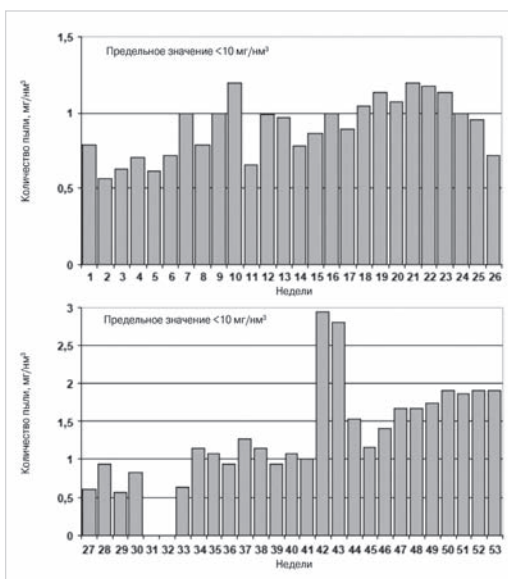


Рис. 2.17 Количества пыли от систем вторичного пылеулавливания, представленные как средние за неделю [208]

Непрерывный мониторинг выбросов после конечного рукавного фильтра на электродуговой печи [208]

Электросталеплавильный цех компании Ovako Imatra, Финляндия, оснащен системой вытяжки из здания и отдельной системой отсоса пыли из самой фильтровальной установки ЕАФ, оснащенной эффективным искроуловителем и циклонами, из которых пыль (>5 мкм, 30% от общего количества) возвращается в ЕАФ вместе с ломом. Главные вентиляторы (средняя производительность 620000 м³/ч) оснащены системой регулирования скорости вращения. Пылеуловительные камеры с рукавными фильтрами имеют большой размер (9400 м²), а рукавные фильтры оснащены обычным армированным войлоком с покрытием из полиэтилентерефталата. Рукавные фильтры очищаются с помощью пульсирующей струи.

Непрерывный мониторинг и тщательное обслуживание пылеуловительной камеры с рукавными фильтрами характеризуются следующим образом:

- проводится мониторинг выбросов пыли, без какой-либо калибровки. Важно определять любое изменение уровня выбросов (утечка в одном рукавном фильтре определяется немедленно);
- непрерывный мониторинг с помощью двух отдельных систем измерения:
 - система измерения с использованием трибометра SINTROL®;
 - оптическая система измерения SICK® [360];
- визуальный контроль всех рукавных фильтров на предмет свечных отверстий проводится каждую неделю, один рабочий в течение трех часов. Чистая

сторона фильтров всегда должна находиться в полной чистоте. Отверстия диаметром 1 мм можно определить без труда, в связи с чем отсутствует необходимость в использовании флуоресцентного метода.

Достижимые экологические выгоды

Снижение общих выбросов. В случае неудовлетворительной работы системы рукавных фильтров необходимо принимать немедленные действия.

Взаимодействия между средами

Этот способ обеспечивает создание чистой среды в пределах и за пределами металлургического завода.

Не приведены эксплуатационные данные, данные о экономике.

Применимость

Система мониторинга хорошо подходит как для новых, так и для существующих заводов, и должна применяться к крупным электросталеплавильным цехам. Определение “крупного электросталеплавильного цеха” как важного источника выбросов и примеры предельных значений расхода приведены в Приложении IV.

Мотивация для внедрения

Движущими силами для внедрения являются экологические выгоды, связанные с этой технологией.

Пример установки

Ovako Imatra, Финляндия.

Справочная литература: [208], [242].

2.5.5.3 Мониторинг технологических газов

В компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия, мониторинг технологических газов ведется в соответствии с условиями разрешения при оценке воздействия на окружающую среду. В табл. 2.17 представлены условия разрешения. Данные регулярно передаются местным органам.

ТАБЛИЦА 2.17. УСЛОВИЯ, ПРЕДУСМОТРЕННЫЕ В РАЗРЕШЕНИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ КОМПАНИИ VOESTALPINE STAHL, ЛИНЦ, АВСТРИЯ

Компоненты	Доменный газ (1)		Коксовый газ (1)		Доменный газ (1)	
	Непрерывный(2)	Дискретный	Непрерывный(2)	Дискретный	Непрерывный(2)	Дискретный
H ₂	x		x		x	
CO _x			x		x	
CO ₂	x		x		x	
Углеводороды			x(3)			
N (химически связанный)			x(3)			
Cl (общий)	x(3)					
S (общая)	x(3)		x(3)		x(3)	
Hg		x(4)		x(4)		
Pb		x(4)		x(4)		x(4)
Cr		x(4)		x(4)		x(4)

Компоненты	Доменный газ (1)		Коксовый газ (1)		Доменный газ (1)	
	Непрерывный(2)	Дискретный	Непрерывный(2)	Дискретный	Непрерывный(2)	Дискретный
Cd		x(4)		x(4)		x(4)
Ni		x(4)				
F (общий)		x(4)				
Пыль (общая)		x ⁽¹⁾ (5)		x ⁽⁴⁾		x ⁽⁴⁾

(1) Предельные значения не установлены (статус 06/2007). (2) Непрерывные измерения должны проводиться при условии, что на рынке имеется одобренное средство контроля (статус 06/2007) [26]. (3) На 06/2007 не было инструментальных средств контроля для непрерывного измерения общего хлора и химически связанного азота. Что касается углеводородов, CH₄ и высших углеводородов, то они измеряются дискретно. Методы непрерывного измерения общей серы все еще оцениваются, а фтор измеряется дискретно, интервалы устанавливаются в зависимости от параметра, обычно ежемесячно [26]. (4) Содержание тяжелых металлов (Hg, Pb, Cr, Cd, Ni) и фторидов должно измеряться дискретно, обычно четыре раза в год (статус 06/2007). (5) В случае вдувания пластика, которое проводится в доменной печи, измерения пыли должны проводиться непрерывно.

Достигаемые экологические выгоды

Мониторинг технологических газов дает информацию о составе технологических газов и о косвенных выбросах от сжигания этих газов, таких как выбросы пыли, тяжелых металлов и SO₂.

Не приведены данные о взаимодействиях между средами, экономике, мотивации для внедрения.

Эксплуатационные данные

Качество (теплотворная способность, степень чистоты) и объем различных технологических газов изменяются значительно, и эти факторы определяют области применения топлива. Для оптимизации энергоэффективности каждый тип технологического газа должен потребляться на самой подходящей установке. По этой причине газы должны непрерывно анализироваться.

Применимость

Считается, что применимость является всеобщей.

Пример установок

Voestalpine Stahl GmbH, Линц, Австрия. Справочная литература: [277].

2.5.5.4 Периодический мониторинг выбросов после систем обеспыливания

Регулярные, периодические дискретные измерения в важных направленных источниках выбросов проводятся для следующих загрязняющих веществ:

- пыль; • SO₂; • NO_x; • CO; • тяжелые металлы, такие как Hg, Tl, Cd, As, Co, Ni, Se, Te, Pb, Cr, Cu, Mn, V, Sn; • TOC (общий органический углерод); • VOC (летучие органические соединения); • NMVOC (летучие не метановые органические соединения); • BTX (бензол, толуол, ксенол); • H₂S; • HCl; • HF; • CN; • NH₃; • PCDD/F; • PAH (например, EPA 16¹, Borneff 6²); • PCB (например, Ballschmitter PCB³, WHO-TEF (показатели эквивалентной токсичности BO₃), общие PCB).

¹ 16 полициклических ароматических соединений, для которых имеется методика измерения, разработанная Агентством по охране окружающей среды США (EPA).

² 6 полициклических ароматических соединений, которые Международное агентство по исследованиям рака (IARC) рассматривает как вероятные или возможные канцерогены для человека.

³ Идентификационные данные для классификации конгенов полихлордифенилов

Однако возможно также измерять и проводить мониторинг ТОС, NH₃, HCl и HF в непрерывном режиме и отбирать пробы PCDD/F и PCB непрерывно для анализа в течение от 1 до 30 дней.

Получающиеся значения выбросов следует рассматривать как средние за продолжительность отбора проб, которая обычно составляет, по крайней мере, полчаса. Для PCDD/F продолжительность отбора проб обычно составляет от 6 до 8 ч. В табл. 2.18 приведены некоторые примеры важных методов измерения для периодического мониторинга выбросов.

Не передавались данные о достигаемых экологических выгодах, взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, экономике, мотивации для внедрения.

ТАБЛИЦА 2.18. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛЯ ПЕРИОДИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЫБРОСОВ [200], [277]

Компоненты отходящих газов	Метод измерения
Пыль	EN 13284-1 (европейские нормы) (<50 мг/м ³) или ISO 9096 (>20 мг/м ³) VDI 2066 часть 1 ¹ для низких и высоких концентраций Ö-NORM M 5861 ² NF X 44-052 ³
SO ₂	EN 14791, идентичные VDI 2462 часть 3 VDI 2462 часть 1
NO _x как NO ₂	EN 14972 VDI 2456, ручной метод
CO	EN 15058 VDI 2459, ручной метод
Металлы (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V, Zn)	EN 14385, идентичные VDI 3868 часть 1
ТОС	EN 12619 для низких концентраций, EN 13526 для высоких концентраций VDI 3481 часть 1, ручной метод
Hg	EN 13211
H ₂ S	VDI 3486, US EPA Метод L1
HCl	EN 1911
HF	VDI 2470 часть 1 ISO 15713
NH ₃	VDI 3496 на основе EN 14791
PCDD/F и PCB	EN 1948 VDI 3499, дополнительно для низких концентраций
PAH	VDI 3873 часть 1 ISO 11338

Применимость

Дискретные измерения и соответствующие методы измерения считаются как применимые.

Пример установок

Применяется для многих предприятий, например на Voestalpine Stahl GmbH, Австрия и на металлургических заводах Германии.

В Соединенном Королевстве на агломерационных фабриках мониторинг NO_x и SO_x осуществляется ежеквартально. Мониторинг диоксинов проводится 2-4 раза в год.

Справочная литература: [242], [277].

2.5.5.5 Мониторинг PCDD/F [209]

Для определения нагрузки по диоксинам или диоксиноподобным РСВ в отходящих газах существуют различные методы. Условия отбора проб и используемый метод анализа зависят от существующего процесса и параметров отходящих газов. Важными параметрами являются:

- диапазон концентраций диоксинов;
- концентрация пыли в отходящих газах;
- температурный диапазон;
- количество углеродных частиц в отходящих газах;
- изменяющиеся условия процесса, например непрерывный или периодический процесс, неустойчивая работа;
- возможность эффектов памяти¹.

Для ручного отбора проб имеется руководство Европейского стандарта EN 1948. В нем описано определение массовой концентрации диоксинов и диоксиноподобных РСВ от выбросов из стационарных источников. Это руководство было разработано и подтверждено проверками на мусоросжигательных заводах на предмет соответствия с предельным значением выбросов в 0,1 нг I-TEQ/нм³. Во многих европейских странах EN 1948 является основой для руководств национального стандарта при определении выбросов диоксинов (например, CSN EN 1948 – стандарт Чешской Республики; DIN EN 1948 и VDI 3499 и т.д.) VDI 3399 части 1-3 – руководство для стандарта Германии для определения выбросов диоксинов от стационарных источников. В руководстве описаны две процедуры измерения:

- Часть А – метод измерения по DIN EN 1948 для выбросов PCDD/F при уровнях около 0,1 нг I-TEQ/нм³;
- Часть В метод измерения для концентраций PCDD/F выше 0,1 нг I-TEQ/нм³. Подтверждается только определение PCDD/F в отходящих газах. Определение других органических загрязняющих веществ (например, РСВ) также возможно.

Помимо EN 1948, имеются другие стандартизованные методы отбора проб, которые используются в ЕС. Например, руководство ЕРА 23, которое относится к методам ручного отбора проб, подтвержденным в США, разработанным для определения выбросов диоксинов от стационарных источников мусоросжигательных заводов.

Достижимые экологические выгоды

Проведение мониторинга позволяет установить уровень выбросов, определить действия для идентификации причин и обеспечить снижение уровня выбросов.

Не приводились данные о взаимодействиях между средами.

Эксплуатационные данные

Для PCDD/F продолжительность отбора проб обычно составляет от 6 до 8 ч.

¹ Повышенные концентрации диоксинов, измеренные при пуске топливосжигающего агрегата, которые могут в сотни раз превышать концентрации в стационарном режиме.

Применимость

На практике используются ручной (периодический) стандартизованный и подтвержденный методы измерения (например, EN 1948). Эти методы измерения, разработанные для мусоросжигательных заводов, можно использовать для металлургической промышленности, и это уже происходит. Применяются регулярные, периодические измерения для важных источников выбросов.

Экономика

В табл. 2.19 приведены затраты для отбора проб и анализа PCDD/F и диоксиноподобных PCB.

ТАБЛИЦА 2.19 ОБЩИЕ ЗАТРАТЫ НА ИЗМЕРЕНИЕ PCDD/F В СООТВЕТСТВИИ С EN 1948

Метод	Диапазон затрат, евро
Ручной отбор проб в соответствии с EN 1948 – одна проба (один день), исключительно анализ PCDD/F без затрат на транспортирование пробы	1800-3500
Ручной отбор проб в соответствии с EN 1948 – три пробы (три дня), исключительно анализ PCDD/F без затрат на транспортирование пробы	4000-6500
Анализ PCDD/F (EN 1948) (один анализ)	450-800
Диоксиноподобные PCB – WHO PCB (EN 1948) (один анализ)	110-600

Мотивация для внедрения

Движущими силами для внедрения являются снижение неопределенности в отношении нынешних данных по выбросам диоксинов в черной металлургии и обеспечение надлежащей информированности о таких выбросах компетентных органов на национальном, региональном и местном уровнях.

Пример установок

В табл. 2.20 представлены требования для мониторинга диоксинов в различных государствах [209].

ТАБЛИЦА 2.20 ЧАСТОТА МОНИТОРИНГА PCDD/F В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ ЕС [209], [242], [277]

Государство-член ЕС	Частота мониторинга
Австрия	Раз в три года для металлургических заводов, для новых аглофабрик раз в три года (раз в шесть лет в случае очень низких выбросов); на существующих аглофабриках в зависимости от конкретной ситуации
Бельгия	Три раза в год согласно законодательству, раз в месяц для аглофабрик, шесть раз в год для электродуговых печей
Франция	Раз в год, по крайней мере
Германия	Раз в год – раз в три года
Люксембург	Один – два раза в год и один – два раза дополнительные измерения
Нидерланды	Не имеется информации; критерий: в неочищенном газе > 2 г I-TEQ/год
Словения	Раз в год
Соединенное Королевство	Мониторинг диоксинов проводится два – четыре раза в год

Справочная литература: [209], [242], [277].

2.5.5.6 Мониторинг рассеянных и неорганизованных выбросов [252]

Рассеянные выбросы можно оценить согласно [56], следующим образом:

- методами непосредственного измерения, когда выбросы измеряются в самом источнике. В этом случае можно определять концентрацию и массовый расход;
- косвенными методами измерения, когда определение выбросов происходит на определенном расстоянии от источника. Непосредственное измерение массового расхода и концентрации невозможно;
- расчетом с помощью коэффициентов выбросов.

Непосредственное или квазинепрерывное измерение

Непосредственные измерения выполняются в аэродинамической трубе, с зонтами или другими методами типа квазинепрерывного измерения, т.е. на своде промышленной установки. В этом случае измеряют скорость ветра и площадь отверстия в контуре свода и рассчитывают расход газа. Поперечное сечение площади отверстия в контуре свода делится на сектора с одинаковой площадью поверхности (система профилей). Используемое оборудование для отбора проб должно быть предназначено для плавно изменяемого регулятора всасывания. С помощью выбора различных диаметров пробоотборника расход в пробе можно адаптировать к преобладающей скорости отходящих газов. Собирается пыль в газовом потоке на фильтрующую среду, и проводится определение гравитационным методом. Вместе с оценкой отходящего газа можно получить значение концентрации пыли и ее массовый расход [56]. Если используется каскадный импактор¹, можно определить фракции различного размера. При возможности, предпочтительнее непосредственные измерения.

Четыре специальных метода применяется для измерения рассеянных выбросов как параллельно рукавному фильтру, так и из помещения, где находится электродуговая печь, и это:

- каскадный импактор DEKATТ®, работающий на принципе последовательного инерционного осаждения;
- спектрометр DSI®, работающий на принципе рассеивающего и инерционного осаждения;
- лазерный дифрактометр, основанный на принципе определения размеров частиц по размерам;
- ELPI® (электрический импактор низкого давления), основанный на принципе определения фрактальной размерности.

Любой из этих методов дает распределение частиц по размерам и концентрацию пыли (PM0,1, PM1, PM2,5 и PM10), он также указывает их значение для качества воздуха. Использование любого из этих методов косвенно позволяет лучше контролировать рассеянные выбросы [252].

В работе [56] измерения проводились на сталеплавильном агрегате для производства нержавеющей стали до и после системы контроля выбросов в конвертере, которая:

¹ Пробоотборник для измерения заряда и массы частиц в газовом потоке, например, электрофильтра.

- заново спроектирована;
- оптимизирована с помощью увеличения размеров дымоотводящего камина конвертера и возрастающего объема отходящих газов;
- имела рукавный фильтр вместо скруббера Вентури.

Измерения пыли проводились в соответствии с VDI 2463 Часть 1 “Измерение в окружающем воздухе – общие принципы”. Результаты показали, что рассеянные выбросы пыли снизились на 50%. Доля частиц PM10 в общем объеме пыли составила приблизительно 70%. Соответственно снизились концентрации Cr и Ni. Пары металлов собирались намного лучше, чем прежде.

Косвенные измерения

Примеры косвенного измерения включают использование газов-свидетелей, методы обратного моделирования дисперсии (RDM) и метод массового баланса.

Методы с использованием газов-свидетелей включают:

- выброс известного количества газа, который не выбрасывается из исследуемого источника;

- измерение концентрации по направлению газового потока;
- надлежащее представление геометрии источника.

Методы обратного моделирования дисперсии (RDM) включают:

- измерения интегральной или селективной концентрации;
- проведение расчета распространения фиктивной концентрации источника;
- проведение обратного расчета;
- подтверждение RDM с помощью тестов на выбросы газа.

Как для метода с использованием газов-свидетелей, так и для метода PDM в качестве газа-свидетеля используется SF₆. Измерение концентрации может проводиться, например, с помощью дистанционного контроля состояния атмосферы вблизи поверхности земли с использованием ИК-Фурье спектроскопии (FTIR).

В работе [56] приведено два примера использования метода RDM для оценки выбросов бенз-а-пирена (BaP) с аглофабрики. В одном случае оценка основана на измерениях концентрации BaP на расстоянии 750 м. RDM основан на модели Гаусса-Лагранжа (модели рассеяния загрязняющих веществ) без рассмотрения влияния зданий и геометрии завода на моделирование дисперсии. В другом случае оценка основана на измерениях концентрации BaP на расстоянии 200 м. RDM основан на модели Эйлера с учетом влияния зданий и геометрии завода на моделирование дисперсии. В обоих случаях среднесуточное значение для уровня выбросов оценивалось в диапазоне 5-35 мг BaP/т кокса. При использовании стандартных коэффициентов выбросов интенсивность выбросов может быть рассчитана в диапазоне 10-25 мг BaP/т кокса (см. п. 5.2.2.1).

Метод массового баланса включает:

- определение контрольного участка и области измерений на наветренной и подветренной стороне цеха;
- измерение концентраций в нескольких слоях в этих областях;

- расчет и (или) измерение скоростей ветра и направления ветра в местах измерения;
- расчет местных массовых расходов с помощью умножения значений концентрации и скорости перпендикулярно плоскостям измерения;
- интеграция массовых расходов на контрольном участке и области измерений;
- расчет интенсивности выбросов с помощью расчета разницы интегрированных массовых расходов.

Устройство для определения направления и расстояния при помощи луча света (LIDAR) является технологией оптического дистанционного зондирования, с помощью которой определяются свойства рассеянного света для нахождения расстояния и (или) другой информации о дальней цели.

Короткие лазерные импульсы направляются в атмосферу, затем отраженное излучение регистрируется и оценивается. Измерения в горизонтальном и вертикальном направлениях позволяют определить как расширение облака загрязнения, так и распределение концентрации вещества в облаке. Дистанционное измерение с помощью LIDAR часто используется для измерений концентраций выбросов в различных слоях.

Интенсивность источника газообразных выбросов от распределенного источника и от небольших трехмерных источников можно определить с помощью оптического дистанционного измерения с ошибкой приблизительно 30%. Метод газа-свидетеля и обратного моделирования дисперсии показывают сопоставимые результаты. Рассеянные выбросы от крупных трехмерных источников можно количественно определить с помощью дистанционного измерения с LIDAR и метода массового баланса.

Справочная литература: [20], [25], [56], [96].

Расчет выбросов с помощью коэффициентов выбросов

Методы оценки для рассеянных выбросов от хранения, обращения и перевалки объемных материалов

В VDI Часть 1 описаны “Выбросы газов, запахов и пыли от рассеянных источников – основные принципы”. Этот стандарт основан на расчетах с использованием коэффициентов выбросов. Он включает определение характеристик источников рассеянных выбросов, образования рассеянных выбросов, определение интенсивности источника и обычных коэффициентов выбросов, технические измерения рассеянных выбросов пыли от хранения и перевалки объемных материалов [18].

VDI 3790 Часть 3Е метеорологии окружающей среды – “Выбросы газов, запахов и пыли от рассеянных источников – хранение, перевалка и транспортирование объемных материалов” [165] включает определение характеристик рассеянных источников и показателей типа интенсивности выбросов и коэффициентов выбросов. Основная часть этого руководства описывает как коэффициенты выбросов можно оценить для хранения и обращения с объемными материала-

ми и для взвешенной пыли от проезжей части вследствие движения транспорта с учетом характеристик данного участка типа механизмов для загрузки и разгрузки, скорости ветра, чувствительности к уносу от обращения с материалами и т.д. В руководстве также приведены общие коэффициенты выбросов для хранения и обращения.

Еще одним методом, используемым для металлургических заводов с полным циклом, является метод, предложенным EPA США [176]. Этот метод основан на коэффициентах выбросов и дает возможность должным образом учитывать воздействие ветра с помощью использования поверхностной скорости, представления о динамической скорости ветра. Метод был адаптирован во Франции и дал возможность надлежащего количественного определения выбросов рассеянной пыли от источников на открытом воздухе. Он особенно учитывает воздействия погоды, влажности и ветра на отвалы [175], [393], [395].

Дополнительную информацию можно найти в BREF по выбросам от хранения (EFS) [283]. Настоятельно рекомендуется, чтобы читатель ознакомился с этим документом.

Метод оценки рассеянных выбросов от коксовых печей

Источниками неорганизованных выбросов являются подъемные трубы и уплотнения загрузочных окон, дверцы печи и рамные уплотнения в процессе коксования. Используются различные методы для оценки этих неорганизованных выбросов от коксовых печей, и все эти методы имеют одно общее: опытные или сертифицированные наблюдатели визуально определяют выбросы.

Достигнутые уровни выбросов выражаются в виде частоты утечек в процентах от общего количества подъемных труб и загрузочных отверстий, что демонстрирует видимые утечки или массу в зависимости от метода мониторинга. Например, метод EPA (<http://www.epa.gov/ttn/emc/methods/method303.html>) дает возможность получить результаты методом наблюдения для выражения утечек в процентах.

Однако методология DMT (Deutsche Montan Technologie GmbH) (компания Немецкие горные технологии), которая тоже в значительной степени совпадает с методом EPA, позволяет оценить выбросы на основе измерений, назначив четыре различные степени интенсивности выбросов и с учетом продолжительности видимых выбросов в течение наблюдения. Еще один метод был разработан BCRA (Британская ассоциация исследования цементации). В отличие от метода DMT видимым выбросам присваивается пять различных степеней интенсивности. Еще один метод, который применяет компания Corus Ijmuiden в Нидерландах, описан в п. 5.3.3.

Один метод для измерения неорганизованных выбросов летучих органических соединений – это метод EPA 21. Полная методология для полного учета утечек и дополнительного управления неорганизованными выбросами описана в работе [216].

2.5.5.7 Мониторинг сброса сточных вод

Мониторинг сброса сточных вод включает отбор репрезентативных проб сточных вод и их анализ. Существует большое разнообразие стандартизованных процедур для отбора проб и анализа воды и сточных вод.

Отбор проб может проводиться:

- с помощью разовой пробы, которая относится к единичной пробе, отобранной из потока сточных вод;
- с помощью усредненной пробы, которая относится к пробе, отбираемой непрерывно в течение заданного периода, или пробы, состоящей из нескольких проб, отбираемых либо непрерывно, либо периодически в течение заданного периода, которые смешиваются;
- квалифицированная разовая проба должна относиться к усредненной пробе, по крайней мере, из пяти разовых проб, отбираемых в течение максимального периода два часа через интервалы не менее, чем две минуты, и смешиваемых.

Концентрация выбросов в сточных водах, которая сообщается в этом документе, относится либо к квалифицированным разовым пробам или к 24 часовым усредненным пробам. Поэтому соответствующие BAT-AELs (уровни выбросов, соответствующие наилучшим доступным технологиям) также относятся к разовым пробам или к 24 часовым усредненным пробам.

2.5.6 Снижение уровней шума

Многие процессы на заводах черной металлургии связаны со значительными шумовыми выбросами. Обычные строительные и эксплуатационные приемы, предназначенные для предотвращения или минимизации шумовых выбросов на территориях, окружающих завод, включают следующее:

- реализацию стратегии снижения уровня шума;
- закрытие работ/установок, связанных с образованием шума;
- защита от вибрации технологических операций/установок;
- внутренняя и внешняя футеровка, изготовленная из материалов, поглощающих удар;
- звукоизолирующие здания для защиты от любых операций, связанных с образованием шума при использовании оборудования для перемещения материалов;
- защитные стены от шума в зданиях, например, строительство зданий или создание естественных преград, таких как посадка деревьев и кустарников между охраняемой территорией и объектами, вызывающими образование шума;
- выходные шумоглушители для дымовых труб;
- дымовые трубы и воздуходувки, которые расположены в шумозащитных зданиях;
- закрытые двери и окна в площади застройки.

3. АГЛОМЕРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

3.1 Применяемые процессы и технологии

3.1.1 Цель процесса агломерации

Современные, высокопроизводительные доменные печи достигают нужных характеристик благодаря предшествующей физической и металлургической подготовке шихты, повышающей проницаемость и способность к восстановлению. Эта подготовка связана с процессом агломерации шихты, т.е. ее спеканием, либо гранулированием (см. гл. 4). Шихта состоит из смеси пылевидной руды, добавок (например, известь, оливин) и подвергнутых рециклингу железосодержащих материалов из последующих операций (включая, но, не ограничиваясь крупной пылью и шламами от очистки доменного газа, прокатной окалиной), к которым добавляется коксовая мелочь, чтобы появилась возможность розжига всей шихты. В Европе используется исключительно агломерация с просасыванием воздуха на непрерывных подвижных колошниковых решетках (рис. 3.1 и 3.2).



Рис. 3.1 Агломерационная лента с системой загрузки (барабаны или желоба) и горном зажигания [200]

3.1.2 Усреднение и смешение сырья

Перед операцией агломерации требуется смешение сырьевых материалов. Оно обычно связано с послойной укладкой материалов на подготовленной площади в точном соотношении компонентов, которое требуется для процесса агломерации. На этой стадии может быть также добавлен некоторый флюсующий материал, который может быть получен с помощью рециклинга из последующих операций, упомянутых выше. Слой руды обычно покрывается слоем крупнозернистого материала для предотвращения сдувания ветром. В начале операции агломерации смесь руды перемещается из слоев в рудные бункеры в начале агломерационной установки.

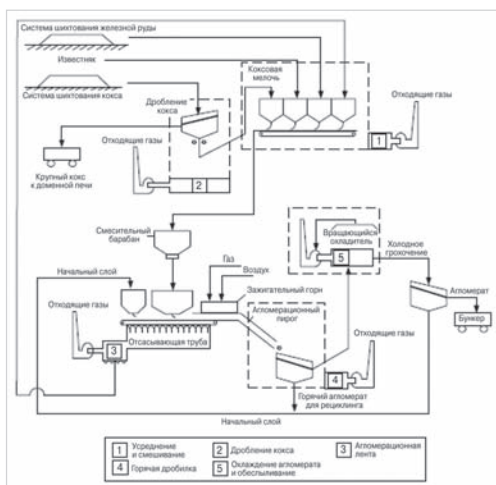


Рис. 3.2 Принципиальная схема агломерационной установки:

1 – 5 – основные точки выбросов [137]

Как упоминалось выше, другие добавки, такие как известь, оливин, собранные пыль и прокатная окалина, пыль (и в значительно меньшей степени шламы) от очистки в доменных печах и рециклированный агломерат (частицы с размером <5 мм) от просеивания (см. рис. 3.2) могут быть добавлены к смеси руды на стадии смешения. Добавки, флюсы и остатки, иные, чем те, которые перечислены, также могут попасть в смесь для спекания.

Коксовая мелочь (кокс с частицами размером <5 мм) чаще всего используется в качестве топлива для процесса агломерации. Она обычно получается непосредственно из коксовой печи или при дроблении кокса, поставляемого из других мест. Металлургический завод с недостаточными мощностями по коксу покупает недостающее топливо у внешних поставщиков. В этой ситуации антрацит может стать экономической альтернативой коксовой мелочи и успешно использоваться при условии низкого содержания летучих веществ, для того чтобы предотвратить рост выбросов углеводородов. В табл. 3.1 приведены некоторые характеристики коксовой мелочи, используемой на некоторых агломерационных установках.

ТАБЛИЦА 3.1 ХАРАКТЕРИСТИКИ КОКСОВОЙ ПЫЛИ, ИСПОЛЗУЕМОЙ НА АГЛОФАБРИКАХ

Параметр		% по массе
Частицы размером $<0,25$ мм		0,1 – 7,2
Нелетучий углерод		81,3 – 86,6
Летучее вещество		0,8 – 2,4
Элементный анализ	C	82,0 – 88,1
	H	0,55 – 1,03
	S	0,42 – 1
	N	1,06 – 1,23
	Cl	0,0050 – 0,0235
	As	10 – 15

Параметр		% по массе
Состав золы	SiO2	44,3 – 55,5
	Al2O3	22,1 – 27,7
	Fe2O3	4,0 – 17,4
	CaO	1,28 – 17,4
	TiO2	28 – 3,27
	P2O5	0,87 – 1,51
	K	0,56 – 1,12
	Na	1,27 – 0,52
	S	0,05 – 0,09
Cu	0,008 – 0,020	

Рудная смесь и коксовая мелочь взвешиваются на конвейерных лентах и загружаются в смесительный барабан. Здесь они полностью смешиваются, а смесь увлажняется для облегчения образования микро гранул, которые повышают проницаемость слоя агломерата (см. рис. 3.2).

В случае использования бункера для усреднения и смешения шихты, уменьшаются выбросы при удалении пыли и последующей очистке уловленного газа.

Применяются также другие конструкции; установка, представленная на рис. 3.2, оснащена дробилкой кокса и бункером для усреднения; дымовые трубы на рисунке указывают источники выбросов; в реальности должно быть меньше дымовых труб, так как в каждой трубе можно объединять несколько потоков отходящих газов.

3.1.3 Работа агломерационной ленты [7], [29], [93], [145]

Агломерационная установка по существу состоит из крупных подвижных колосниковых решеток из высокопрочного литейного чугуна (см. рис. 3.1). Материал, который должен спекаться, размещается сверху слоя толщиной 30 – 50 мм из рециклируемого агломерата. Этот нижний слой предотвращает провалы смеси через щели в решетке и защищает решетку от прямого тепла горячей смеси.

На современных агломерационных установках толщина слоя материалов, которые должны спекаться, составляет приблизительно 400 – 600 мм, а для старых установок она обычно меньше. В начале решетки система газовых горелок поджигает коксовую мелочь в смеси. В процессе с обратной тягой мощный вентилятор гонит технологический воздух по всей длине спекаемого слоя в распределительные камеры, расположенные под решеткой, которые называются дутьевыми камерами. Поток отходящих газов от агломерационной установки варьируется от 333000 до 160000 м³/т сортированного агломерата, в зависимости от производительности установки и рабочих условий. Большинство агломерационных установок с большой областью спекания (более 250 м² и (или) с шириной решетки более 3 м) имеет два газосборника отходящих газов с отдельными вентиляторами и устройствами обеспыливания, которые могут использоваться для современных способов снижения выбросов.

По мере прохождения спекаемой смеси по длинной решетке фронт горения перемещается вниз через смесь. Это способствует получению достаточного количества тепла (1300 – 1480°C) для спекания мелких частиц вместе с пористым клинкером.

В течение процесса спекания происходит ряд химических и физико-химических реакций. Они приводят как к образованию собственно агломерата, так и пыли и газообразных выбросов. Реакции между расплавом, твердыми и газообразными фазами, которые имеются в зоне спекания, взаимно накладываются. Имеют место следующие процессы и реакции:

- испарение влаги;
- предварительный нагрев и обжиг основных соединений, розжиг коксовой мелочи и реакции между углеродом, пиритом, соединениями хлора и фтора и кислородом воздуха;
- разложение гидратов и карбонатов;
- реакция между оксидом кальция и гематитом;
- реакция между силикатной фазой и оксидом кальция и фазами оксида железа с образованием расплавленного силиката и возрастание доли расплавленных фаз;
- образование соединений кальция с серой и соединений, в которых содержатся фториды вместе с хлоридами щелочных металлов и хлоридами металлов;
- восстановление оксидов железа до металлического железа в высокотемпературной зоне;
- эффекты образования полостей и каналов при сжигании кокса и испарении влаги;
- вторичное окисление и процессы рекристаллизации с эффектами усадки, сцепления и затвердевания в течение охлаждения агломерата;
- образование трещин вследствие термической деформации при охлаждении агломерата и образование дефектов в микроструктуре агломерата.

На рис. 3.3 показаны температура и зоны реакции в слое агломерата через 6 мин после розжига.

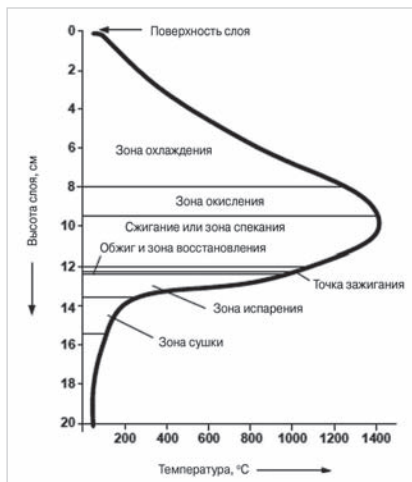


Рис. 3.3 Схема распределения температур и реакционных зон в процессе спекания через 6 мин после розжига [14]

Отходящие газы из агломерационной ленты содержат частицы тяжелых металлов, главным образом в виде соединений железа, но также и другие, в особенности соединения свинца, хлориды щелочных металлов, оксиды серы, азота, хлорид и фторид водорода, углеводороды, монооксид углерода. Кроме того довольно значительные количества следовых веществ РАН и ароматических галогенорганических соединений типа PCDD/F и PCB. Характер различных выбросов (H_2O , O_2) показан на рис. 3.5, а выбросы загрязняющих веществ (CO_2 , CO , SO_2 , NO_x и PCDD/F) – на рис. 3.5 и 3.7. Газообразные выбросы от агломерационной установки дают значительный вклад в общие выбросы от металлургических заводов с полным циклом. Подробная информация о путях образования, количествах выбросов и характере выбросов отдельных загрязняющих веществ от агломерационной ленты приведена в п. 3.2.

Коксовая мелочь полностью сгорает перед достижением конца решетки, а последние один или два воздушных короба используются для начала проведения процесса охлаждения. Охладитель может быть встроен в агломерационную ленту, но обычно используют отдельный охладитель (например, ротационный охладитель). В конце ленты агломерат падает на зубчатую дробилку, где он разбивается. На многих установках агломерат затем подвергается процессу грохочения, при котором отделяются частицы с размером менее 5 мм и подвергаются рециклингу, попадая в исходную смесь (см. рис. 3.2).

3.1.4 Грохочение горячего и охлажденного агломерата [29]

В большинстве случаев (т.е., когда охлаждение не встроено в агломерационную ленту) после сброса агломерата, дробления и грохочения спеченный материал поступает в охладитель. Охладитель обычно имеет ротационную конструкцию с диаметром порядка 20-30 м, в котором агломерат помещается слоем толщиной более 1 м. Агломерат охлаждается воздухом, который принудительно подается через слой вверх или вниз. Расход газа для охлаждения агломерата высокий, и он зависит от вида и срока службы используемой системы. Обычно удельный расход составляет от 1000 до 15000 nm^3/t агломерата. Физическое тепло отходящих газов при охлаждении агломерата (температура которых может достигать до 300 $^{\circ}C$) может использоваться в котле-утилизаторе с помощью рециркуляции горячих газов для подогрева воздуха для сжигания в горне зажигания, или для подогрева шихты, либо для процесса спекания. Известны также и другие конструкции охлаждителя.

Охлажденный агломерат подается в грохоты, в которых отделяются фракции, используемые в доменной печи (4-50 мм) от фракций, возвращаемых в процесс спекания (0 – 5 мм как “возврат” и 10 – 20 мм как “слой постели”).

3.2 Уровни выбросов и потребления

3.2.1 Обзор основных потоков и данных потребления и производства [30], [300]

Определены удельные производственные факторы и удельные коэффициенты выброса для агломерационных установок. В табл. 3.2 приведены эти данные для значительного количества агломерационных установок в Европе, на долю которых приходилось производство 91,13 млн т агломерата в 2004 г.

ТАБЛИЦА 3.2 УДЕЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОСТУПАЮЩЕГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА В ЕС-25 В 2004 Г. [177], [209]

Производство сортированного агломерата	Единицы	Среднее поступление		
Сырьевые материалы:	кг/т агломерата			
железная руда		813,1		
внутренний возврат (1)		250,7		
известняк/доломит (3)		131,1		
возврат с доменной печи (2)		63,0		
возвращаемые материалы (3)		51,8		
прочее (4)		31,4		
добавки		26,4		
пыль доменного газа (5)		12,7		
известняк		102		
итого сырьевых материалов		1390,4		
Энергия	Единицы	Максимум	Минимум	Среднее
Топливо:	МДж/т агломерата			
твердое (6)		1834	1254	1276,6
коксовый/доменный/природный газ		185	35	67,0
Электроэнергия:				
для вентиляторов		91	30	39,4
итого		155	92	- (7)

(1) Отсеянный агломерат в процессе спекания

(2) Отсеянный агломерат после грохота перед загрузкой в доменную печь

(3) Материалы от различных видов деятельности завода, включая восстановленные флюсы

(4) Включены гранулы и прямая загрузка кусковой руды, отсев после других линий и т.д.

(5) Крупнозернистая пыль от очистки доменного газа

(6) Например, коксовая мелочь, антрацит, за исключением вклада энергии от доменного газа

(7) Возможное среднее поступление электроэнергии – нет данных

Примечание. Общий тоннаж, на котором основаны данные, равен 91,13 млн т, что эквивалентно 79-82% всего производства агломерата в странах ЕС-25 в 2004 г.

На рис. 3.4 приведена схема входящих и выходящих основных потоков для агломерационной установки. Эту схему можно использовать для сбора данных от агломерационных установок.

В табл. 3.3 приведены исходные данные для пяти аглофабрик в Европе, на которые приходилось производство 52,6 млн т агломерата в 1999 г.

В табл. 3.4 показаны выбросы от агломерационной ленты в основной дымовой трубе (точка выбросов 3 на рис. 3.2). Эти данные выражены как удельные среднегодовые (например, г/т агломерата).

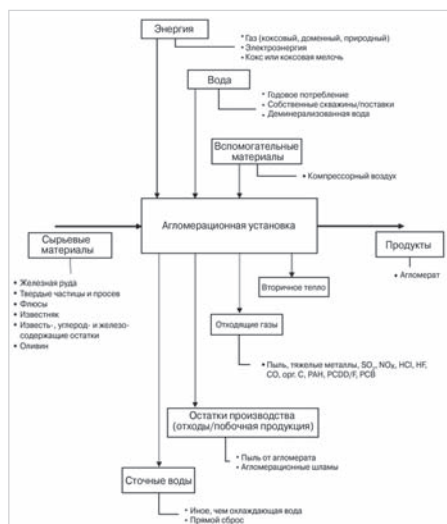


Рис. 3.4 Общее представление о потоке сырья для агломерационной установки [200]

ТАБЛИЦА 3.3 УДЕЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ РЕСУРСОВ ЗА 1999 Г. С ПЯТИ АГЛОФАБРИК В ЧЕТЫРЕХ СТРАНАХ ЕС (АВСТРИЯ, БЕЛЬГИЯ, ГЕРМАНИЯ И НИДЕРЛАНДЫ) [200]

Производство агломерата	Единицы	Максимум	Минимум
Поступающие материалы			
Вода	м³/т агломерата	0,35	0,01
Компрессорный воздух	нм³/т агломерата	3	1,2

99

ТАБЛИЦА 3.4 УСРЕДНЕННЫЕ МАКСИМАЛЬНЫЕ И МИНИМАЛЬНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫБРОСОВ В ОТХОДЯЩИХ ГАЗАХ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ЛЕНТЫ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АГЛОМЕРАТА В ЕС-25 ЗА 2004 Г. [209], [244], [262], [299], [300], [372]

Параметр	Единицы	Максимум	Минимум	Количество значений	Производство агломерата, тыс. т
Выбросы в воздух					
Расход газа (1)	нм³/т агломерата	2500	1500		
Пыль (2)	г/т агломерата	559,4	40,7	21	94321
PM10 (2)		177,13	66,30(3)	13	60385
As	мг/т агломерата	15,0	0,6	15	66358
Cd		276,7	0,2	18	77731
Cr		125,1	3,6	16	69140
Cu		600,5	1,9	16	69140
Hg		207,0	0,1	17	72693
Mn		539,4	3,4	13	56612
Ni		175,6	1,3	17	65492
Pb		5661,2	26,1	16	69140
Se		120,5	21,8	8	40598
Tl		86,6	0,5	12	56612
V		158,50	6	12	47156
Zn		1931,2	1	17	75197

Параметр	Единицы	Максимум	Минимум	Количество значений	Производство агломерата, тыс. т
HCl	г/т агломерата	47,6	1,4	18	63579
HF		8,2	0,4	17	59129
NOx (4)		1031,2	302,1	21	94321
SO2		973,3	219,9	21	94321
CO		3700,8	783	19	81284
CO2 (5)		368000	161533,15	18	74249
Метан		412,5	35,5	12	48835
NM VOC		260,9	1,5	15	56901
Общие ПАУ (6)	мг/т агломерата	591,7	0,2	10	40441
BaP	г/т агломерата	41,5	0,1	11	41243
PCDD/F (7)	мкг I-TEQ/ т аглом.	16,0	15,18		74249
PCB (8)	нг TEQ/т агломерата	178,0	24,5	5	13008
PCB (9)	мг/т агломерата	13	1	2	
Отходы/побочные продукты производства					
Пыль	г/т агломерата	3641,29	171,05	5	23021
Шлам	г/т агломерата	4492,18	472,73	3	11341
Сточные воды	м³/т агломерата	0,06	0,03	2	7028

(1) Средний удельный расход газа 2100 нм³/т агломерата

(2) Значения соответствуют выбросам из основной дымовой трубы (точка выбросов № 3 на рис. 3.2). Другие выбросы пыли из агломерационной установки представлены в табл. 3.5

(3) То, что минимальное значение PM10 выше, чем минимальное значение для пыли, представляется аномальным. Это связано с тем фактом, что некоторые установки дают неполный набор данных (и поэтому установка с минимальным значением PM не представляют данных для PM10

(4) Оксиды азота выражаются как NO2

(5) Когда используются руды в виде карбонатов железа, концентрация CO2 в отходящих газах возрастает таким образом, что применение EOS¹ может заметно препятствовать процессу спекания. Выбросы CO2 на установках, на которых не используются карбонатные руды, в среднем составляют от 161 до 368 кг/т агломерата, в то время как на установках, использующих карбонатные руды, среднее значение может быть в 2 раза выше

(6) Общие ПАУ (Borneff 6) (см. сноску 28)

(7) PCDD/F выражаются как I-TEQ

(8) PCB выражаются как WHO (DJP) (12) TEQ (PCB 105, 114, 118, 123, 156, 157, 167, 189, 77, 81, 126, 169). Больше информации можно найти в Приложении III, в п. 13.3

(9) Сумма всех PCB, рассчитанная из (Σ PCB 28+52+101+153+138+180) + 5 (коэффициент 5 в соответствии с [155] и для 2100 м³ отходящих газов/т агломерата.

Примечание. Все данные представлены как удельные среднегодовые значения (например, г/т агломерата).

Табл. 3.5 дополняет содержание табл. 3.4 диапазоном выбросов твердых частиц в атмосферу при режимах работы, при которых могут образовываться вторичные выбросы, которые могут вносить вклад в рассеянные выбросы, если не происходит эффективного улавливания и обеспыливания с помощью “системы вторичного обеспыливания”. Исключаются не уловленные рассеянные выбросы.

Системы вторичного обеспыливания обычно состоят из эффективного бло-

¹ Процесс спекания с оптимизацией выбросов, разработанный в 1990-е годы финской компанией Outokumpu Technology, позволяющий снизить объем отходящих газов на 50-60%.

ка улавливания и обеспыливания, дополняющего основную систему обеспыливания. Она может включать слой “постели”, зону разгрузки ленты с дроблением агломерата и просеивания и пункты перегрузки конвейера агломерата. Подтверждение имеющихся данных демонстрирует, что распределение вторичных источников не всегда делается однозначно, например, обеспыливание охладителя иногда рассматривается отдельно, и иногда включается во вторичные выбросы.

Пыль после электростатических пылеуловителей или рукавных фильтров, используемых здесь, возвращается в сырьевую смесь.

ТАБЛИЦА 3.5. ДИАПАЗОНЫ ВЫБРОСОВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ ДЛЯ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА УСТАНОВКЕ ДЛЯ СПЕКАНИЯ (ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ ОСНОВНОЙ ДЫМОВОЙ ТРУБЫ) [300]

Точка выбросов (1)	Операции	Пыль	PM10	Пыль	PM10
		г/т агломерата		мг/нм ³	
1	Усреднение и смешение	0,5 – 37,7	5,6 – 18,9	NA	NA
4	Вторичное обеспыливание: • зона выгрузки ленты • горячее дробление/грохочение • позиции перегрузки с конвейера	14,5 – 40 (2)	7,7 – 25,1 (2)	7 – 50 (2)	4 – 43 (2)
5	Охлаждение агломерата	14 – 212	1,3 – 42,8	0,6 – 85 (3)	0,6 – 36

(1) Номер точек выброса на рис. 3.2

(2) Эти данные могут также включать выбросы с охладителя агломерата

(3) Исключено значение 390 мг/нм³ с единичной установки

NA – нет данных или данных слишком мало. Данные соответствуют 2004 г.

Охлаждение агломерата (см. точку выбросов № 5 на рис. 3.2) происходит с очень большим количеством охлаждающего воздуха. Так как охладители обычно не полностью покрыты происходят рассеянные выбросы.

В табл. 3.6 включены данные для выбросов пыли из системы вторичного обеспыливания для трех агломерационных установок в ЕС

ТАБЛИЦА 3.6 ВЫБРОСЫ ПЫЛИ, МГ/НМ³, ОТ СИСТЕМЫ ВТОРИЧНОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ НА ТРЕХ УСТАНОВКАХ В ЕС [244]

Среднее значение	Перцентиль(1)		Период времени отсчета
	5%	95%	
Обеспыливание в камере спекания (точка выбросов 3) (2)			
12	5	25	ННАВ (с) (3)
Зона выгрузки агломерата, горячая дробилка и точки передачи с контейнера – обеспыливание (точка выбросов 4) (2)			
19	9,5	32	DAV (4)
Обеспыливание после охладителя агломерата (точка выброса 5) (2)			
17,6	7	24,5	ННАВ (с) (3)

(1) Среднегодовое

(2) Номера точек выбросов на рис. 3.2

(3) ННАВ (с) – получасовое среднее, измеряемое непрерывно

(4) ДАВ – среднесуточное значение

Примечание. Перцентиль – значение, заданное величиной с фиксированной вероятностью.

3.2.2 Экологические проблемы для процесса агломерации

3.2.2.1 Выбросы в воздух

Как уже указывалось, выбросы в воздух от установок агломерации, в особенности от ленты имеют высокую значимость для окружающей среды. Еще одна важная проблема связана с энергией. Разделы 3.2.2.1 и 3.2.2.5 посвящены описанию самых важных экологических проблем для агломерационных установок.

Выбросы пыли от обращения, дробления, грохочения и транспортирования сырья для агломерации

При обращении, дроблении, грохочении и транспортировании сырьевых материалов или агломерата происходят выбросы пыли (вторичные выбросы). Эти выбросы пыли можно уменьшить с помощью мер надлежащего подавления или отведения и очистки.

Выбросы отходящих газов от агломерационной ленты [101], [215]

Как упоминалось в п. 3.1.3 и табл. 3.4, удельный расход отходящих газов относительно высокий (1500-2500 $\text{нм}^3/\text{т}$ агломерата). На рис. 3.5 представлена общая картина, относящаяся к смешанным отходящим газам от агломерационной ленты в целом. Хотя состав отходящих газов, выходящих из отдельных всасывающих камер, значительно различается, он обладает некоторыми особенностями, определяющими распределение выбросов вдоль агломерационной ленты. На рис. 3.5 показан типичный характер выбросов CO_2 , CO , O_2 и H_2O в отходящих газах вдоль агломерационной ленты. Эти параметры мешают установлению равновесия в различных реакциях.

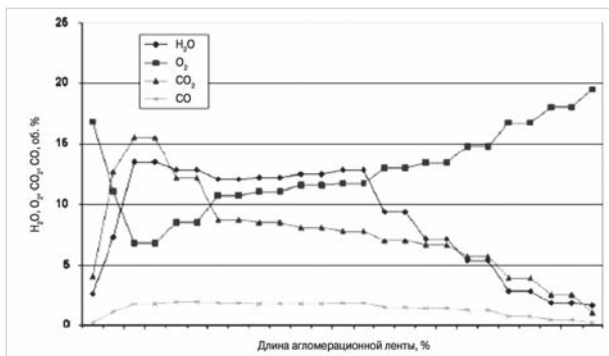


Рис. 3.5 Типичный характер выбросов (CO_2 , CO , O_2 и H_2O) в отходящих газах (одна дутьевая камера) вдоль агломерационной ленты

Имеются также характеристические кривые для температуры, содержания HCl , SO_2 , NO_x и PCDD/F (рис. 3.7 и п. 3.1.4), других загрязняющих веществ. Некоторые параметры, такие как содержание CO , CO_2 , O_2 , NO_x и SO_2 , можно рассчитать с помощью соответствующих моделей.

Пыль [7], [45], [300]

Количественный анализ распределения частиц пыли по размерам от агломерационной ленты перед очисткой показывает два максимума: один для крупных частиц пыли (с размером около 100 мкм) и один для PM1 (0,1 – 1 мкм) (рис. 3.6). Эта характерная “смесь двух компонентов пыли” может быть объяснена существованием процессов образования двух видов пыли.

Крупные частицы пыли образуются в начале ленты и имеют источником происхождения шихту агломерата и нижний слой, в то время как тонкодисперсная пыль образуется в зоне спекания после полного испарения воды в смеси. Состав крупных частиц пыли связан с составом сырья агломерата, и их можно отделить в электростатических фильтрах (ESPs) с высокой эффективностью. Тонкодисперсная пыль, однако, состоит из хлоридов щелочных металлов и свинца, образующихся в процессе собственно спекания (см. п. 3.1.3). Хлориды щелочных металлов имеют высокое удельное сопротивление (между 1012 и 1013 Ом), и таким образом образуется изолирующий слой на электродах. Этот слой вызывает серьезные проблемы для удаления пыли, так как уменьшается эффективность электрофильтра. Согласно данным работы [7], хлориды щелочных металлов могут быть удалены только при средней эффективности около 60%. Наличие этих тонкодисперсных частиц в пыли означает, что хорошо спроектированные и эксплуатируемые обычные ESPs обычно не в состоянии достичь концентрации пыли в очищенном газе ниже 100 – 150 мг/нм³. Наличие этих тонкодисперсных частиц в пыли вызывает необходимость использования рукавных фильтров или хорошо обслуживаемых ESPs с селекцией импульсов, или сходными современными технологиями контроля, с помощью которых достигается концентрация пыли 50 мг/нм³. При использовании электрофильтров с подвижными электродами (МЕЕР) можно добиться среднесуточных значений <50 мг/нм³. При условии, что пыль из доменной печи очищается и отделяется в самостоятельный поток с высоким содержанием хлоридов из третьего и четвертого полей электрофильтра, то можно достичь среднесуточных значений < 30 мг/нм³. [326].

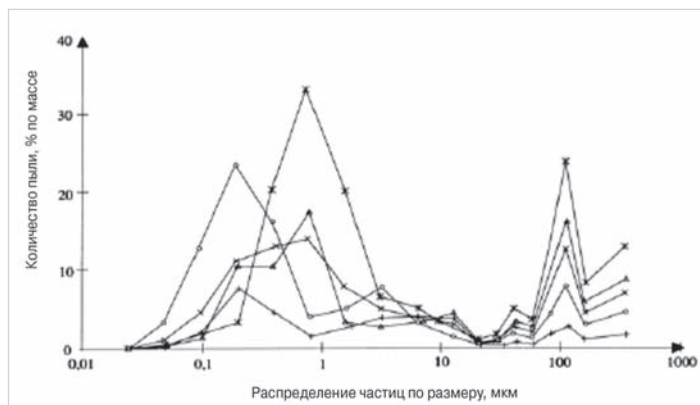


Рис. 3.6. Распределение по размеру частиц и весу пыли от разных агломерационных лент [7]

Хлориды свинца ведут себя подобно хлоридам щелочных металлов; следовательно, относительно высокий уровень выбросов свинца из основных дымовых труб агломерационных установок затрудняет удаление пыли. В табл. 3.7 приведены диапазоны, обнаруженные в элементном анализе пыли с агломерационных лент.

ТАБЛИЦА 3.7 ДИАПАЗОНЫ, ОБНАРУЖЕННЫЕ ПРИ ЭЛЕМЕНТНОМ АНАЛИЗЕ ПЫЛИ С АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ЛЕНТЫ [224], [231], [234], [387]

Параметр	% по массе
Fe (общее)	43,7 – 49,9
C	12,9 – 25,8
S	0,22 – 4,07
C	2,9 – 6, 12
P	0, 001 – 0, 24
K	3 – 9, 07
Ca	7, 55 – 7, 83
Al	0,43 – 2, 17
Mg	1, 01 – 1, 04
Zn	0, 03 – 0, 34
Mn	0, 10 – 0, 31
Cu	0, 005 – 0, 17
Cr	0, 04 – 0, 15
Pb	0, 09 – 5, 98
Na ₂ O	0, 58 – 31, 6
NiO	0, 004
Cd	0, 0009
TiO ₂	0, 099

Примечание. Пыль из электрофильтра агломерационной установки, работающего при 120-130оС и содержащего три поля.

Данные для пыли из третьего поля. Анализ с помощью рентгеновской флуоресценции и на ТОС.

Тяжелые металлы [7], [9], [87], [93], [143], [299], [300]

Проблемы выбросов тяжелых металлов с агломерационных установок могут быть очень важными, в особенности свинца.

Свинец

В течение процесса спекания шихты образуются различные соединения свинца PbO-PbCl₂, PbCl₃ и, вероятно, также PbCl₄. Эти соединения являются относительно летучими и поступают в газовую фазу. Их свойства (летучесть, отсутствие дальнейшего роста размеров зерна, очень тонкие кристаллы PbCl₂) обуславливают рост среднегодовых выбросов до 10 г/т агломерата в неочищенных отходящих газах (что эквивалентно средней концентрации в выбросах приблизительно 3 мг Pb/нм³, на основе удельного расхода отходящих газов 2100 нм³/т агломерата). Вследствие особых характеристик пыли с агломерационной ленты (высокое содержание хлоридов щелочных металлов) эффективность удаления даже и при хорошо спроектированном ESP не будет высокой для частиц очень малого размера. Из данных анализа по осаждению на листьях деревьев

известно, что концентрации соединений свинца в окружающем воздухе в зоне воздействия аглофабрики может быть существенно выше, чем общий уровень.

Самым важным фактором в образовании хлорида свинца является не концентрация свинца в шихте агломерата (обычно 40 – 100 г Pb/т агломерата), а концентрация хлорида (обычно 200 – 700 г Cl/т шихты агломерата).

Характер распределения выбросов вдоль агломерационной ленты показывает, что испарение свинца происходит на первых двух третях ленты.

Многие агломерационные установки в Европе работают с использованием фильтров от пыли, работающих в замкнутом цикле. Это означает, что вся осаждающаяся в фильтре пыль от ESP будет подвергаться рециклингу с возвратом на ленту. По сравнению с фильтрами от пыли, работающими в частично открытом цикле (пыль от последнего поля ESP, которая состоит главным образом из хлоридов щелочных металлов, направляется на полигон), установки с замкнутым циклом имеют повышенные выбросы хлоридов щелочных и других металлов. В этом смысле см. также результаты измерений, заимствованные из работы [326], с рециклингом пыли и без него. В зависимости от содержания фторидов в шихте агломерата, могут также образовываться фториды свинца. Они еще более летучие и также вносят вклад в общие выбросы свинца.

Ртуть

Ртуть поступает в газовую фазу непосредственно в процессе спекания. Уровни выбросов зависят от содержания ртути в шихте для подготовки агломерата, но обычно оно очень низкое. Для некоторых типов железной руды (например, FeCO₃) уровень выбросов ртути может быть значительным. Сообщали о выбросах около 15 – 82 мкг Hg/т агломерата, когда применяли хорошо спроектированные ESPs и систему мокрой газоочистки в качестве основной технологии. Такие уровни выбросов могут привести к значительно более высоким концентрациям в окружающей среде (например, определенные по отложениям на листьях деревьев) в зоне воздействия агломерационной установки [299].

Цинк

Содержание цинка в шихте для подготовки агломерата обычно находится в диапазоне 7- - 200 г Zn/т шихты для подготовки агломерата. При высоких температурах в зоне сжигания/обжига/окисления (рис. 3.3) цинк испаряется, но впоследствии реагирует с образованием цинкового феррита, который либо остается в агломерате, либо может удаляться с использованием хорошо спроектированного и эксплуатируемого ESP с высокой эффективностью. Температура в течение процесса спекания, которая зависит от содержания кокса в смеси, может оказать значительное влияние на испарение цинка.

В неочищенном газе цинк может находиться на уровнях до 50 мг Zn/м³ или 100 мг Zn/т агломерата, что эквивалентно средней концентрации выбросов в диапазоне от 0,001 до 0,92 мг/м³.

Хлориды щелочных металлов [93]

Содержание щелочей в шихте для подготовки агломерата обычно изменяется от 600 до 1000 г K₂O/т шихты агломерата и от 250 до 500 Na₂/т шихты агломерата. В некоторых случаях, в зависимости от качества руды сообщалось о

том, что в шихте для подготовки агломерата содержалось до 3000 г K_2O /т шихты агломерата. Образование хлоридов щелочных металлов в течение процесса спекания и их негативное воздействие на эффективность удаления пыли из ESP уже объяснялось выше. В табл. 3.8 приведена информация о содержании растворимых хлоридов в некоторых шихтовых материалах агломерата.

ТАБЛИЦА 3.8 СОДЕРЖАНИЕ РАСТВОРИМЫХ ХЛОРИДОВ В АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЕ [387]

Материал	Содержание растворимых хлоридов, мг/кг
Руды железа	27 - 159
Флюсы	51 - 159
Возврат	32 - 3800
Пыль электрофильтра	2500 - 34074
Топлива	78 - 639

Оксиды серы (SO_x) [4], [7], [65], [200], [256], [263], [300]

Оксиды серы (главным образом SO_2) в отходящих газах образуются от сжигания соединений серы в шихте для подготовки агломерата. Эти соединения серы попадают в основном с коксовой мелочью. Вклад от железной руды обычно в 10 раз меньше. Общее поступление серы варьируется от 0,28 до 0,81 кг/т агломерата. Концентрации SO_2 обычно находятся в диапазоне от 200 до 1000 г SO_2 /т агломерата (что эквивалентно средним концентрациям в выбросах отходящих газов от 95 до 480 мг/нм³ на основе расхода отходящих газов 2100 нм³/т агломерата). Характер выбросов вдоль агломерационной ленты определенно изменяется при значительных различиях в концентрациях SO_2 в отдельных всасывающих коробах (рис. 3.7 и 3.8). Подобное поведение выбросов было обнаружено в относительно недавних исследованиях [200], [263].

В начале ленты содержание SO_2 низкое. Только, когда достигаются более высокие температуры в нижних слоях внутреннего слоя, выбросы заметно возрастают. Самые высокие концентрации отмечаются в конце ленты, непосредственно перед достижением температуры спекания. Этот характер выбросов может позволить, если потребуется, очищать только часть отходящих газов (см., например, комплексную технологию в соответствии с частичным рециклингом отходящих газов в п. 3.3.5.2).

Выше упомянутые выбросы SO_2 достигаются при использовании сырьевых материалов с низким содержанием серы и в результате усовершенствований, которые были проведены для снижения потребления коксовой мелочи в качестве топлива для агломерационных лент. В то время как в начале 1980-х гг. обычный расход коксовой мелочи составлял около 80 кг/т агломерата, в 2009 г. ее потребление было 39 – 64 кг/т агломерата (см. табл. 3.3). Помимо поступления серы с сырьевыми материалами, имеются также другие факторы, которые влияют на количество выбросов SO_2 . Один из них – это степень поступления серы в агломерат. Она зависит от основности поступающей шихты для подготовки агломерата. При основности до 1, более 90% серы испаряется. Этот процент снижается при основности выше 1,5. При основности 2 выделяется 80 – 90% серы. На рис. 3.9 показан средневзвешенный

состав агломерата для установок, участвующих в обмене данными в Европейском комитете по доменным печам, на которые приходилось около 100 млн т агломерата в год. Основность агломерата возросла в среднем до 1,8 с 2000 г., для того чтобы достичь самофлюсующейся шихты, что характерно для Европы в целом. Это вносит вклад в снижение выбросов SO_2 , но только незначительное. Кроме того, поглощение серы агломератом с высокой основностью возможно только, когда CaCO_3 используется как источник щелочи, а не MgCO_3 .

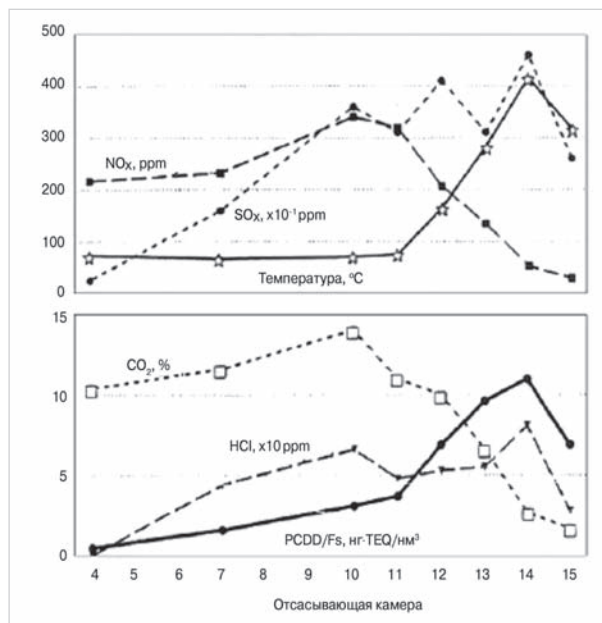


Рис. 3.7 Распределение температуры и концентрации газовых соединений в отходящих газах из отсасывающих камер [256].

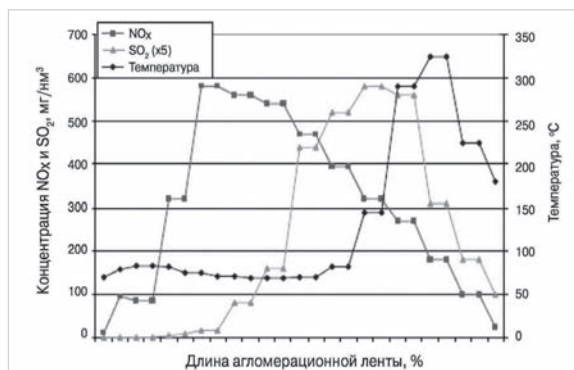


Рис. 3.8 Типичный характер выбросов SO_2 и NO_x в отходящих газах (индивидуальные отсасывающие камеры) и температурный профиль вдоль агломерационной ленты

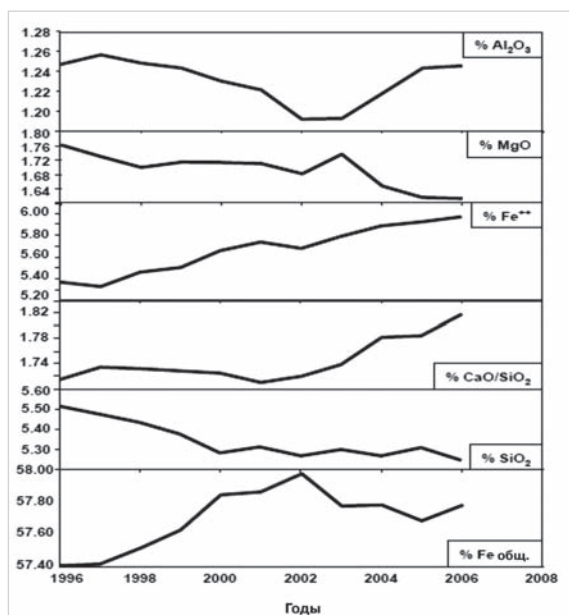


Рис. 3.9 Средневзвешенный состав агломерата для установок, принимающих участие в обмене данными Европейского комитета доменных печей [140].

108

Незначительный положительный эффект $CaCO_3$ на выбросы SO_2 нейтрализует его негативное воздействие в связи с ростом удельного сопротивления пыли, вызываемого более высокой основностью, что приводит к снижению эффективности удаления пыли в ESP (см. рис. 3.10).

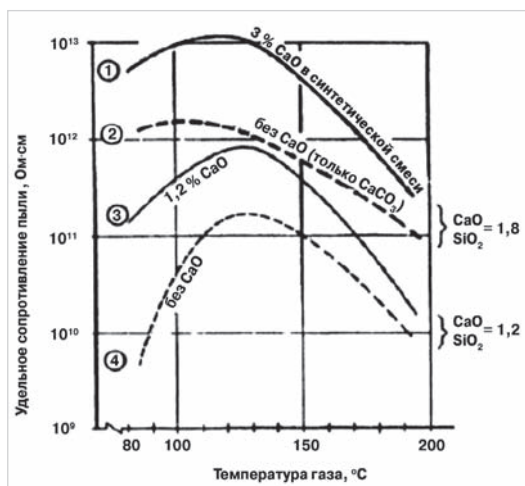


Рис. 3.10 Влияние основности агломерата (CaO/SiO_2) на удельное сопротивление пыли

Распределение частиц коксовой мелочи по размерам значительно влияет на выброс SO_2 . Использование кокса с частицами более крупного размера (5 – 6 мм) вместо обычного (<3 мм) может привести к значительному снижению выбросов SO_2 . С другой стороны, использование более крупных частиц кокса может снизить производительность, и, тем самым, повысить потребление топлива, что устраняет положительное воздействие на выбросы SO_2 . Известен пример, в котором выбросы SO_2 с уровнем 800 мг/нм^3 с использованием коксовой мелочи (1 мм) были снижены до 500 мг/нм^3 после перехода на более крупные частицы (6 мм).

Фториды [300]

Выбросы фторидов зависят главным образом от содержания фторидов в руде и от основности шихты для подготовки агломерата. В рудах, богатых фосфором, содержатся значительные количества фторидов (1900 – 2300 частей на 1 млн). В Европе такого типа руда используется и экспортируется из Швеции. Как можно видеть из рис. 3.11, выбросы фторидов в значительной степени зависят от основности шихты для подготовки агломерата. Возрастание основности этой шихты приводит к значительному снижению выбросов фторидов. Как было упомянуто выше, недостатком шихты для подготовки агломерата является образование пыли с высоким удельным сопротивлением (см. рис. 3.11). Согласно данным табл. 3.4, выбросы фторида водорода находятся в диапазоне 0,4 – 8,2 г F/т агломерата на основе среднегодового значения $0,2 - 4,3 \text{ мг F/нм}^3$ с $2100 \text{ нм}^3/\text{т агломерата}$.

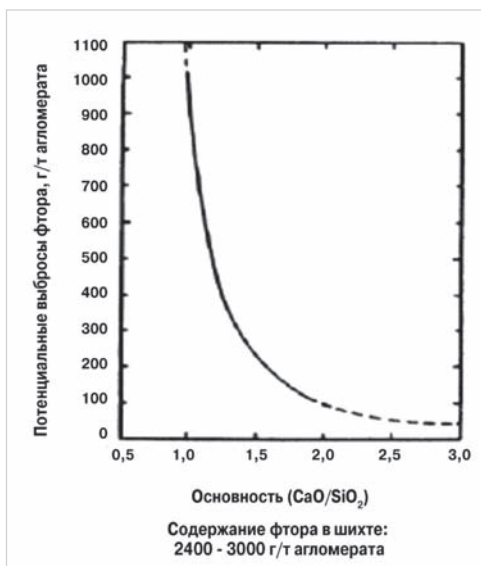


Рис. 3.11 Соотношение между основностью агломерационной шихты и выбросами фторида [7].

Оксиды азота (NO_x) [7], [65], [387]

Достижимые во фронте пламени температуры в слое агломерата вызывают образование NO_x. Эти NO_x могут образовываться с помощью: сжигания органических соединений азота в шихте для подготовки спекания (“топливные NO_x”); реакции разложения компонентов с молекулярным азотом (N₂); реакции молекулярного кислорода (O₂) с молекулярным азотом (N₂) в воздухе для сжигания (“термические NO_x”). Топливные NO_x могут быть самыми важными, представляя около 80% от общего количества, однако и термические NO_x могут доминировать с долей 60 – 70 %. В табл. 3.4 приведены максимальные и средние концентрации выбросов в диапазоне 302 – 1031 г NO_x/т агломерата, и это соответствует концентрациям 143 – 491 мг NO_x/нм³ с 2100 нм³/т агломерата. Сообщается о концентрациях выбросов до 700 мг NO_x/нм³, и это относится главным образом к содержанию азота в топливах.

Когда определены концентрации NO_x в индивидуальных отсасывающих камерах, можно заметить, что выбросы NO_x не распределены равномерно вдоль агломерационной ленты. Однако по сравнению с выбросами SO₂ разница не столь значительная (см. рис. 3.7).

С помощью проведения экспериментов на агломерационных лентах было показано, что оксиды азота в отходящих газах состоят главным образом из NO. Кроме того, было обнаружено, что в ситуациях, когда проницаемость слоя агломерата снижается, возрастание времени контакта между воздухом и слоем облегчает образование NO_x.

Другие неорганические соединения [229]

Известно, что выбросы HCN для агломерационных установок могут быть довольно высокими. На одной бельгийской аглофабрике, где в качестве топлива использовали антрацит, выбросы HCN составляли около 1646 кг/год. На австрийском металлургическом заводе, на котором производится 5 млн т неафинированной стали/год, выбросы HCN от агломерационной установки составили 1500 кг/год в 2004-2005 гг. и 2375 кг/год в 2006-2007 гг. Это приводит к удельным выбросам около 0,4 г/т агломерата. Измеренные соответствующие массовые концентрации составляют 0,17 и 0,2 мг/нм³. Стоит упомянуть, что на обеих установках используется антрацит главным образом в качестве топлива, либо для снижения выбросов NO_x, даже если возможное воздействие на образование HCN не является важным.

С другой стороны, два измерения, выполненные на австрийской и немецкой агломерационной установке, показали совершенно противоположные результаты. Массовая концентрация была во всех случаях <0,02 мг/нм³, и это меньше предела определения. Сообщалось также, что массовая концентрация HCN на голландской установке и на бельгийской аглофабрике при использовании значительных количеств антрацита всегда была ниже предела определения.

Эти результаты представляются противоречивыми. Так как остается неясным, как может образовываться HCN в течение спекания в рамках преобладающих окислительных условий. Рекомендуется пробный анализ и исследования [128], [380].

Углеводороды [7], [45], [112], [300]

Выбросы углеводородов состоят главным образом из продуктов, образующихся при пиролизе и неполном сжигании углеродсодержащих сырьевых материалов. Отходы, в которых содержатся нефтепродукты, являются основным источником выбросов углеводородов с агломерационных лент. Например, в исключительных обстоятельствах в прокатной окалине может содержаться до 10% нефтепродуктов [45]. Таким образом, перед возвратом в операцию спекания необходима предварительная обработка для соответствия с внутренними стандартами. Большинство металлургических заводов с полным циклом вводит внутренние стандарты для содержания нефтепродуктов в отходах, подвергаемых рециклингу с возвратом на агломерационную ленту (порядка $<0,1\%$, иногда $<0,5\%$ и иногда $<1\%$, для того чтобы избежать эксплуатационных проблем с ESP (образование окалины), а также для минимизации выбросов. Таким образом, содержание нефтепродуктов в сырьевой смеси для агломерационной ленты должно быть $<0,1\%$.

Углеводороды, выбросы которых образуются в результате испарения перед зоной окисления/сжигания, реагируют с нижними слоями агломерата (см. рис. 3.3). Эти выбросы включают метан, алифатические соединения, фенолы, олефины и ароматические соединения. Из данных, представленных в табл. 3.4, можно видеть, что летучие органические соединения не метанового ряда (NMVOC) находятся в диапазоне от 1,5 до 260 г С/т агломерата, выраженные как ежегодные средние (что эквивалентно концентрации выбросов в отходящих газах приблизительно $0,7 - 120 \text{ мг/нм}^3$, на основе удельного расхода отходящего газа $2100 \text{ нм}^3/\text{т агломерата}$). Диапазон выбросов метана составляет от 35 до 240 г/т агломерата, выраженный как ежегодное среднее (что эквивалентно концентрации выбросов в отходящих газах приблизительно $17 - 200 \text{ мг/нм}^3$, на основе удельного расхода отходящих газов $2100 \text{ нм}^3/\text{т агломерата}$).

На одной бельгийской агломерационной установке производительностью 3,186 млн т агломерата/год были измерены выбросы бензола. Полученные данные удельных выбросов составили примерно $8,84 \text{ г/т агломерата}$, что соответствует массовой концентрации $2,91 \text{ мг/нм}^3$. На этой установке в качестве топлива использовали антрацит. На австралийском заводе, где антрацит использовали для снижения выбросов NO_x , обнаружены выбросы бензола порядка 3600 кг/год за 2004-2005 гг., что эквивалентно концентрациям $0,35 \text{ мг/нм}^3$ для металлургического завода, производящего 5 млн т нерафинированной стали/год. Не ясны факторы, оказывающие влияние на выбросы бензола, но они, вероятно, связаны с высоким содержанием летучих материалов в сырьевой смеси. Необходимы дополнительные исследования.

Полихлорированные дибензо-п-диоксины и фураны (PCDD/F) [224], [230], [258], [259], [300]

В табл. 3.4 приведены выбросы PCDD/F от агломерационных установок (от 0,15 до $14,64 \text{ мкг I-TEQ/т агломерата}$, выраженные как ежегодные средние, когда для большинства установок диапазон составлял от 0,2 до $6,0 \text{ мкг I-TEQ/т агломерата}$). Этот диапазон эквивалентен типичным концентрациям выбросов в отходящих газах от 0,07 до $2,86 \text{ нг I-TEQ/м}^3$ (на основе удельного расхода отходящих газов $2100 \text{ нм}^3/\text{т агломерата}$).

Это четко свидетельствует о том, что спекание является основным источником выбросов PCDD/F на металлургических заводах с полным циклом. Таким образом, спекание стало предметом нескольких исследований, проведенных для оценки того, где в этом процессе и при каких условиях образуются выбросы PCDD/F. Цель исследований состояла в уяснении того, каким образом можно предотвратить образование выбросов PCDD/F и (или) какой окончательный способ снижения выбросов следует использовать, и в каком месте наиболее эффективно подавлять эти выбросы. Еще один вопрос заключался в оценке родственных соединений PCDD/F в выбросах PCDD/F.

Общий механизм образования PCDD/F в процессе спекания является сложным, и, вероятно, является следствием различных вкладов от разных процессов, происходящих в различных местах слоя, вследствие вертикального и продольного распределения температуры.

Процессы образования, вероятно, связаны с конденсацией молекул предшественника (исходных веществ) и вторичного синтеза (“de novo”). Вмешательство молекул предшественника легко предвидеть с потенциальными предшественниками для PCDD хлорфенолами или хлордифенил эфирами и с PCB как предшественниками PCDF.

Происходит “de novo” синтез на макроструктурном углероде при окислительной атмосфере, при относительно низких температурах. Свойства небольших количеств частиц остаточного углерода, или “сажи”, которые находятся во взвешенном состоянии в отходящих газах, и хлоридов металлов, по-видимому, оказывают значительное воздействие на образование PCDD/F.

Для образования PCDD/F требуются различные ингредиенты. В работах [224], [255], [263], [266], [300] и [387] приведена дополнительная информация о том, как различные соединения вносят вклад в образование PCDD/F, которые действуют как предшественники. Для того чтобы объяснить процессы образования и требования к предшественникам и последующим технологиям подавления, было проведено много исследований, ключевые результаты которых включены в следующий перечень:

- углеводород: в рудах обычно содержатся небольшие количества органических материалов. Основным источником органических материалов являются возвраты, например, прокатная окалина, в которой могут содержаться нефтепродукты [257]. Как сообщалось, природа кокса оказывает небольшое влияние на общее количество PCDD/F. По-видимому, она влияет на распределение изомеров. В общем, следует отметить, что существует прямая корреляция количества органических соединений с появлением летучих органических соединений (ЛОС) и они вновь имеют сильную корреляцию с концентрацией PCDD/F;
- хлор: содержание летучих соединений Cl (например, NaCl, KCl, CaCl₂) и органических соединений – эффективные факторы образования PCDD/F [287]. Источниками хлора являются руды, в которых содержатся хлориды, и органические хлориды, например, пластик. Общее содержание хлоридов в железных рудах составляет 12 – 720 частей на 1 млн [266]. Содержание хлоридов в

известняке и других флюсах находится в одном и том же диапазоне. С возвратами связаны наибольшие вариации в содержании хлоридов, и в пыли отходящих газов имеется от 1000 до 5000 частей на млн. Коксовая мелочь обычно имеет относительно низкое содержание хлоридов. Корреляции описаны в работах [255], [263] и [387];

- металлические катализаторы: такие катализаторы, как Cu или Fe, могут сохраняться в минералах и коксе. Диапазон составов железных руд приведен в работе [266]. Так, диапазон от десяти различных железных руд для меди составляет от 10 до 70 частей на 1 млн и для железа от 57,2 до 67,9 % по массе;

- хлорфенолы и РСВ: это по существу предшественники образования PCDD/F, и для этих соединений характерна тенденция доминирования в выбросах агломерационных установок (и в выбросах от других источников сжигания). Они являются относительно летучими и могут попасть из зоны горения в слой агломерата, нагреваясь газообразными продуктами сжигания. Некоторые исследования показывают, что концентрации общих РСВ в коксовой мелочи и железных рудах составляют около 1 – 1,6 мг/кг, и расчеты для одной агломерационной установки указывают на потенциальный вклад РСВ в образование PCDD/F в количестве 0,85 мг/кг агломерата, и поэтому потенциально это существенный источник молекул предшественника, из которых могут появиться значительные естественные источники;

- сажа: она может находиться во взвешенном состоянии в отходящих газах, может иметь несовершенную кристаллическую структуру и содержать как хлориды, так и каталитические элементы;

- PCDD/F в возвратах также могут вносить вклад в образование PCDD/F в отходящих газах. Содержание PCDD/F в некоторых сырьевых материалах, смешанных материалах и полученном агломерате приведено в табл. 3.9. Даже если они будут разрушаться на агломерационной ленте, остающиеся соединения могут вносить вклад как предшественники вторичного синтеза.

ТАБЛИЦА 3.9 КОНЦЕНТРАЦИЯ PCDD/F В СЫРЬЕ, СМЕШАННЫХ МАТЕРИАЛАХ И ПРОИЗВОДИМОМ АГЛОМЕРАТЕ [224], [256], [263]

Материал	PCDD/P		CDF ¹		PCDD/F	
	нг/г	нг-ТЕQ/г	нг/г	нг-ТЕQ/г	нг/г	нг-ТЕQ/г
Сухая пыль ESP	4,0-45,1 (1)	1,90	24-87,2 (1)	14,4	28 – 52	16,3 (1)
Пыль доменной печи	0,2		0,18		0,37	
Прокатная окалина	0,064		0,084		0,15	
Кокс	0,04		0,07		0,11	
Возвратная руда	0,027		0,016		0,43	
Смесь	0,033		0,12		0,15	
Производимый агломерат	0,004		0,0008		0,005	
Гранулированная смесь (2)	0,053		0,082		0,13	

(1) Пыль от электрофильтра агломерационной установки, работающего при 120-130оС с тремя полями

(2) Характеристики агломерационной установки: производство сухого агломерата 10000 т/сутки; эффективная площадь спекания 330 м²; толщина слоя 670 мм; камеры отсасывания (вакуум-камеры): 21. Влажный сырьевой материал (т/сутки): железные руды 7660; известняк 1090; гашеная известь 170; кокс 410; возвратный агломерат 1770; пыль 390; прокатная окалина 470, серпентин 310; прочее 1300.

Температуры в отсасывающих трубопроводах являются идеальными для вторичного синтеза. Некоторые секции в отсасывающих трубопроводах имеют необходимые температуры (рис. 3.12). Реакция вторичного синтеза может проходить на частицах или в частицах, иммобилизованных во внутренней части отсасывающих трубопроводов или системы очистки аспирационного воздуха.

Основные критерии, которые требуются для вторичного синтеза PCDD/F, включают следующее: структура твердого углерода с несовершенной или вырожденной графитовой структурой, неорганический хлор, металлические ионы меди или железа, окислительная атмосфера и температура в диапазоне от 250 до 450°C. Большая часть этих критериев может встречаться в слое агломерата и камерах отсасывания. Поэтому значительная часть PCDD/F образуется в процессе спекания за счет протекания вторичного синтеза. Исследования, проведенные в 2009 г., дают основания полагать, что образование PCDD/F происходит главным образом в самом спекаемом слое, а не в последующем процессе в системе отходящих газов, что обычно характерно для муниципальных мусоросжигательных установок.

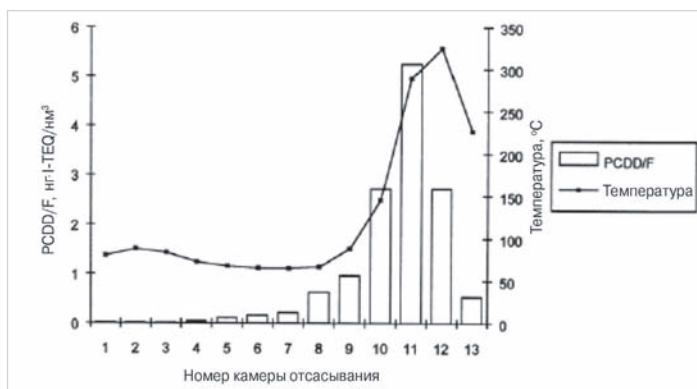


Рис. 3.12 Характер изменения PCDD/F и температуры отходящих газов вдоль агломерационной ленты

Обоснованное свидетельство образования PCDD/F в слое агломерата следующее: ниже агломерационной ленты находятся камеры отсасывания, которые соединены с дымовой трубой камерами разрежения. Для профиля выбросов из камер отсасывания и камер разрежения характерна тенденция образования пика около точки проплавления шихты на ленте (см. рис. 3.7).

Это можно отнести за счет того факта, что температуры отходящих газов также следуют подобной тенденции и что возможность для вторичного синтеза, которая существует в камерах отсасывания и камерах разрежения, реализуется на этом участке ленты. Однако PCDD/F имеются в предшествующих камерах отсасывания и камерах разрежения, в которых температура ниже оптимального диапазона и вторичный синтез не реализуется. Таким образом, обычно допускае-

мое объяснение профиля для камер отсасывания и камер разрежения состоит в том, что PCDD/F образуются в самом слое и последовательно улавливаются за счет конденсации на охлаждаемой шихте при более низкой температуре ленты. Так как фронт пламени движется вниз, уловленные PCDD/F снова испаряются и уходят вниз через слой к плотной части зоны, достигая точки, где не остается холодной шихты. Последний механизм подтверждается также прерываемым экспериментом в агломерационной чаше во Франции, когда было продемонстрировано, что PCDD/F концентрируются в более холодных частях слоя агломерата.

В процессе спекания, поскольку PCDD/F образуется главным образом в слое агломерата, мало что можно сделать для изменения профиля температуры в слое без воздействия на процесс в целом. Поэтому попытки предотвратить или минимизировать образование PCDD/F должны быть направлены на изменение условий в слое, с целью предотвращения образования вторичного синтеза PCDD/F и любых потенциальных исходных для вторичного синтеза материалов.

Тем не менее, измерения, проведенные в двух местах вдоль камеры отсасывания при 300°C (самый близкий пункт от решетки, которого можно практически достичь для проведения измерений), показали, что концентрации PCDD/F возрастали в 10 раз между двумя местами отбора проб [230]. Кроме того, испытания по снижению выбросов с использованием противоточной инъекции ингибиторов в камеры отсасывания в направлении решетки, показали снижение концентраций PCDD/F. Это возможно только в случае, если PCDD/F образуются (по крайней мере, в некоторой степени) в камерах отсасывания при этой температуре.

Если судить о распределении PCDD/F, выбрасываемых после вторичного синтеза, то механизм их образования будет отличным от того, при котором PCDD/F образуются на традиционной (первой) стадии формирования выбросов при спекании на агломерационной ленте. На второй стадии PCDD/F могут образовываться в камерах отсасывания, с органическими веществами и хлором, поставляемыми от зон неполного спекания или с жиром и пылью в камерах отсасывания.

Характер изменения концентраций 17 целевых групп гомологов PCDD/F может быть по существу тем же самым для всех агломерационных установок Cogus в Соединенном Королевстве, несмотря на различия в составе сырья. По данным исследований образования PCDD/F, проведенных на агломерационных установках по всей Европе, было выявлено, что профили конгенов (группа гомологов) в выбросах отходящих газов на агломерационной установке были почти теми же самыми для всех агломерационных установок, независимо от реальной концентрации PCDD/F в отходящих газах. Эти наблюдения предполагают, что профиль конгена является характеристикой процесса, и, по-видимому, не связан напрямую со значением I-TEQ. Эти данные предполагают также, что образование PCDD/F подчиняется термодинамическому контролю, что общий механизм образования применим к большинству, если не ко всем агломерационным установкам. В табл. 3.10 указано, что не полностью хлорированные конгенеры дибензо-*p*-диоксинов и дибензофуранов доминируют в выбросах полихлорированных загрязнителей.

ТАБЛИЦА 3.10 ОБЩИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ, НГ/НМЗ, ГРУПП ГОМОЛОГОВ PCDD И PCDF В ПРОБАХ ИЗ КАМЕРЫ РАЗРЕЖЕНИЯ [157]

Конгенер(группа гомологов)	Номер камеры разрежения					
	4	6	8	10	12	14
Тетра CDD	0,141	49	0,912	45	0,59	0,85
Пента CDD	0,422	50	1,613	15	2,03	1,74
Гепта CDD	0,632	53	1,312	40	2,49	2,68
Окта CDD	0,901	40	0,880	94	0,93	0,70
Тетра CDF	22,86	132,48	73,16	169,17	184,50	109,87
Пента CDF	18,45	89,75	52,65	90,53	95,16	62,76
Гекса CDF	13,72	51,09	25,92	41,06	42,35	31,05
Гепта CDF	4,20	13,87	6,36	9,29	8,65	8,18
Окта CDF	1,14	3,06	1,42	2,11	2,01	1,55

Полихлорированные бифенилы (PCB) [9], [122], [300], [387]

PCB могут образовываться в тех же самых условиях, которые были описаны выше для PCDD/F. Однако в процессе их образования не происходит преобразования фенильных колец. В последующей реакции образующиеся PCB могут подвергаться замыканию кольца с образованием PCDF, но не PCDD. Таким образом, в случае PCDF необязательно наличие ароматических предшественников для их образования.

PCB могут также находиться в сырьевых материалах. Концентрации PCB в коксовой мелочи и железных рудах, как сообщалось, составляли около 1 – 1,6 мг/т, а ограниченные расчеты для одной агломерационной установки указывали на потенциальное поступление 850 мкг/т кондиционного агломерата. Четко видна возможность того, что PCB могут быть разрушены в зоне сгорания (см. рис. 3.3), но следует помнить, что процесс сжигания не такой активный, как при сжигании отходов, например, и вряд ли следует полагать, что все PCB в рабочем воздухе могут быть разрушены в зоне сгорания.

Кроме того, PCB являются относительно летучими и могут быть удалены при нагреве шихты газообразными продуктами сжигания перед зоной сгорания.

В табл. 3.11 приведены некоторые данные, относящиеся к выбросам PCB из агломерационных установок.

ТАБЛИЦА 3.11 ВЫБРОСЫ PCB С УСТАНОВОК АГЛОМЕРАЦИИ [300]

Загрязняющее вещество	Диапазон	Единицы
PCB (1)	1 – 13	мг ΣPCB/т агломерата
PCB(2)	24,5 – 178	нг/т агломерата
PCB(2)	0,01 – 0,09 (3)	нг/нмЗ

(1) Сумма всех PCB, рассчитанная из $(\Sigma PCB\ 28+52+101+153+138+180) \times 5$ (коэффициент 5 согласно [155]). Данные для двух агломерационных установок

(2) WHO-12 PCB (диоксиноподобные конгенеры, выраженные в значениях I-TEQ)

(3) Диапазон среднегодовых концентраций выбросов с использованием удельного расхода газа 2100 нмЗ/т агломерата.

В табл. 3.12 показаны конгенеры РСВ, которые были обнаружены в течение анализа отходящих газов с агломерационной установки.

ТАБЛИЦА 3.12 КОНГЕНЕРЫ (ГОМОЛОГИ) РСВ, ОБНАРУЖЕННЫЕ В ОТХОДЯЩИХ ГАЗАХ АГЛОФАБРИК

Конгенеры (номер IUPAC)	Химическое название
77	3,3',4,4' - ТСВ
118	2,3',4,4',5 - РСВ
105	2,3,3',4,4' - РСВ
126 (1)	3<3',4,4',5 - РСВ

(1) Для токсичности, однако, вклад этого конгенера очень высок

Примечание. На копланарные полихлорированные бифенилы (ко-PCB) приходится 5-10% от общей токсичности PCDD/F.

Существует сильная корреляция между концентрациями PCDD/F и WHO-12 РСВ (выраженными в значениях I-TEQ) – вклад WHO-12 РСВ в общую концентрацию I-TEQ обычно составляют 9-10% от PCDD/F. Тесное соотношение выявлено между концентрациями PCDD/F и РСВ, и это дает основания полагать, что имеется общая связь между образованием этих соединений (см. Раздел 13.3).

Другие галогенорганические соединения [133], [300]

Наличие PCDD/F и РСВ можно считать индикаторами образования галогенорганических соединений, таких как хлорбензолы, хлорфенолы, хлорнафталены и т.д. Таким образом, можно ожидать, что эти соединения содержатся в отходящих газах агломерационных установок, хотя о таких исследованиях до настоящего времени не известно.

Полициклические ароматические углеводороды (РАН) [300], [387]

Как упоминалось в п. 3.1.3, реакции в слое агломерата сложные. Процесс сжигания не является гомогенным и характеризуется неполнотой сгорания, в результате чего наблюдается образование значительных количеств полициклических ароматических углеводородов (РАН). Данные, представленные в табл. 3.4, показывают, что среднегодовые минимальные и максимальные коэффициенты выбросов находятся в диапазоне 0,2 – 592 мг Borneff (что эквивалентно диапазону ежегодных концентраций выбросов от 0,1 до 282 мкг Borneff 6 нм3/т агломерата).

Не была обнаружена корреляция между концентрациями PCDD/F и РАН. Нет данных в отношении того, какие имеются самые важные соединения РАН в выбросах с агломерационных установок.

Шлейфы дыма [261]

Иногда на установках для спекания железной руды появляется видимый дым отходящих газов. Предполагаются следующие причины:

- пыль, которая проходит через электрофильтр, это тонкодисперсная пыль, из которой, по крайней мере, 40% имеет размер частиц 10 мкм или ниже, и содержит главным образом частицы смеси агломерата и субмикронные частицы KCl

- очень небольшое количество SO_3 при концентрации около 0,1 частей на 1 млн находится в отходящих газах от агломерационной установки, и возможно появление кислотной точки росы с конденсацией H_2SO_4 может вызвать образование тумана и видимого дыма. Наличие длинной горизонтальной полосы дыма, что является характерным для отходящих газов от агломерационных установок, может быть связано с воздействием испарения серной кислоты в тумане;

- удаление только пыли с помощью электрофилтра обычно недостаточно для предотвращения образования видимого дыма от отходящих газов агломерационных установок; по-видимому, необходимо также оборудование для десульфуризации;

- в течение нештатной работы (например, когда не работает должным образом установка для переработки SO_x) концентрация SO_x в отходящих газах возрастает.

Выбросы пыли от охлаждения агломерата [300]

В зоне выгрузки, готовый агломерат подвергается дроблению, просеивается, транспортируется и охлаждается. Эти операции предполагают возможность образования выбросов пыли.

Охлаждение агломерата проводится с высоким количеством охлаждающего воздуха. Так как охладители обычно не полностью закрыты, происходят рассеянные выбросы. Из закрытых частей выбросы можно улавливать и затем очищать. Снижение уровня выбросов проводится с помощью фильтрования (с использованием рукавных фильтров или электрофильтров) и возврата основных отходящих газов к агломерационной ленте. Горячие газы от охладителя и от грохочения агломерата могут возвращаться в процесс для утилизации физического тепла после предварительной очистки от пыли или без очистки. Часто отходящие газы от охладителя очищаются вместе с отходящими газами, удаляемыми из зоны выгрузки. Данные, представленные в табл. 3.5 и 3.6, указывают диапазон среднегодовых концентраций выбросов от 1 до 85 мг/нм³ на стадии охлаждения агломерата (этот диапазон соответствует 14 – 212 г/т агломерата).

Состав пыли в зоне выгрузки и от охлаждения (вторичные выбросы) отличается от пыли, выбрасываемой с агломерационной ленты (первичные выбросы). В частности, в зоне выгрузки очень низкие выбросы хлоридов щелочных металлов (или отсутствуют) и микро количества органических загрязнителей, и обычно эта пыль может повторно использоваться в процессе спекания.

3.2.2.2 Сточные воды [24], [65]

Промывочная вода

Процессы на заводах черной металлургии по своей природе вызывают отложение пыли в различных местах агломерационной установки. Для того чтобы предотвратить сток загрязнений в поверхностные воды, используют различные способы очистки промывной воды. В образующихся сточных водах содержатся взвешенные твердые частицы (включая тяжелые металлы), и они обычно очищаются перед сбросом. Например, на агломерационной установке с производительностью приблизительно 11000 т агломерата в сутки, расход промывной воды составляет

около 460 м³/сут. Эти сточные воды очищаются с помощью осаждения в схеме рециркуляции и усиленно непосредственно перед сбросом. Данные для других установок не имеются.

Охлаждающая вода

На агломерационной установке охлаждающая вода может использоваться для охлаждения зажигателей машины для спекания и вентиляторов, а также для агломерационных машин. На металлургических заводах с полным циклом с производительностью 4 млн т стали в год расход охлаждающей воды для агломерационной установки должен составить приблизительно 600 м³/ч. Охлаждающая вода обычно полностью используется повторно. Законодательные ограничения местных органов власти в некоторых странах требуют предотвращения шлейфов дыма или образования промышленного льда от градирен для охлаждения оборотной воды в течение зимнего периода, что может предотвратить дополнительное использование охлаждающей воды.

Сточные воды от очистки отходящих газов

Сточные воды от очистки отходящих газов образуются только при использовании мокрых систем газоочистки. В потоке воды содержатся взвешенные твердые частицы (включая тяжелые металлы), стойкие органические загрязняющие вещества, такие как PCDD/F и PCB, PAH, соединения серы, фториды и хлориды. Они обычно очищаются перед сбросом. Количество и качество такой воды описаны в п. 3.3.2.4.

3.2.2.3 Отходы и побочные продукты [7]

Обычно отходы и побочные продукты, образующиеся на агломерационной установке (пыль от установок для обеспыливания и ситовые фракции) подвергаются рециклингу на ленте. Однако могут быть четыре исключения:

- первое связано со шламами от систем мокрой очистки отходящих газов, которые могут быть отправлены на полигон или возвращены на агломерационную установку. Имеется только одна установка в Европе, где работает такая система;
- второе связано с фильтровальной пылью от последнего поля электрофильтра. Как упоминалось ранее, большинство европейских агломерационных установок работает с полностью закрытыми пылевыми циклами [7]. Однако некоторые установки исключают тонкодисперсную пыль из последнего поля электрофильтра, которая состоит главным образом из хлоридов щелочных и других металлов. Это “частично открытый цикл фильтровальной пыли” проводится для того, чтобы улучшить условия эксплуатации электрофильтра или рукавного фильтра, либо для снижения выбросов хлоридов щелочных и других металлов;
- третье относится к пыли с высоким содержанием хлоридов щелочных металлов и серы, которая может ухудшить эффективность очистки электрофильтров (см. п. 3.3.2.1);
- четвертое связано с жесткими национальными законодательными критериями для рециклинга.

3.2.2.4 Потребление энергии

Обследование Европейского комитета по доменным печам эксплуатационных данных для агломерационных установок (2004 г.) выявило, что агломерационные установки используют 1290 – 1910 МДж/т агломерата в виде тепловой энергии (твердые топлива, включая фильтровальную пыль и топливо для розжига), со средним потреблением 1344 МДж/т агломерата. Это эквивалентно 39 – 64 кг коксовой мелочи/т агломерата, при среднем значении 50 кг. Общее потребление электрической энергии находится в диапазоне от 92 до 155 МДж/т агломерата [299]. Потребление тепловой энергии для розжига составляет диапазон от 70 до 85 МДж/т агломерата [241]. Имеется только небольшое различие в потреблении топлива между агломератом с низкой основностью ($<1,7 \text{ CaO/SiO}_2$) и агломератом с более высокой основностью ($\geq 1,7 \text{ CaO/SiO}_2$) [200]. В табл. 3.2 приведены данные для 20 европейских агломерационных установок. Кокс является доминирующим источником поступающей энергии для агломерационной установки (около 88%), а остальное приходится на электроэнергию и газ (коксовый газ и (или) доменный газ и (или) природный газ). Основой выделяемой энергии являются отходящие газы, испарение воды, энергия реакции и сам агломерат. Охлаждение агломерата часто сочетается с утилизацией физического тепла [300].

120

3.2.2.5 Шум [242]

На аглофабриках доминируют следующие источники шума:

- вентиляторы отходящих газов агломерационной установки;
- вентиляторы охладителя агломерата;
- дробилка агломерата.

На некоторых установках шум может быть серьезной проблемой, особенно шум с высокой энергией и низкой частотой. Этот шум вызывается частотой вращения лопатки вентилятора при регулировании расхода газов через слой агломерата.

3.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ для агломерационных установок

3.3.1 Оптимизация технологического процесса

В этом разделе описаны технологии (или их сочетания) и соответствующие приемы мониторинга, которые считаются способными обеспечить высокий уровень защиты окружающей среды в рамках деятельности, охватываемой данным документом.

Он включает технологии, интегрированные в процесс, и меры, предусматривающие очистку в конце производственного цикла. Предотвращение образования отходов и управление ими, включая минимизацию отходов и процедуры рециклинга, также будут рассмотрены. Кроме того, в документе описаны техно-

логии для снижения потребления сырьевых материалов, воды и энергии.

В Приложении III к Директиве перечислен ряд критериев для определения ВАТ (НДТ), и информация в этой главе относится к этим соображениям. Насколько возможно, как показано в табл. 3.13, используется стандартная структура для представления собранной информации о каждой технологии, чтобы была возможность сравнения технологий и оценки на основе определения ВАТ, приведенного в Директиве.

Этот раздел не представляет исчерпывающий перечень технологий, который можно применять в секторе, могут иметься другие технологии или новые разработки, которые можно рассматривать при определении НДТ для индивидуальной установки.

ТАБЛИЦА 3.13 ПОДБОРКА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КАЖДОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ОПИСАННОЙ В ЭТОМ РАЗДЕЛЕ

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Описание	Краткое техническое описание с использованием, по необходимости, рисунков, диаграмм и технологических схем
Достижимые экологические выгоды	Основные потенциальные экологические выгоды могут быть достигнуты с помощью внедрения технологии (включая экономию энергии, воды, сырьевых материалов, а также рост производительности, эффективности использования энергии и т.д.)
Воздействия между средами	Потенциальные побочные экологические эффекты и недостатки в отношении других сред вследствие внедрения технологии, включая подробности воздействий технологии на окружающую среду, по сравнению с другими (преимуществами и недостатками, подтвержденными имеющимися данными) с целью оценки воздействия технологии на окружающую среду в целом. Это может включать такие проблемы, как: • потребление сырьевых материалов и воды; • потребление энергии и вклад в изменение климата; • потенциал разрушения стратосферного озона; • потенциал создания фотохимического озона; • подкисление в результате выбросов в воздух; • твердые частицы в окружающей среде (включая микропластики и металлы); • эвтрофикация земли и водных объектов в результате выбросов в воздух или сбросов в воду; • потенциал истощения кислорода в водных объектах; • стойкие/токсичные/биоаккумулятивные компоненты в водных объектах или в почве (включая металлы); • образование или уменьшение (отходов) отходов; • возможность повторного использования или рециклинга (отходов) отходов; • шум и (или) запах; • риск аварий
Эксплуатационные данные	Реальные эксплуатационные данные (включая сравнительные условия, периоды мониторинга и методы мониторинга) об уровнях выбросов, потребления (сырьевых материалов, воды, энергии) и количества образующихся отходов. Любая другая полезная информация о работе, обслуживании и контроле технологии
Применимость	Указание о типе установок или процессов, в которых технология может или не может применяться, а также ограничения для внедрения в некоторых случаях, с учетом, например, возраста установки (новая или существующая), факторов, связанных с модернизацией (например, наличие места), размера установки (большая или меньшая), технологии, уже используемой, и типа или качества продукта

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Экономика	Информация о затратах (инвестиции и эксплуатация) и любой возможной экономии (например, снижение потребления сырьевых материалов или энергии, платежей за размещение отходов) или доходах, включая подробности о том, каким образом они были рассчитаны/оценены. Должна быть экономическая информация, важная для строительства новых или модернизации существующих установок. Это должно дать возможность идентификации общего экономического воздействия технологии
Мотивация для внедрения	Конкретные местные условия, требования (например, законодательство, меры безопасности) или не экологические факторы (например, рост производительности, повышение качества продукции), которые являются движущей силой или стимулируют внедрение технологии
Пример установок	Ссылка на установку (установки), на которых внедрена технология и о которых была собрана информация и использована при написании раздела. Указание о степени использования технологии в Европе или мире
Справочная литература	Литература или другой справочный материал (например, книги, отчеты, исследования, веб-сайты), которые были использованы при написании раздела и в которых содержится более подробная информация о технологии

Планируемая или тщательно реализуемая практика обслуживания может обеспечить непрерывную работу агломерационной установки без существенного нарушения производства агломерата. Это одна из самых важных мер, интегрированных в технологический процесс для снижения выбросов от агломерационных установок. Нарушение плавного перемещения фронта горения через слой агломерата приведет к незапланированным остановкам ленты, что оказывает негативное воздействие на образование пыли и некоторых видов органических веществ.

Исследования образования выбросов PCDD/F в процессе спекания [9] показали, что PCDD/F образуются в самом слое агломерата, вероятно, перед фронтом горения: горячие газы проходят через слой и в некоторой степени в камеры отсасывания и разрежения. Было также продемонстрировано, что нарушение распространения фронта горения, т.е. неустойчивая работа, приводит к повышенным выбросам PCDD/F. Для решения этой проблемы необходимо, чтобы процесс спекания осуществлялся в соответствии со скоростью движения ленты, и кроме того необходимо снизить вариации по составу и высоте слоя (в особенности с точки зрения надлежащего смешения возврата и минимизации поступления хлоридов). Необходимо также поддержание стабильного уровня добавок, таких, как обожженная известь, и контроль содержания нефтепродуктов в прокатной окалине до надлежащего уровня <0,5%. Последнее может быть достигнуто ограничением концентрации нефтепродуктов в сырьевой смеси <0,1%. Благотворное воздействие на выбросы с агломерационной ленты оказывают такие меры, как поддержание ленты, системы коробов и обеспыливания в герметичном состоянии для минимизации подсоса воздуха в работающую систему.

Достигаемые выгоды для окружающей среды

Повышенные уровни выбросов твердых частиц могут происходить в течение пуска агломерационной ленты после краткого останова вследствие высушивания слоя, когда начальный фронт распространения горения рассеивается. После долгих остановов может появиться необходимость в иницировании работы без некоторых действующих элементов оборудования для очистки газов, например, электрофилтра и (или) рукавного филтра. Такая ситуация возможна, если отходящие газы должны пройти через байпас для защиты оборудования от высоких уровней влажности. Таким образом, минимизация остановов и кратковременных флуктуаций для достижения ритмичной работы ленты приведет к снижению пиковых выбросов твердых частиц и снижению визуального воздействия на работу установки. Выбросы других загрязняющих веществ в воздух также будут снижаться благодаря большей оптимизации процесса.

Не была идентифицирована ни одна технология, которая позволила бы добиться относительно низкого образования PCDD/F. Представляется, что вместо этого должно быть сочетание технологий, упомянутых выше, но в особенности непрерывной работы ленты.

Взаимодействия между средами

Использование энергии минимизируется с помощью стабильности работы. Не имеется негативных воздействий между средами. В соответствии с применением вышеупомянутых технологий будут дополнительные преимущества с точки зрения эксплуатационных характеристик, например в возрастающей производительности, снижении потребности в энергии и стабильном качестве агломерата.

Не представлены эксплуатационные данные, данные о мотивация для внедрения.

Применимость

Описанные технологии могут применяться на новых и существующих установках.

Экономика

Нет затрат на монтаж. Эксплуатационные затраты на обслуживание и рабочую силу уравниваются выгодами от более высокой производительности и стабильного качества агломерата. Кроме того, хорошо обслуживаемая и стабильно работающая установка позволяет снизить потребление топлива и энергии.

Пример установок

Вышеупомянутые технологии обычно применяются на европейских установках. Все операторы прилагают усилия, чтобы их установки работали безотказно, с минимальным количеством остановов. Это достигается применением высоких стандартов обслуживания.

Справочная литература: [9], [301]

3.3.2 Методы снижения выбросов в воздух от агломерационных установок

3.3.2.1 Современные электростатические пылеуловители (ESP)

Чаще всего для очистки больших объемов отходящих газов в агломерационных установках в ЕС используются сухие электростатические пылеуловители с тремя или четырьмя полями, расположенными последовательно. При их работе образуется электростатическое поле по всему пути пыли в воздушном потоке. Частицы заряжаются отрицательно и мигрируют к положительно заряженным осадительным пластинчатым электродам. В сухих электростатических пылеуловителях собранный материал удаляется с помощью “встряхивающих устройств”, которые периодически ударяют или возбуждают вибрацию осадительных пластинчатых электродов, выбивают материал и дают ему возможность упасть в бункерные наполнители.

В мокрых электростатических пылеуловителях собранный материал удаляется с помощью постоянного потока воды, которая собирается и впоследствии очищается.

Для того чтобы получить адекватное разделение, удельное электрическое сопротивление твердых частиц должно находиться в диапазоне от 104 до 109 Ом. Обычно большинство твердых частиц в отходящих газах от процесса спекания находится в этом диапазоне, но бывают и соединения со значительно большим удельным сопротивлением, такие как хлориды щелочных металлов, хлориды тяжелых металлов и оксиды кальция (см. рис. 3.10), которые трудно удалить с высокой эффективностью.

Другими факторами, которые оказывают влияние на эффективность, являются: расход отходящих газов; интенсивность поля; величина нагрузки по твердым частицам; концентрация SO₃; содержание влаги, а также форма и площадь электродов.

Улучшение характеристик ESP может быть достигнуто с использованием более высокого или изменяющегося импульсного напряжения и быстрого контроля напряжения и тока реакции цепи. Кроме того эффективность работы ESP улучшалась с помощью внедрения следующих мероприятий: систем для повышения сил встряхивания для гравитационной постоянной 200, применения высоких импульсов энергии суперпозиции и возрастания расстояния между пластинами. Установление требуемого состава по SO₃ и (или) водяных паров также может повысить эффективность обеспыливания. Недостатком может стать рост выбросов HCl.

На рис. 3.13 представлено влияние попадания щелочных металлов (например Na, K) в процесс спекания на выбросы пыли после ESP на агломерационной установке компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Донавиц, Австрия, перед установкой рукавного фильтра. Диаграмма показывает, что были достигнуты выбросы пыли ниже 50 мг/м³ только при поступлении щелочных металлов ниже 2,5 кг на т агломерата.



Рис. 3.13 Влияние содержания щелочных металлов на входе в процессе спекания на выбросы пыли после электростатического пылеуловителя (ESP) на агломерационной установке Voestalpine Stahl GmbH, Донавиц, Австрия

Сообщения о трех типах электрофильтров с хорошими характеристиками приведены ниже:

1). Использование напряжения, состоящего из отрицательных узких импульсов, накладываемых на напряжение фильтра с отрицательной полярностью. Эти высокие импульсы напряжения длительностью 10 мкс могут повторяться с частотой до 200 импульсов в секунду. При импульсном питании пиковое напряжение выше, что дает лучшее заряджение частиц и распределение тока в пылеуловителе. Одной из самых важных характеристик импульсного напряжения является его возможность справиться с высоким сопротивлением пыли.

2). Электрофильтр с подвижными электродами (МЕЕР): в МЕЕР несколько групп пластинчатых электродов движется на гусеничных цепях. При непрерывном вращении щеток эти пластины очищаются. Таким образом, пыль с сильными адгезивными свойствами легко удаляется с пластин, и удается избежать влияния изоляции слоя пыли.

3). Электрофильтр высокого напряжения (ESCS). ESCS работает с повышенным напряжением (70 – 200 кВ). Увеличение расстояния между электродными пластинами дает возможность использования повышенного напряжения.

Другие технологии для улучшения характеристик электрофильтров регулируются с помощью программируемых логических схем и использованием до пяти полей.

Достигаемые экологические выгоды

Электрофильтры снижают выбросы пыли с эффективностью >95%. В некоторых случаях достигается эффективность выше 99%. Электрофильтры с полями МЕЕР могут очищать пыль до уровня выбросов в диапазоне от 20 до

50 г/нм³ с учетом обычных рабочих периодов и исключением пусков и остановов. При измерении результатов на одной установке в 2005 г. можно было видеть, что с МЕЕР достигались среднесуточные значения ниже 30 мг/нм³ (рис. 3.14) [326]. Для той же самой установки среднесуточные концентрации выбросов пыли в период с 2005 по 2007 г. находились в диапазоне от 24,6 до 29,4 мг/нм³.

Для двух немецких агломерационных установок, оснащенных электрофильтрами, сообщалось об уровне выбросов пыли в 36 мг/нм³ (среднегодовые значения на основе обычно измеряемых получасовых средних значений, составляли 25 и 65 мг/нм³, соответственно) [244]. Электрофильтры с наложением импульса энергии могут достичь степени очистки от 43 до 77 мг/нм³ на среднегодовой основе, хотя на некоторых установках с использованием уникальных руд этот диапазон может быть расширен до верхнего уровня 140 мг/нм³. Хотя ESCS не работают в ЕС, сообщалось, что с их помощью можно достичь выбросов <40 мг/нм³, но не ясна основа достижения этого уровня.

Выбросы пыли в 36 мг/нм³ (среднегодовое значение) были достигнуты на агломерационных установках в Германии, где применяли дувание цеолита и буроугольного кокса в электрофильтр. На одной из установок использовали также частичную рециркуляцию отходящих газов.

Были достигнуты выбросы пыли в диапазоне от 20 до 42,7 мг/нм³ на двух агломерационных установках компании ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия в 2008 г. Эти электрофильтры дополнительно оснащены микроимпульсными устройствами. Следует также учитывать, что эти значения являются среднегодовыми величинами. В табл. 3.14 приведены достигнутые значения выбросов пыли для электрофильтров на агломерационных установках ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия в 2008 г.

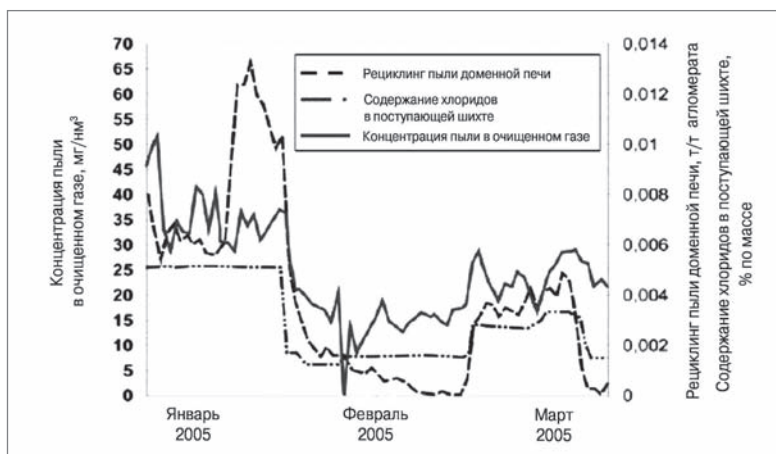


Рис. 3.14 Достижимая чистота очистки от пыли с ESP для отходящих газов после агломерационной установки и воздействие сниженного содержания хлоридов на входе [326].

ТАБЛИЦА 3.14 ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫБРОСОВ ПЫЛИ, МГ/НМЗ, ДЛЯ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ НА ДВУХ АГЛОФАБРИКАХ КОМПАНИИ ARCELORMITTAL, ГЕНТ, БЕЛЬГИЯ В 2008 Г. [177]

Параметр	Установка 1	Установка 2
Среднегодовое значение	20,01	42,72
Стандартное отклонение	9,64	9,72
Минимум	6	25,6
Максимум	67,3	100,6
Медианное значение	17,1	40,5
95% перцентиль	37,6	61

В табл. 3.15 показаны достигнутые значения концентрации выбросов для агломерационной ленты, где обеспыливание проводится с помощью электрофильтров, на трех немецких агломерационных установках, включая статистическую информацию и соответствующие сравнительные временные периоды.

ТАБЛИЦА 3.15 ДОСТИГНУТЫЕ ЗНАЧЕНИЯ УРОВНЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ, МГ/НМЗ, ДЛЯ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ С ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОМ НА ТРЕХ АГЛОФАБРИКАХ В ГЕРМАНИИ [128], [187], [244].

Параметр	Уровень выбросов	Перцентиль		Сравнительный период времени
		5%	95%	
1. Пыль	36			AAV
	36	25	65	HHAV (c)
	29	4,15	40	HHAV (c)
2. NOx	384			AAV
	400	320	520	HHAV (c)
	272	200	350	HHAV (c)
3. SOx	250	200	550	HHAV (c)
	311			AAV
	425	300	550	HHAV (c)
4. HF	0,6			AAV
	0,7			HHAV
	1,4			HHAV
5. HCl	0,72	NA	3	AAV
	17,4			HHAV
	20,4			HHAV
6. Cd, TI	0,0067			AAV
7. Cd	0,04			HHAV
8. Hg	0,025			HHAV
9. ΣAs, Co, Ni, Se, Te	0,02			AAV
	0,018			
10. ΣPb, Cr, Cu, Mn, V	0,87			AAV
11. ΣCu, Mn, V	0,47			HHAV
12. BaP	0,001			HHAV
13. Бензол	0,38			HHAV
14. TOC	582			HHAV

Параметр	Уровень выбросов	Перцентиль		Сравнительный период времени
		5%	95%	
15. PCCD/F	0,4 (1)			AAV
	0,166 (2) (3)			8HAV
	0,152(2) (3)			8HAV
	0,22 (2) (3)			8HAV
	0,129 (4)			8HAV
	0,25 (5)			8HAV

(1) Рециркуляция газа, вдувание цеолита/буроугольного кокса

(2) Вдувание цеолита/буроугольного кокса

(3) Среднее значение для 8 измерений

(4) Среднее значение для 4 точечных замеров в январе 2006 г., за исключением неопределенности измерений

(5) Среднее значение для 4 точечных замеров в апреле 2006 г., за исключением неопределенности измерений

Примечание. NA – нет данных

Параметры 6 – 15 – усредненные значения для трех аглофабрик

8HAV – полчасовое среднее значение

AAV – среднегодовое значение

8HAV – среднее значение за 8 ч.

Взаимодействия между средами

В некоторых случаях образуются твердые отходы, и этот поток отходов может быть возвращен в процесс спекания. Когда концентрация тяжелых металлов и (или) щелочных соединений слишком высока, это может помешать рециклингу.

Для агломерационной установки с потоком отходящих газов приблизительно 1 млн нм³/ч потребление энергии составляет 300 – 400 кВт. При производстве агломерата 4 млн т/год это эквивалентно 2 – 3 МДж/т агломерата (или 0,1 – 0,15% от общего потребления энергии на производство агломерата).

Эксплуатационные данные

Электрофильтр является самым распространенным устройством для очистки отходящих газов аглофабрик, и обычно их можно применять без проблем. Для предотвращения риска пожара необходимо уделять внимание количеству углеводородов в отходящих газах. Операторы контролируют поступление прокатной окалины для предотвращения попадания углеводородов в отходящие газы.

Помимо модификации и использования современных технологий ESP, часто применяются следующие дополнительные меры, для исключения попадания углеводородов в отходящие газы:

- тщательный выбор приемлемых материалов для рециклинга;
- ограничение материалов, опасных для рециклинга, таких как загрязняющая почву прокатная окалина, которые содержат пыль с хлоридами и щелочными металлами и шламы;
- предварительное смешивание и гомогенизация материалов для рециклинга;
- сбор пыли от последней камеры ESP, в которой можно обнаружить большую часть щелочных металлов и хлоридов;

• адаптация работы аглофабрики, такого типа как изменения производительности по выпуску агломерата, высота слоя и остановки для очистки ESP.

В табл. 3.16 представлены некоторые эксплуатационные и экономические данные, относящиеся к электростатическим пылеуловителям, используемым на агломерационных установках. Сообщены данные об уровнях пыли, но нет ясности, в каком случае и в какой период времени они используются (например, среднесуточные значения, моментальное значение).

ТАБЛИЦА 3.16. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ МЕЕР (ЭЛЕКТРОФИЛЬТР С ПОДВИЖНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ) И ESCS (ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ СО СТАТИЧЕСКИМ ЗАРЯДОМ), РАБОТАЮЩИХ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА АГЛОФАБРИКАХ

Показатели		Единица	Nippon Steel Corp. Wakamatsu/Yawata works, Япония	Arcelor Mittal -Айзенхюттен, Германия	Kobe Steel Ltd. Kakogawa works, Япония	Sumitomo Metal Ind., Ltd. Wakayama, Япония
Производство агломерата	Проект	т/ч	1000	NA	560	ТФ
	Реально		600	350	375	185
Общий расход отходящих газов	Проект	млн нм3/ч	2	0,53	1	NA
	Реально		1	0,52	0,7	0,4
Основность агломерата		CaO/SiO2	1,92	1,97	1,8	2,2
ESP	Тип		ESCS(1)	МЕЕР(2)	NA	Сухой ESP
	Количество		2 параллельно	Один	Три параллельно	Один
	Расход через ESP	млн нм3/ч	0,5	0,53	0,25 – 0,33	0,4
Концентрация пыли на входе	Проект	мг/нм3	1000	Максимум 1000	1000	NA
	Реально	мг/нм3	NA		1000	1100
Концентрация пыли на выходе	Проект	мг/нм3	50	35	50	NA
	Реально	мг/нм3	20 - 37	25 - 30	30 - 50	40
КПД ESP	Проект	%	95	NA	95	NA
	Реально	%	NA		95 - 97	96
Приведение ESP к техническим условиям и (или) предварительная обработка шихты агломерата			ESP, не приведенный к техническим условиям, регулирование содержания нефтепродуктов в сырье (без удаления масел)	ESP, не приведенный к техническим условиям, вдувание извести и бурогоугольного коша, без применения специальных мер по предотвращению пожаров	ESP, не приведенный к техническим условиям, максимальное содержание НС (4) в осадке ESP 1% достигается при максимальном содержании прокатной окалины в шихте 3%	Не приведенный к техническим условиям

Показатели		Единица	Nippon Steel Corp. Wakamatsu/Yawata works, Япония	Arcelor Mittal -Айзенхюттен, Германия	Kobe Steel Ltd. Kakogawa works, Япония	Sumitomo Metal Ind., Ltd. Wakayama, Япония
Побочный продукт (пыль)	Количество	кг/т агломерата	1 - 2		1 - 2	2
	переработка		Возврат в процесс спекания	Исключается фильтровальная пыль от третьего и четвертого поля	NA	NA
Потребность в энергии		кДж/т агломерата	0,00036		NA	NA
Инвестиции(3)		млн евро	NA		NA	4,2 в 1975 г.
Эксплуатационные затраты(3)		евро/т агломерата	0,0018 – 0,0024 в 1986 г. (только обслуживание)		NA	0,11 в 1986 г. (исключены обслуживание и амортизация)
Содержание кислорода		%		13,6		

(1) ESCS – электрофильтры со статическим зарядом

(2) МЕЕР – электрофильтр с подвижными электродами

(3) Для всех примеров валюта была конвертирована в ЭКЮ в 1996 г.

(4) Углеводороды

Примечание. NA = нет данных.

Применимость

Электростатические пылеуловители могут применяться как на новых, так и на существующих установках. МЕЕР могут быть установлены как последнее поле существующего электростатического пылеуловителя, или как отдельный элемент в своей собственной системе очистки, но размещение и возможность любого типа установки будут зависеть от конкретных условий.

Экономика

Решающий фактор стоимости ESP – расход отходящих газов. Инвестиции для модернизации двух существующих ESP с целью получения последнего поколения электростатических пылеуловителей были оценены в 2002 г. в 10 – 15 млн евро для агломерационной установки с удельным расходом газа 1,4 млн нм³/ч (пример установки: ArcelorMittal, Фос-сюр-Мер, Франция).

За 1996 г. сообщалось о следующих затратах для ESP:

- инвестиционные: 5 – 7,5 евро/нм³/ч;
- эксплуатационные: 0,05 – 0,08 евро/1000 нм³ очищенного газа;
- агломерационная установка производительностью 4 млн т/год, расходом отходящих газов 1 млн нм³/ч и 8640 рабочих часов в год, должна иметь следующие затраты:

- инвестиционные: 5 – 7,5 млн евро;
- эксплуатационные: 0,11 – 0,16 евро/т агломерата.

Для всех примеров валюта была конвертирована из ЕCU¹ 1996 г.

Для единичного фильтра МЕЕР, добавленного к существующему ESP для очистки 50000 нм³/ч, приводились данные о затратах около 1,1 млн евро в 1997 г.

Мотивация для внедрения

Основной движущей силой для внедрения технологий, описанных здесь, были жесткие нормы на выбросы или другие законодательные требования.

Пример установок

Система с наложением импульса энергии была установлена на многих агломерационных установках, например, на четырех лентах завода Gwangyang (Квангъян) компании Posco², Южная Корея, на двух лентах компании Thyssen Krupp Stahl в г. Дуйсбург, Германия, на двух лентах компании ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия. Некоторые установки Corus в Соединенном Королевстве оснащались системами импульсного типа. Система МЕЕР была установлена на двух агломерационных линиях в Японии, на двух линиях группы Riva в Таранто, Италия и на одной линии в компании ArcelorMittal в г. Айзенхюттенштадт, Германия. Система ESCS была использована на агломерационной установке компании Nippon Steel, на заводе Yawata Works в Японии.

Справочная литература: [7], [45], [61], [65], [71], [145], [209], [241], [242], [244], [247], [252], [254], [276], [277], [295], [308], [326]

Снижение выбросов PCDD/F с помощью ESP и добавок

Технология снижения выбросов PCDD/F связана с вдуванием активированного угля перед ESP. На заводе компании ArcelorMittal в Генте, Бельгия эта технология находилась в промышленной эксплуатации с 2000 г. на агломерационных установках 1 и 2. Активированный уголь использовался в качестве источника углерода, а известняк – как инертный материал.

Для нейтрализации различных видов в отходящих газах агломерационных установок были испытаны различные источники углерода. Среди них – активированные угли, отобранные виды кокса, древесный уголь и специально приготовленные активированные угли. Дальнейшее развитие системы может быть связано с усовершенствованием адсорбента. Для минимизации риска тлеющего разряда в электростатических пылеуловителях и ограничения содержания углерода в уловленной пыли могут также вдуваться инертные материалы (например, мелкодисперсный дробленый известняк, гашеная известь и т.д.). (В случае ArcelorMittal в Генте, Бельгия, содержание углерода в пыли ESP составляло меньше чем 25%, но цель состоит в снижении <20%).

Углерод и инертные материалы дозируются отдельно в одном трубопроводе, соединенном с трубопроводами дымовых газов, и каждый трубопровод имеет свою собственную систему дозирования. Так как трубопровод дымовых газов находится под разрежением, углерод и инертные материалы всасываются в турбулентный газовый поток, создаваемый статическим смесителем (с наклон-

¹ ЭКЮ – валютная единица, использовавшаяся в европейской валютной системе ЕЗС и ЕС в 1979-1998 годах.

² Pohang Iron and Steel Company (Posco) – компания со штаб-квартирой в г. Пхохан, занимающая второе место в мире по производству стали (33 млн т стали по итогам 2008 г.). В Южной Корее компания имеет два завода в г. Пхохан и Квангъян.

ной пластиной) в трубопроводе, а всасываемые материалы быстро рассеиваются в отходящих газах. В трубопроводах углерод адсорбирует часть PCDD/F (и других видов). В электрофильтрах углерод, инертные материалы и пыль собираются и подвергаются рециклингу (возвращаются) на агломерационной ленте, где PCDD/F разрушается в зоне спекания.

Другие технологии для улучшения характеристик ESP регулируются с помощью программируемых логических схем и использования до пяти электрических полей.

Достижимые экологические выгоды

Опыт компании ArcelorMittal в Генте, Бельгия, по вдуванию активированного угля перед ESP показывает, что может быть достигнута среднегодовая концентрация PCDD/F в 0,5 нг I-TEQ/нм³ в рамках строго контролируемых условий, когда обеспечены жестко ограниченные уровни жиров, масел и хлоридов, добавляемых к сырьевой смеси в возврате, и ESP находится в оптимальных условиях. Для достижения этих результатов типичный уровень дозирования угля составляет 80 мг/нм³, а известняка – 200 мг/нм³. Необходимость требуемого уровня известняка зависит от пылевой нагрузки газа, поступающего в ESP.

Другими примерами вдувания адсорбируемых добавок являются ArcelorMittal в Айзеншюттенштадте и Thyssen Krupp в Дуйсбурге, Германия. На заводе компании ArcelorMittal в Айзеншюттенштадте 80 мг пылевидного буроугольного кокса на 1 м³ отходящих газов (в общем: 32 кг/ч) [326]. Соответствующие концентрации PCDD/F находились в интервале между 0,115 и 0,255 нг I-TEQ/нм³ в 2006 г., с учетом неопределенности измерения (четыре точечных замера в устойчивых условиях) [128]. На заводе компании Thyssen Krupp в Дуйсбурге, Германия вдуваются цеолит и буроугольный кокс. В период с января по март 2007 г. было проведено четыре точечных замера на каждой из трех лент. Средние концентрации PCDD/F для трех лент составили 0,152, 0,166 и 0,22 нг I-TEQ/нм³.

Взаимодействия между средами

Имеются некоторые взаимодействия между средами в результате вдувания углерода в отходящие газы перед ESP. Не образуются дополнительные отходы, поскольку дополнительная пыль может подвергаться рециклингу на агломерационных установках, где уголь и известняк используются в течение процесса спекания; PCDD/F разрушаются в зоне спекания. Если тонкодисперсная пыль будет удаляться из спекаемой смеси для повышения проницаемости слоя, тем самым будет снижаться возможность образования PCDD/F. На установках, где не вся пыль, собираемая в ESP, рециркулирует, может быть применена дополнительная очистка пыли. Не имеется значительного роста потребления энергии, поскольку нет дополнительного изменения давления в системе отходящих газов.

Эксплуатационные данные

Для того чтобы минимизировать риски пожаров при использовании способа вдувания углерода температура отходящих газов должна быть $\leq 180^\circ\text{C}$. Времен-

ной интервал между точками вдувания углерода и устройствами для очистки газа является чувствительным параметром. На заводе компании ArcelorMittal в Генте, Бельгия, по крайней мере установлено точное время пребывания в 3 с при 150 – 180°C. Содержание углерода в собранной пыли должно быть ограничено для предотвращения самовоспламенения, как подчеркивалось выше. Наличие углерода в отходящих газах может привести к повышению эффективности системы сбора пыли в ESP и снижению выбросов твердых частиц. Однако эта технология не применима при пуске или останове установок вследствие температурных шоков.

Применимость

Вдувание углерода перед ESP является технологией очистки в конце производственного цикла, применимой для существующих агломерационных установок. Однако требуется надлежащая, хорошо обслуживаемая система очистки газа для обеспечения низких выбросов твердых частиц (крупные ESPs с импульсными системами).

Экономика

На заводе компании ArcelorMittal в Генте, Бельгия, инвестиции для двух агломерационных установок с общим расходом 1600000 нм³/ч составили 2500000 евро в 2000 г. (стальные конструкции, бункеры, дозирующее оборудование, пневмотранспорт и статический смеситель). Переменные затраты составили 0,15 евро/т агломерата для активированного угля, известняка и дополнительного потребления энергии в 2005 г.

Мотивация для внедрения

Основной движущей силой для внедрения описанной технологии были жесткие стандарты на выбросы или другие законодательные требования.

Пример установок

Вдувание углерода в отходящие газы перед ESP использовалось компанией ArcelorMittal в Генте, Бельгия с 2000 г., компанией Thyssen Krupp Stahl в Дуйсбурге, Германия с 2003 г., компанией ArcelorMittal в Айзеншюттенштадте, Германия с 2006 г. и компанией Hüttenwerke Krupp Mannesmann в Дуйсбурге, Германии в сочетании с “системой процесса спекания с низкими выбросами и оптимизированным потреблением энергии” (LEEP) с декабря 2001 г.

Справочная литература: [7], [45], [61], [65], [71], [128], [145], [187], [209], [241], [242], [244], [247], [252], [254], [276], [277], [295], [308], [326]

3.3.2.2 Рукавный фильтр – комбинированное или комплексное снижение выбросов твердых и газообразных загрязнителей

Рукавные фильтры на агломерационных установках обычно устанавливаются после существующего ESP или циклона, однако они могут работать как автономные устройства. Обычно удаление пыли сочетается с удалением кислых соединений отходящих газов (таких как HCl, HF и SO_x) с помощью вдувания негашеной извести или растворов бикарбоната натрия, и с удалением стойких органических загрязнителей (таких как PCDD/F, PCB, HCB или PAH) с помо-

щью вдувания адсорбентов – главным образом порошкообразного буроугольного кокса или активированного угля и (или) иногда цеолитов (рис. 3.15). Вся пыль, углерод/кокс и не прореагировавшие реагенты для десульфуризации, а также продукты реакции (гипс и сульфат натрия) отделяются с помощью рукавного фильтра. Значительная часть удаленной пыли рециркулирует в отходящие газы, для того чтобы повысить эффективность адсорбции, и, таким образом, снизить затраты на расходные материалы. Остальная часть удаляется из системы для депонирования. В некоторых случаях удаляемая пыль и добавки возвращаются на агломерационную ленту, где PCDD/F разрушается во фронте горения. Когда применяется комбинированная десульфуризация, твердые остатки из рукавного фильтра обычно не подвергаются рециклингу на агломерационной ленте вследствие выбросов SO_2 .

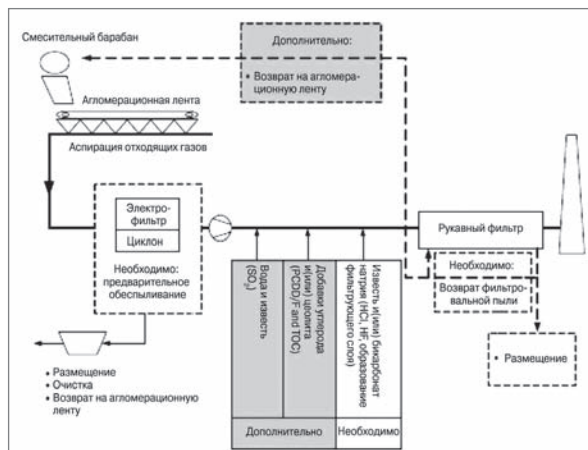


Рис. 3.15 Основная технологическая схема размещения рукавного фильтра после существующего электрофилтра или циклона [309].

Некоторые стадии такого сочетания технологий следующие:

- вдувание адсорбентов (порошкообразный буроугольный кокс или активированный уголь и (или) цеолиты) перед рукавным фильтром в газоходе для снижения выбросов опасных соединений;
- вдувание бикарбоната натрия или негашеной извести в газоход для снижения выбросов кислых газов (например, SO_x , HCl , HF) в сочетании с адекватным кондиционированием отходящих газов с помощью увлажнения и регулирования температуры ($90\text{--}100^\circ\text{C}$);
- улавливание пыли в химически стойком рукавном фильтре с системой автоматического удаления пыли (например, пульсирующего типа);
- возвращение пыли в начало потока дымовых газов рукавного фильтра. В некоторых случаях возвращается большое количество твердых частиц;
- удаление дымовых газов из системы вентиляторов.

Вдувание щелочных соединений, обычно извести, помогает также предотвратить смешивание фильтрующего материала с тонкодисперсными твердыми частицами или органическими соединениями и снизить коррозию оборудования. Известь создает слой на поверхности фильтра (образование фильтрующего слоя на фильтре), предотвращая образование непроницаемого слоя и в результате смешивая фильтрующий материал.

Для очистки отходящих газов от кислых соединений обычно используется “полусухой сорбционный процесс”. Это означает, что применяется дополнительная вода для снижения температуры отходящих газов до 90-100оС. Это способствует эффективной десульфуризации, а также предотвращает возможное повреждение последующих рукавных фильтров. Вода может непосредственно распыляться в поток отходящих газов.

В системах рукавных фильтров с рециркуляцией пыли (см. рис. 3.15) обычно имеется смеситель для рециркулируемой пыли и любых свежих добавок (негашеная известь и (или) углерод). Для облегчения десульфуризации отходящих газов в смесителе пыль увлажняется. Количество добавляемой воды зависит от температуры отходящих газов, и это поможет достичь необходимой степени десульфуризации. Уровень десульфуризации определяется по количеству добавляемой извести, степени рециркуляции собранной пыли, и по содержанию влаги в рециркулируемой пыли. Эффективность десульфуризация зависит также от качества гашеной извести.

Обычно фильтр разделяется на несколько фильтрующих рукавов сходной конструкции, каждый из которых дополнительно подразделяется на несколько камер. Предварительно обеспыленный поток отходящих газов равномерно распределяется до верхней части каждого фильтрующего рукава и втягивается до дна каждой камеры. В камеру отходящие газы входят со стороны рукава фильтра, и пыль собирается на ткани по мере прохождения газа через рукавный фильтр. Фильтры поддерживаются с помощью кассет и могут устанавливаться вертикально (длинный рукавный фильтр) или горизонтально (короткие рукавные фильтры). В течение очистки отходящих газов на внешней поверхности рукавного фильтра образуется фильтрационный кек в результате увеличения падения давления через фильтр. Как только падение давления достигает установленного значения (обычная разность давления между фильтром и камерой очищенного газа составляет 10 – 20 мбар), камера подвергается очистке с помощью обратного импульса компрессорного воздуха. Удаляемая пыль собирается в конические бункеры ниже фильтровальной камеры и разгружается с помощью шнекового конвейера. Около 98% этой пыли можно вернуть в поток отходящих газов в качестве добавки; остальная пыль удаляется из системы для размещения или факультативно возвращается на агломерационную ленту.

Примером комбинированного снижения выбросов твердых или газообразных загрязняющих веществ является процесс MEROS® (спекание с максимальным снижением выбросов). Полномасштабная установка находится в эксплуатации на агломерационной машине площадью 222 м2 компа-

нии Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия с августа 2007 г., она заменила систему AIRFINE.

Другими примерами для комбинированного снижения выбросов твердых и газообразных загрязняющих веществ с помощью рукавных фильтров являются процесс TFA (Очистка выбросов с агломерации) компании ArcelorMittal в г. Фос-сюр-Мер, Франция, и технология спекания EFA компании Rogesa в г. Диллинген, Германия. В то время как процесс TFA в Фос-сюр-Мер запущен в эксплуатацию в 2006 г., процесс EFA на агломерационной установке № 2 в Диллингене находится в стадии опытной эксплуатации.

На рис. 3.16 приведена технологическая схема агломерационной установки с добавленной системой SIMETAL MEROS®. Эта технология отличается по технологической схеме. Только процессы, упомянутые выше, дополняются рециклингом пыли и снижением выбросов SOx в случае дополнительного вдувания извести и воды [127].

Очищенная пыль состоит из первичной пыли, угля/кокса и не прореагировавших реагентов для удаления SOx. Для снижения затрат на добавки большая часть пыли, отделяемой в рукавном фильтре, подвергается рециклингу в газовом потоке, благодаря чему эти не прореагировавшие добавки снова вступают в контакт с отходящими газами, и, тем самым, снижаются затраты на добавки.

Еще одним преимуществом является то, что высокий диапазон изменения степени рециркуляции пыли (от 1 до 1000 г/нм³ в зависимости от технологии) приводит к быстрому сбору пыли на рукавном фильтре, что содействует дальнейшему удалению тяжелых металлов и PCDD/F. Концентрация SOx снижается с помощью гашеной извести для всех упомянутых технологий, хотя может также применяться бикарбонат натрия.

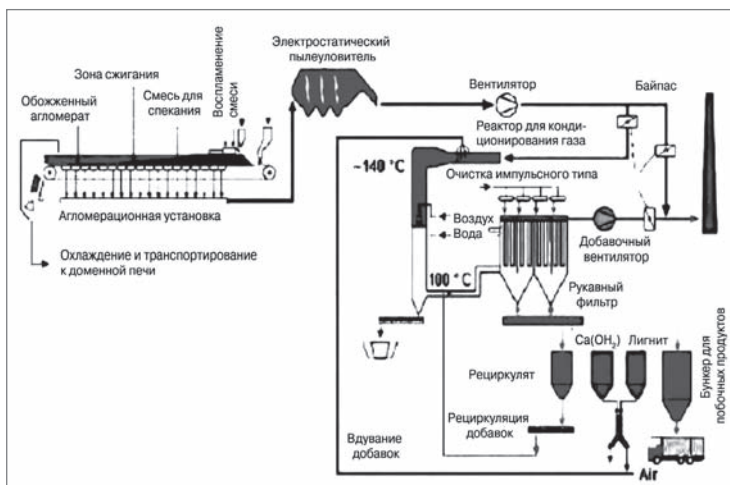


Рис. 3.16 Технологическая схема агломерационной установки с дополнительной системой SIMETAL MEROS®

Достигаемые экологические выгоды

Рукавный фильтр обладает высокой эффективностью улавливания пыли и одновременно снижает выбросы тяжелых металлов в потоке отходящих газов. Рукавные фильтры вместе с использованием добавок снижают также выбросы PCDD/F, хлористого водорода (HCl), фтористого водорода (HF) и в меньшей степени диоксида серы (SO₂). В частности, можно значительно снизить выбросы PCDD/F. Сообщалось также о высокой степени удаления ЛОС и РАН.

Эксплуатационные данные для европейских агломерационных установок, использующих рукавные фильтры, обычно находятся в диапазоне от 1 до 10 мг/нм³ твердых частиц, выраженных как среднесуточные значения, которые включают и пиковые периоды. Одновременно с пылью снижается содержание не летучих тяжелых металлов.

Добавка извести и углерода дает возможность снижения выбросов диоксинов до уровня <0,1 нг I-TEQ/нм³.

Выбросы летучих тяжелых металлов и ЛОС снижаются одновременно в результате применения добавок и цеолитов, в которых содержится углерод. Например, выбросы ртути снижаются на 80 – 95%.

Выбросы SO₂ можно снизить приблизительно на 30 – 80% с помощью добавок негашеной извести и на 90% при добавках бикарбоната натрия. Это приводит к тому, что выбросы SO₂ находятся в диапазоне от 100 до 500 мг/нм³ в зависимости от количества ддуваемой извести или бикарбоната натрия. На практике, можно достичь среднесуточных значений для SO_x <1 – 10 мг/нм³.

При добавке извести концентрации выбросов HF составляют 0,2 – 1 мг/нм³, а концентрации выбросов HCl – 1 – 10 мг/нм³ (среднесуточные значения)

Достигаемые экологические уровни очистки газа с помощью рукавных фильтров приведены в табл. 3.17.

ТАБЛИЦА 3.17 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРЕХ АГЛОМЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК С СИСТЕМОЙ РУКАВНОГО ФИЛЬТРА [190], [194], [211], [287], [296], [244]

Параметр	Вход (неочищенный газ)	Выход (1) (очищенный газ)	Единицы
Пыль	80 - < 500	0,73 - 15	мг/нм ³
SO ₂	450 - < 800	225 - < 550(2)	мг/нм ³
HCL	<60	0,31 – 30(3)	мг/нм ³
HF		0,34 – 1 (3)	мг/нм ³
PCDD/F		<0,1	мг/нм ³
Pb		0,17	мг/нм ³
Сумма Hg, Tl, Cd		0,007	мг/нм ³
Температура	145	100/100	оС

(1) Некоторые значения являются гарантированными показателями

(2) Удаление SO₂ в сильной степени зависит от рециркуляции твердых частиц в системе фильтра и от добавки воды. Значения достигнуты при вдувании извести/активированного кокса

(3) Нижнее значение диапазона достигается при вдувании извести.

В табл. 3.18 показаны достигаемые значения концентрации выбросов с агломерационной ленты после обеспыливания в сочетании с электрофильтром и рукавным фильтром, включая статистическую информацию и соответствующие сравнительные временные периоды.

ТАБЛИЦА 3.18 ДОСТИГАЕМЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫБРОСОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ НА ПЯТИ АГЛОФАБРИКАХ В ЕС

Параметр	Уровень выбросов	Перцентиль		Единица	Сравнительный период времени
		5%	95%		
Пыль	0,73 – 15			мг/нм3	DAV
	0,9 (1)	0,81	4		DAV
CO2	1000			мг/нм3	AAV
NOx	48 – 290			мг/нм3	DAV
	240(1)	230	260		DAV
SOx	495			мг/нм3	NA
	455	399	498		DAV
	263(1)				DAV
HF	0,34			мг/нм3	AAV
	0,2(1)				DAV
HCl			3	мг/нм3	HHAV
	0,31 - 3				NA
	2(1)	<12	4		HHAV
Cd	0,0003			мг/нм3	AAV
	0,013				AAV
	<0,002(1)				HHAV
As	<0,001			мг/нм3	AAV
As, Ni,	0,0006			мг/нм3	AAV
	<0,002(1)				HHAV
Hg	0,01 – 0,075 (1) (2)			мг/нм3	DAV
					HHAV
Cr, V	<0,002(1)			мг/нм3	HHAV
	0,007(1)				HHAV
Pb	<0,001			мг/нм3	AAV
	<0,002(1)				AAV
Pb, Cr, Cu, Mn	0,005			мг/нм3	AAV
NMVOC	47 – 50			мг/нм3	AAV
	30(1)	22	33		HHAV
CH4	18,5(1)	15	21	мг/нм3	HHAV
PCDD/F	0,08 – 0,18			нг/нм3	AAV
	0,05(1)	0,044	0,0057		8HAV
BaP	0,1(1)			мкг/нм3	8HAV

(1) Рабочие характеристики с агломерационной ленты с использованием технологии MEROS (полномасштабная установка) (2) В зависимости от содержания ртути в рудах значения могут достигать 0,075 NA – отсутствуют данные AAV – среднегодовое значение DAV – среднесуточное значение HHAV – среднее почасовое значение 8HAV – среднее значение за 8 ч.

На рис. 3.17 показаны среднесуточные значения выбросов пыли от одной агломерационной ленты, оснащенной рукавным фильтром (с января 2008 по октябрь 2009 г.)

Применение рукавных фильтров повышает степень рециклинга отходов, содержащих диоксины и тяжелые металлы. Есть пример, когда количество подвсвгнутой рециклингу пыли из доменного газа возросло с 6000 т до 39000 т в год [183].

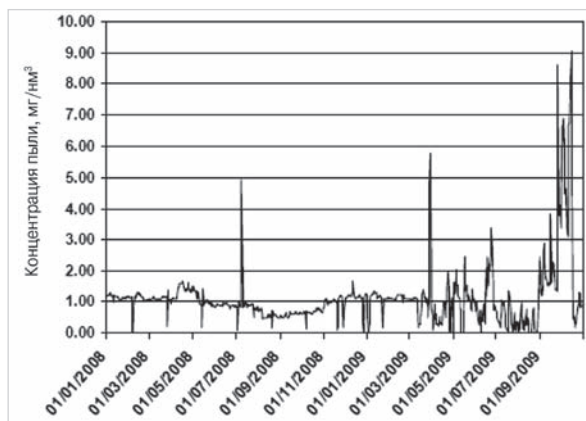


Рис. 3.17 Ежесуточные средние значения выбросов пыли с одной агломерационной ленты, оснащенной рукавным фильтром, в период с января 2008 по октябрь 2009 г. [380]

Взаимодействия между средами

Применение рукавных фильтров связано с образованием потока твердых отходов в процессе очистки (от 0,5 до 1 кг/т агломерата), которые предпочтительно вторично использовать в процессе спекания. В некоторых случаях в собранной пыли содержатся нежелательные соединения (например, цинк, свинец, щелочи), затрудняющие процесс рециклинга. В такой ситуации собранная пыль должна удаляться для дальнейшей переработки или депонирования.

На агломерационной установке компании ArcelorMittal в Бремене, Германия, которая работает без десульфуризации, собранная пыль и добавки из рукавного фильтра полностью возвращаются на агломерационную ленту, где PCDD/F разрушаются во фронте горения. Пыль, собранная на аглофабрике компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Донавиц, Австрия, должна депонироваться вследствие того, что в ней содержатся значительные количества серы, хлоридов, фторидов и щелочных металлов. Пыль, собранная в электрофильтре (используемом только как устройство для предварительного обеспыливания), подвергается рециклингу или депонированию в зависимости от содержания в ней хлоридов щелочных металлов.

Использование рукавного фильтра требует установки новых вспомогательных вентиляторов. Потребность в дополнительной электроэнергии, включая

вентиляторы, нагревательные устройства, двигатели и вспомогательные системы, составляет приблизительно 1,5 кВт-ч/1000 нм³/ч, по сравнению с 1,0 кВт-ч/1000 нм³/ч, когда используется только один электрофильтр.

Эксплуатационные данные

Рециркуляция твердых частиц внутри системы для образования фильтрующего слоя на поверхности рукавных фильтров используется для повышения эффективности обеспыливания и повышения срока службы фильтров.

Материал рукавного фильтра с длительным сроком службы – важный аспект этой технологии. Различные типы тканевых материалов фильтров с особым качеством могут использоваться для достижения баланса между эффективностью очистки, сроком службы и затратами (см. табл. 3.22).

Количество вдуваемых добавок активированного углерода или буроугольного кокса зависит от площади их эффективной адсорбирующей поверхности. Активированный уголь имеет самую высокую удельную свободную поверхность и демонстрирует очень хороший адсорбирующий эффект. Активированный буроугольный кокс является более экономичной альтернативой активированному коксу и тонко измельченному буроугольному коксу с диаметром частиц 0,024 мм и демонстрирует очень высокую адсорбционную эффективность. Это способствует тому, что для вдувания необходима только половина дозы, используемой в случае стандартного буроугольного кокса [367]. Иногда должны быть добавлены инертные материалы в инжектируемые материалы на углеродной основе для предотвращения воспламенения. В табл. 3.19 приведены характеристики различных адсорбентов и абсорбирующих материалов.

ТАБЛИЦА 3.19 ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗНЫХ АДСОРБИРУЮЩИХ И АБСОРБИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ [59]В

Адсорбирующие и абсорбирующие материалы		Размер зерен, мм	Площадь поверхности BET(1), м ² /г	Нормативные загрязняющие вещества
Известь	CaO	12	1 - 3	HCl, HF, SO ₂
Гашеная известь	Ca (OH) ₂	<8	15 - 45	
Бикарбонат натрия	NaHCO ₃		NA	
Стандартный порошкообразный активированный буроугольный кокс	Углерод	0,0063	300 - 400	Органические соединения, тяжелые металлы
Тонко измельченный активированный буроугольный кокс	Углерод	0,024	1200	
Порошкообразный активированный уголь (древесный)	Углерод		500 - 1600	
Цеолит	Z		4 – 90	

(1) BET – удельная поверхность, определяемая по методу Брюнэра – Эммета – Теллера с помощью сорбции азота.

NA – данные отсутствуют.

Для достижения эффективной адсорбции PCDD/F необходимо обеспечить

высокую скорость распределения углеродных добавок по сечению газотока. После вдувания начинаются процессы абсорбции и адсорбции в газотоках, которые продолжаются в отфильтрованной осадке. Углеродные добавки вместе с пылью собираются в рукавном фильтре и удаляются из фильтра обычным способом. Значительная часть пыли и добавок возвращается в поток отходящих газов; остальная часть удаляется из системы для депонирования. В некоторых случаях удаляемые пыль и добавки полностью возвращаются на агломерационную ленту, где PCDD/F разрушается во фронте горения.

В табл. 3.20 показано сравнение эксплуатационных параметров при использовании бикарбоната натрия и гашеной извести.

ТАБЛИЦА 3.20 ТИПИЧНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИКАРБОНАТА НАТРИЯ И ГАШЕНОЙ ИЗВЕСТИ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВОК [277] И [294]

Параметр	Бикарбонат натрия	Гашеная известь
Стехиометрический коэффициент	1,1 – 1,4	2 – 4
Отходы (1), %	60 – 70	100
Затраты на реагенты(1), %	140 – 210	100
DeNO _x (если требуется) (2)	Меньше топлива для нагрева газа	Больше топлива для нагрева газа
Температуры газа на выходе, °C	Такая же, как и на входе	90 – 100

(1) Относительные значения в случае использования гашеной извести.

(2) DeNO_x – денитрификация дымовых газов (удаления оксидов азота).

При инъекции воды температура отходящих газов снижается и возрастает эффективность удаления кислых загрязняющих веществ. В современных технологиях рукавных фильтров имеются системы, которые снижают температуру дымовых газов до 120 или даже до 80°C иногда с помощью впрыска воды в реакционную камеру, либо косвенно с помощью кондиционирования рециркулируемых частиц с водой. Только что измельченный бикарбонат натрия вдувается в газоток дымовых газов при температуре 140°C. При использовании гашеной извести требуется больше энергии для подогрева газа.

Использование конкретных добавок (например, гашеной извести, бурого угольного кокса, бикарбоната натрия) диктуется экологическими требованиями. Бикарбонат натрия используется, когда требуется более высокая десульфуризация или система DeNO_x. Добавки хранятся в бункерах, а бикарбонат натрия измельчается перед вдуванием.

Для того чтобы повысить эффективность очистки газа и значительно снизить затраты на добавки, большая часть пыли, собираемой в рукавном фильтре, возвращается в поток отходящих газов перед реактором кондиционирования. Непрореагировавшие адсорбенты снова вступают в контакт с отходящими газами, таким образом, повышается эффективность работы адсорбента и снижаются затраты на расходные материалы. Продукты реакции и пыль обычно депонируются под землей вследствие мелких размеров зерна.

Если углерод используется для обеспечения дополнительного снижения выбросов PCDD/F, особое внимание должно уделяться риску возгорания фильтра. Может быть установлено оборудование для обнаружения наличия искры,

и при необходимости, следует пропускать поток газа по байпасу. Это обычно делается в течение пуска/останова агломерационной ленты.

Рукавные фильтры разделяются на фильтрующие рукава и подразделяются на различные камеры. Когда элемент рукавного фильтра выходит из строя, должна быть отключена только соответствующая камера для замены фильтрующего элемента.

Применимость

Рукавный фильтр можно рассматривать как технологию очистки в конце производственного процесса, которая может применяться как для новых, так и для существующих установок. Для существующих установок важными могут быть такие требования как место для размещения установки после электрофильтра. Особое внимание следует уделять сроку службы и параметрам используемого электрофильтра.

Экономика

При оценке затрат на рукавный фильтр с установкой инъекции в поток различных добавок следует иметь в виду, что эти установки используются не только для отделения пыли, но также и для снижения выбросов PCDD/F, тяжелых металлов и кислых газов, таких как HF, HCl и SO₂. Инвестиции находятся в диапазоне от 16 до 35 евро/нм³/ч (для новых и существующих установок).

Решающими факторами, влияющими на затраты, являются падение давления, расход отходящих газов, материал ткани и нагрузка на фильтр. Эксплуатационные затраты составляют около 0,3 – 0,6 евро/т агломерата, и в большинстве случаев зависят от затрат на поставляемые активированный уголь и известняк и дополнительной энергии. Примеры затрат, а также эксплуатационные и экономические показатели рукавных фильтров на агломерационных установках приведены в табл. 3.21 и 3.22.

ТАБЛИЦА 3.21 ЗАТРАТЫ НА РУКАВНЫЕ ФИЛЬТРЫ, УСТАНОВЛЕННЫЕ НА АГЛОФАБРИКАХ [200], [249], [252], [260], [272], [296], [309]

Агломерационная установка	Экономические характеристики	Затраты, евро	Комментарии
ArcelorMittal, Бремен Германия	Капитальные затраты	6,5 млн евро в 1992 г. (3,6 евро/т агломерата в 1992 г.) 16,25 евро/нм ³ /ч	Дополнительная инъекция углерода; объем отходящих газов: 0,4 млн нм ³ /ч
Voestalpine Stahl GmbH, Донавиц, Австрия	То же	Общее количество 9,3 млн евро в 2002 г. (6 евро/т агломерата в 2002 г.) Рукавный фильтр 6,5 млн евро (4,17 евро/т агломерата) 29 евро/нм ³ /ч в 2002 г.	Рукавный фильтр после электрофильтра; с общим объемом отходящих газов 0,32 млн нм ³ /ч в 2008 г.
	Эксплуатационные затраты, например: • размещение отходов • потребность в энергии • амортизационные расходы	1,6 – 1,8 евро/т агломерата в 2008 г. 0,5-0,7 евро/т агломерата в 2008 г. 0,4 евро/т агломерата в 2008 г. 0,3 евро/т агломерата в 2008 г.	
Агломерационная установка	Экономические характеристики	Затраты, евро	Комментарии

ArcelorMittal, Фос-сюр-Мер, Франция	Капитальные затраты	Итого 16 млн т евро (2 евро/т агломерата с учетом общего производства; 4,8 евро/т агломерата с учетом масштаба установки – 50% расхода) 21 евро/нм3/ч Все данные за 2005 г.	В проекте три параллельных рукавных фильтра. Объем отходящих газов: 1,4 млн нм3/ч. Однако только 50% отходящих газов очищается с помощью рукавного фильтра (700000 нм3/ч)
Rogesa, Диллинген, Германия (Система очистки дымовых газов на установке № 2 в Диллингене все еще находится в режиме опытной эксплуатации)	Капитальные затраты	Около 22 млн евро 20 нм3/ч Данные за 2006 г., и они не охватывают некоторые необходимые последующие затраты для модификации и оптимизации	Рукавный фильтр с рециркуляцией инжестируемой извести и активированного бурого угольного кокса; объем отходящих газов 0,6 млн нм3/ч

В странах ЕС затраты на депонирование фильтровальной пыли от спекания могут быть весьма значительными.

ТАБЛИЦА 3.22 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РУКАВНЫХ ФИЛЬТРОВ НА АГЛОМЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

Показатели		Единица	Arcelor-Mittal, Бремен, Германия	Voestalpine, Донавиц, Австрия	Voestalpine, Линц, Австрия	DK Recycling, Дуйсбург, Германия (1)	Arcelor-Mittal, Фос-сюр-Мер, Франция
Производительность по агломерату	Проект	т агломерата/ч		NA			21000 т/сут
	Реальное		325	177		59	
Расход отходящих газов	Проект	млн нм3/ч	0,58	NA			
	Реальное		0,49	0,32		0,28	
Предварительное обеспыливание			Сухой ESP (два поля)	Сухой ESP (три поля)		Предварительное обеспыливание ESP, вдувание гашеной извести и бурого угольного кокса, рукавный фильтр	
Пыль	Вход	мг/нм3	Около 211-267	150-250			80
	Выход	мг/нм3	1-15	<3	<2	<0,5	<10
	КПД	%	>98,5	>98,5			
Удаление диоксинов	Вход	нг I-TEQ/нм3	0,64 – 0,91	Около 0,4			
	Выход	нг I-TEQ/нм3	0,07 – 0,11	<0,1	<0,05	0,23	<0,1
	КПД	%	90	>90			
Удаление HCl	Вход	мг/нм3		Макс. 100			
	Выход	мг/нм3	2,6 – 3,6	10			
	КПД	%		Около 90	<1	<0,4 – 1,4	

Показатели		Единица	Arcelor-Mittal, Бремен, Германия		Voes-talpine, Донавиц, Австрия	Voes-talpine, Линц, Австрия	DK Recycling, Дуйсбург, Германия (1)	Arcelor-Mittal, Фос-сюр-Мер, Франция
Удаление HF	Вход	мг/нм3			7,4			
	Выход	мг/нм3	0,57 – 0,60		<0,2	<0,2	<0,40	
	КПД	%			Около 95			
Удаление SO2	Вход	мг/нм3			700			
	Выход	мг/нм3	500		380	263	399,8	<225
	КПД	%			45			
Удаление тяжелых металлов	КПД	мг/нм3	После ESP: Al:0,2 As:0,009 Cd:0,076 Cr:0,01 Cu:0,93 Hg:0,013 Ni:0,01 Pb:13,4 Zn:0,41	После фильтра: Al: 0,04 As:0,0003 Cd:0,001 Cr:0,003 Cu:0,003 Hg:0,0013 Ni:0,006 Pb:0,02 Zn:0,12	NA	Cd: <0,002 Ni: <0,002 Pb: <0,002	Cd: <0,001 Ni: <0,002 Pb, Cr, Cu, Mn <0,02 - <0,05	
Добавки		мг/нм3	Гашеная известь около 450 Порошок бурогоугольного кокса около 100		Ca(OH)2: около 1500 Активированный бурогоугольный кокс: около 100		Ca (OH)2 Бурогоугольный кокс	Активированный углерод
Отходы	Образование	кг/т агломерата	Около 1		Около 2,5		9,7	
	Повторное использование		Возврат на аглофабрику					
Тип ткани			Nomex®, Rastex®		Nomex®		PTEF	Aramid
Тип очистки			Пульсирующая струя		Пульсирующая струя		Пульсирующий поток воздуха	
Падение давления		мм вод. Ст.	150		Около 150		170	
Инвестиции (2)	млн евро		Рукавный фильтр: 7,3 (в 1993 г.) Устройство дозирования добавок: 1,1		Рукавный фильтр: 6,5 (в 2002 г.) Общая система: 9,3		10,5	
Эксплуатационные затраты (2)	евро/т агломерата		Энергия: 0,11 (в 1996 г.) Прочее: сильная зависимость от типа времени работы рукавного фильтра		1,6 – 1,8		3,32	

(1) Данные за 2008 г. (2) Для всех примеров валюта была конвертирована в ЭКЮ в 1996 г., а для проверки в евро. Примечание. NA – данные отсутствуют.

Мотивация для внедрения

Агломерационные установки являются основным источником выбросов пыли и диоксинов/фуранов на металлургических заводах с полным циклом. Движущими силами для внедрения могут быть соблюдение предписанных предельных значений выбросов для пыли, тяжелых металлов и PCDD/F, снижение уровня национальных норм выбросов в соответствии с национальными и международными правилами, природоохранным статусом. А в случае установки компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия – повышение экономических показателей по сравнению с системой AIRFINE.

В соответствии с Базельской конвенцией и соответствующим Регламентом (ЕС) № 850/2004, относящимся к обращению с материалами отходов, содержащими стойкие органические загрязнители (POP), который был заменен Регламентом (ЕС) № 304/49/ЕС, трансграничные перемещения отходов типа фильтровальной пыли, содержащей железо, или шламов для целей рециклинга разрешаются только тогда, когда принимающие объекты соответствуют ELV для PCDD/F 0,1 нг I-TEQ/мЗ.

Пример установок

Рукавные фильтры применяются в процессе спекания агломерата для обеспыливания отходящих газов с начала 1990-х гг. В Европе количество агломерационных установок с очисткой дымовых газов рукавными фильтрами возросло с 2002 г. и в настоящее время включает следующие предприятия:

- ArcelorMittal, Бремен, Германия с 1992 г.;
- DK Recycling, Дуйсбург, Германия;
- Voestalpine Stahl GmbH, Донавиц, Австрия. Эта установка для очистки отходящих газов в эксплуатации с 2002 г., с производительностью 400000 мЗ/ч;
- Voestalpine Stahl GmbH, Линц, Австрия. Полномасштабная установка MEROS в эксплуатации с августа 2007 г. и заменила систему AIRFINE;
- ArcelorMittal, Фос-сюр-Мер, Франция. Промышленная эксплуатация продолжается с 2006 г. Производство составляет 21000 т/сут. Система рукавного фильтра использует гашеную известь в качестве адсорбента при производительности 700000 мЗ/ч отходящих газов (50% от общего расхода отходящих газов);
- Rogesa, Диллинген, Германия. Система очистки отходящих газов аглофабрики с производительностью 600000 мЗ/ч использует рукавный фильтр после электрофильтра, находится в опытной эксплуатации с 2009 г. В системе также перед рукавным фильтром вдувается гашеная известь и активированный буругольный кокс. Для второй агломерационной ленты была сдана в эксплуатацию еще одна установка с производительностью 900000 мЗ/ч.

В США, по крайней мере, на трех агломерационных установках происходит очистка отходящих газов в рукавных фильтрах:

- Inland Steel, East Chicago;
- Warren Consolidated Industries (WSC), Youngstown Sinter Company, Warren, Ohio;

- US Steel, Gary Works, Gary, Indiana.

Для следующих трех предприятий установки рукавных фильтров запланированы или сданы в эксплуатацию:

- Thyssen Krupp Stahl, Дуйсбург, Германия – объявила о модернизации всех трех агломерационных установок с рукавными фильтрами после существующих электрофильтров с завершением в 2011 г.;
- Saizgitter AG, Saizgitter, Германия. Система очистки отходящих газов после агломерационной ленты с производительностью 680000 $\text{нм}^3/\text{ч}$ с рукавным фильтром после электрофильтра была сдана в эксплуатацию;
- Группа Corus, Эймейден, Нидерланды, проводит испытания рукавных фильтров с 2009 г. В зависимости от результатов одна из трех агломерационных лент должна была быть оснащена полномасштабным рукавным фильтром в 2010 г., а две других ленты будут модернизированы с установкой рукавных фильтров в 2013 г.

Справочная литература: [217], [294], [295], [298], [244], [252], [277], [382]

3.3.2.3 Циклоны

Циклоны являются устройствами для предварительной очистки, или они используются для защиты уязвимого последующего оборудования (например, улавливание горящих частиц), но в Европе они никогда не использовались в качестве автономных устройств для очистки отходящих газов в процессе спекания. Циклоны отделяют пыль с помощью центробежных сил. Так как они основаны на силе инерции, циклоны являются эффективным устройством для борьбы с выбросами только в том случае, когда пыль является относительно крупной. Мультициклон использует тот же самый принцип с помощью параллельных серий циклонов, таким образом, достигая большей эффективности. Циклоны иногда используются на агломерационных установках в качестве промежуточного устройства для очистки газа с целью защиты оборудования (например, газоходы и вентиляторы) от абразивного воздействия пыли, находящейся в отходящих газах.

Достижимые экологические выгоды

Для частиц размером >10 $\mu\text{м}$ эффективность очистки достигает 90 – 95% при использовании мультициклона. Однако вследствие относительно небольшого размера частиц пыли в отходящих газах на агломерационной установке эффективность очистки принимается в 60 – 80%. Таким образом, концентрации на выходе от агломерационных установок будут составлять от 300 до 600 $\text{мг}/\text{нм}^3$, в зависимости от концентрации на входе и распределения частиц по размерам.

Взаимодействия между средами

Небольшое падение давления (0,5 кПа) приводит к росту потребления энергии насосами-асpirаторами отходящих газов приблизительно на 200 кВт установленной мощности для агломерационной установки с расходом отходящих газов 1 млн $\text{нм}^3/\text{ч}$ и с производительностью 4 млн т агломерата в год. Это эк-

вивалентно 1 МДж/т агломерата, или менее чем 0,1% потребления энергии на агломерационной установке. Кроме того, образуется поток твердых отходов, которые полностью возвращаются в процесс спекания.

Эксплуатационные данные

Циклоны работают безотказно в условиях износа и влажности, снижают концентрации пыли на агломерационных установках с эффективностью 60 – 80% в зависимости от удельного веса пыли. На заводе компании Corus в Эймейдене, Нидерланды концентрация на выходе была достигнута порядка 300 мг/нм³ с использованием мультициклона.

Применимость

Циклоны можно применять как на новых, так и на существующих установках.

Экономика

Инвестиции оценены в размере от 500 до 700 евро на 1000 нм³/ч. Для агломерационной установки с расходом отходящих газов 1 млн нм³/ч они составляют от 0,5 до 0,75 млн евро. Эксплуатационные затраты зависят от падения давления и, таким образом, затрат энергии. Упоминалось значение в диапазоне от 0,007 до 0,015 евро на 1000 нм³ очищаемого газа. Для агломерационной установки, упомянутой выше, это составляет от 60 до 127 тыс. евро в год, что соответствует 0,02 – 0,04 евро/т агломерата. Для всех примеров валюта была конвертирована в ЭКЮ в 1996 г. с переводом в евро.

Не передавались данные о мотивации для внедрения.

Пример установок

На многих агломерационных установках мира используются циклоны в качестве устройства для удаления крупной пыли. Например, Corus, Эймейден, Нидерланды; Wakamatsu/Yawata Works, Япония.

Справочная литература: [65], [310]

3.3.2.4 Мокрые золоуловители

В скруббере пыль в отходящих газах удаляется с помощью жидкости. Загрязненная жидкость удаляется из системы и обычно возвращается в нее после очистки. Твердые вещества, остающиеся в шламе, также подвергаются дальнейшей очистке.

Традиционные скрубберы (например, скрубберы Вентури, скрубберы с оросительной колонной) являются не эффективными, когда они применяются для отходящих газов агломерационной установки вследствие относительно малого размера частиц пыли и высокой концентрации углеводородов. Традиционные скрубберы не применяются на агломерационных установках в Европе.

Высокая эффективность скруббера (производимого под названием AIRFINE) отмечена при эксплуатации в Европе с 1993 г. (рис. 3.18).

Основные компоненты системы очистки газа:

- циклон или электростатический пылеуловитель (ESP) для удаления крупной пыли, которая вся может быть возвращена на агломерационную ленту;

- закалочный скруббер для охлаждения отходящих газов, удаления крупных частиц пыли и удаления кислых компонентов с помощью добавки NaOH;
- система газоочистки от тонкодисперсных частиц для отделения пыли и одновременной очистки газа;
- водоочистное сооружение для переработки остатков/отходов.

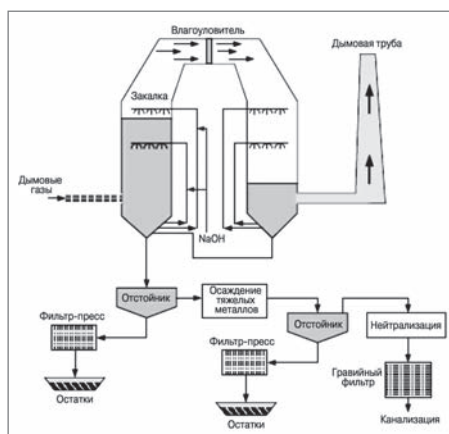


Рис. 3.18 Очистка дымовых газов на агломерационной установке с использованием системы AIRFINE (процесс мокрой газоочистки)

При операции закалки вода, дозируемая с NaOH, распыляется на поверхность скруббера. В системе газоочистки от тонкодисперсных частиц применяется двухструйное сопло с водой и сжатым воздухом, распыление осуществляется в виде тумана под высоким давлением в охлаждаемый поток отходящих газов.

Скруббер AIRFINE позволяет одновременно удалять мельчайшие частицы пыли (включая хлориды щелочных и тяжелых металлов) и вредные компоненты отходящих газов. Последние (например, PCDD/F, тяжелые металлы) связываются главным образом с тонкодисперсной пылью. По сравнению с технологиями сухой газоочистки эта технология позволяет также удалять водорастворимые соединения, такие как хлориды щелочных металлов и хлориды тяжелых металлов. Когда такие щелочи как NaOH добавляются в скрубберную воду, можно достичь значительной степени удаления таких кислых компонентов как HF, HCl и SO₂. Следовательно, водные растворы, которые содержат соли щелочных и тяжелых металлов, очищаются с помощью осаждения/флокуляции.

Достигаемые экологические выгоды

Эксплуатационные данные для европейских агломерационных установок, использующих мокрые золоуловители, находятся в диапазоне от 40 до 80 мг/нм³ (среднегодовые значения). В табл. 3.23 представлены реальные эксплуатационные параметры, выраженные как среднегодовые для системы компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, с использованием системы AIRFINE.

ТАБЛИЦА 3.23. ДОСТИГАЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫБРОСОВ НА УСТАНОВКЕ КОМПАНИИ CORUS В ЭЙМЙЕНДЕНЕ, НИДЕРЛАНДЫ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ AIRFINE [200], [247]

Компонент	Концентрации выбросов, мг/м ³ (1)
Пыль	32,3 (2)
As	0,0003
Cd	0,09
Cr	0,025
Cu	0,032
Hg	0,0156
Ni	0,0065
Pb	3,75
Zn	0,64
HCl	0,48
HF	0,27
SO ₂	170
ЛОС	50
PCDD/F	0,18 нг I-TEQ/м ³

(1) Эти данные по выбросам соответствуют установке, на которой твердые частицы от очистки отходящих газов, возвращаются в шихту установки

(2) Это значение ниже, чем диапазон, указанный в тексте для одного скруббера AIRFINE. Приведенные в тексте значения выше табличных данных и относятся к общей работе агломерационной установки (когда скруббер AIRFINE работает в течение 95% времени). Все измерения осуществляются в режиме непрерывного мониторинга.

Технология эффективна также для очистки от PCDD/F. При нормальных условиях эксплуатации гарантируется уровень очистки 0,4 нг I-TEQ/м³, достигается 0,18 нг I-TEQ/м³, что соответствует эффективности >90% по отношению к концентрации на входе 2,5 – 3,0 нг I-TEQ/м³. Эта технология дает возможность снизить выбросы органических загрязняющих веществ, таких как PCDD/F вследствие эффективного удаления тонкодисперсной пыли (при рабочей температуре диоксиноподобные соединения конденсируются на пыли).

Добавки (активированный углерод) не учитываются при достижении этой величины. Кроме того, удаляется от 80 до 95% HCl и HF. Выбросы SO₂ можно снизить с высокой эффективностью, если имеется установка с инъекцией добавок (см. п. 3.3.2.7). Концентрации тяжелых металлов также эффективно снижаются (>90%) в результате их водорастворимости. Выбросы неполярных загрязняющих веществ, таких как PAH, также снижаются благодаря эффективной очистке от тонкодисперсной пыли.

Взаимодействия между средами

На установке компании Corus твердые отходы возвращались на агломерационную установку до 2008 г. С 2008 г. их стали депонировать на безопасном полигоне.

Соли свинца в отходящих газах негативно воздействуют на работу мокрых скрубберов (в особенности в случае тонкодисперсной пыли). Этого обычно удается избежать с помощью процедур обслуживания.

На установке компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, расход охлаждающей воды составляет 800 м³/ч, а сточных вод – 50 м³/ч. Этот поток загрязненных сточных вод можно очистить.

Концентрации выбросов от сточных вод и коэффициенты выбросов, достигнутые с помощью скруббера для очистки от тонкодисперсной пыли и предварительного фильтра для очистки от пыли (ESP), а также в результате последующей очистки (осаждение/флокуляция) на установке компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, приведены в табл. 3.24 (для данных за 2007 г. см. табл. 5.22)

ТАБЛИЦА 3.24 ДОСТИГАЕМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫБРОСОВ ДЛЯ ОЧИЩАЕМЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ МОКРОЙ ГАЗООЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ПЫЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА НА УСТАНОВКЕ КОМПАНИИ CORUS В ЭЙМЕЙДЕНЕ, НИДЕРЛАНДЫ [200], [311]

Компонент	Концентрация, мг/л
Расход очищенных сточных вод	50 (1)
pH	9 – 12
Взвешенные твердые	30
As	0,002 – 0,005
Cd	0,005 – 0,01
Cr	0,02 – 0,05
Cu	0,05 – 0,1
Hg	0,0001 – 0,0002
Ni	0,05 – 0,1
Pb	0,2 – 0,5
Zn	0,05 – 0,1
ХПК	250 – 350
Азот по Кьельдалю	250 – 350

(1) Среднегодовые значения, м³/ч

Примечание. Данные за 2004 г.

Сточные воды подвергаются дополнительной очистке на установке для биологической очистки (см. таб. 5.25, рис. 5.23 и рис. 5.24).

Эксплуатационные данные

Реальная эффективность очистки связана с поступающей энергией (сжатый воздух для системы автоматизации) и эксплуатационной эффективности закалочной части.

В табл. 3.25 приведены данные о потреблении электроэнергии и пылеулавливании.

ТАБЛИЦА 3.25. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ УСТАНОВКИ КОМПАНИИ CORUS В ЭЙМЕЙДЕНЕ [200], [311].

Параметр	Corus, Эймейден (2005)	Единицы
Потребление электроэнергии	250 – 350 12	МДж/т кВт·час/т
Улавливание грубой пыли (1)	250 – 350 (с циклонами)	мг/нм ³

(1) Достижимые значения на выходе после улавливания грубой пыли и перед скрубберами.

На установке компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, снижение выбросов достигнуто с помощью установки мокрого скруббера высокого давления. Например, выбросы PCDD/F и пыли снижаются приблизительно на 90%, а выбросы SO₂ – на 85%.

Однако вследствие проблем обслуживания, нарушений режима работы и периодов пуска/останова технически неизбежных остановок происходят отказы оборудования системы мокрого скруббера высокого давления. Одной из причин этих остановок является то, что сопла, установленные для надлежащего распределения воды и сжатого воздуха, забиваются сульфатом свинца. Этот процесс забивания будет оказывать негативное воздействие на эффективность работы установки, и, поэтому, сопла должны очищаться. Вследствие упомянутых причин система мокрой газоочистки шунтируется на период приблизительно 500 ч в год. Анализ показывает, что приблизительно 50% этого периода занимают операции обслуживания, а 50% связано с нарушениями технологического процесса. Поэтому выбросы в периоды работы байпаса (шунтирования) составляют значительную часть ежегодных выбросов с установок (для пыли приблизительно 50%, для SO₂ – приблизительно 15%).

Трудно или невозможно точно предсказать, какого уровня снижения выбросов в год можно достичь. Однако было оценено, что сокращение периода работы байпаса до 200 ч, может позволить уменьшить уровень выбросов приблизительно на 30 т/год по пыли и на 125 т/год по SO₂, а также значительно сократить выбросы PCDD/F и HF по отношению к общим годовым выбросам металлургического завода.

Применимость

Эта технология применима как к новым, так и к существующим установкам. Однако следует отметить, что остаточные очищенные сточные воды должны удаляться из очистных сооружений. Поэтому использование этих систем часто зависит от обращения с остаточными сточными водами, и, следовательно, от местонахождения агломерационной установки.

Экономика

В компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, инвестиции и затраты в инфраструктуру составили приблизительно 40 млн евро в 1997 г. Установка находилась в эксплуатации с мая 1998 г. и с этого времени было очищено в общей сложности 630 тыс. нм³/ч отходящих газов с трех агломерационных лент. Для данного примера валюта была переведена в ЭКЮ 1997 г. с последующим переводом в евро.

Реальные затраты могут значительно варьироваться в зависимости от установки и местных требований по очистке сточных вод.

Данные не приведены о мотивации для внедрения.

Пример установок

В Европе технология скруббера AIRFINE применялась на двух агломерационных установках: компании Voestalpine в г. Линц, Австрия, (эксплуатация в 1993 г.) и компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, (эксплуатация в 1998 г.).

Скруббер AIRFINE компании Voestalpine в г. Линц, Австрия, был заменен рукавным фильтром в августе 2007 г. Третья установка находится в эксплуатации в компании BHP (крупнейшей в мире горнодобывающей компанией) в г. Уайалла (Whyalla), Австралия, на оборудовании для получения окатышей.

В отношении рукавных фильтров государственный совет Нидерландов в Гааге заключил соглашение между компетентным органом (провинцией Северная Голландия), компанией Cogus и государственной инспекцией по окружающей среде. В соответствии с этим соглашением строительство рукавного фильтра в конце линии очистки первой из трех агломерационных лент начато в декабре 2010 г. Это будет первая крупномасштабная установка, предназначенная для испытаний, адаптации и улучшения характеристик установки. К 2015 г. все три установки должны быть оснащены рукавными фильтрами.

Справочная литература: [45], [247], [248], [249], [295], [311]

3.3.2.5 Снижение выбросов летучих органических соединений (ЛОС)

Снижение содержания летучих углеводородов в агломерационной шихте

Поступление углеводородов может быть минимизировано, в особенности с помощью снижения нефтепродуктов в поступающем сырье. Эти нефтепродукты поступают в агломерационную шихту главным образом в виде добавок прокатной окалины. Содержание нефтепродуктов в прокатной окалине может значительно варьироваться, в зависимости от ее происхождения. Иногда содержание нефтепродуктов доходит до 10%, но в таких случаях использование окалины на агломерационных установках обычно не происходит без предварительной обработки.

Большая часть таких углеводородов испаряется из агломерационной смеси при температурах от 100 до 800°C, и они удаляются с агломерационной установки с отходящими газами.

Можно применить несколько технологий для минимизации поступления нефтепродуктов и прокатной окалины в газоходы, включая следующие:

1). Ограничение поступления нефтепродуктов с помощью разделения и последующего отбора загрязненной пыли и прокатной окалины с низким содержанием нефтепродуктов.

2). Использование способов “рационального ведения технологического процесса” на прокатных станах, что может привести к существенному снижению содержания нефтепродуктов в прокатной окалине с помощью:

а) нагрева прокатной окалины приблизительно до 800°C, когда углеводороды испаряются, и получается чистая прокатная окалина. Летучие углеводороды можно сжигать;

б) удаления масел из прокатной окалины с использованием растворителя.

Достигаемые экологические выгоды

Можно достичь концентрации не метановых летучих органических соединений (NMVOC) <20 мг/м³ (среднегодовое значение). Выбросы могут быть зна-

чительно выше, если не будут приняты меры предосторожности для снижения содержания масла в шихте для агломерата, или в результате используемого топлива. Повышенные уровни выбросов характерны для установок, работающих только с электрофильтрами как основной системой снижения выбросов в конце технологического процесса.

Взаимодействия между средами

Когда отходы, в которых содержится железо, бракуются в качестве шихты для агломерационной установки, они либо перерабатываются другим способом, либо депонируются. Таким образом, отходы фактически могут перейти на другой участок.

При термическом удалении масла из прокатной окалины дополнительно потребляется энергия. Летучие углеводороды при этом должны удаляться.

Эксплуатационные данные

Предпочтительно низкое содержание масла (нефтепродуктов) в пыли и остатках прокатной окалины. Это необходимо для предотвращения пожаров и образования окалины в электрофильтре или забивания в рукавном фильтре. Высокое содержание масла повышает вероятность образования PCDD/F (см. п. 3.2.2.1). Снижение содержания масла обычно приводит к снижению выбросов ЛОС.

Применимость

Снижение выбросов ЛОС может происходить как на новых, так и на работающих установках.

Экономика

Не имеется данных в отношении удаления масла.

Данные не приведены о Мотивации для внедрения.

Пример установок

На многих установках регулируется поступление масел с отходами, в которых содержится железо, в особенности тех, где имеется ESP или рукавный фильтр.

Несколько установок для удаления масла с прокатной окалины эксплуатировались в опытном режиме в конце 1990-х гг. в Германии, но они все прекратили работать. Таким образом, технологии переработки не используются в коммерческом масштабе в металлургической промышленности ЕС в настоящее время.

Справочная литература: [45], [65], [145], [242], [303], [387]

Спекание поверхностного слоя шихты

В п. 3.3.4 описан возврат материалов, в которых содержится железо, на агломерационную ленту. Что касается возвращаемых материалов, в которых содержатся углеводороды, в особенности масло, то в п. 3.3.2.5 описаны технологии для снижения уровня их поступления. Имеется также возможность рециклинга таких материалов с повышенным содержанием масла при условии, что содержание масла в общей смеси не будет превышать 3%. Этот метод называется “спекание верхнего слоя шихты”, и считается, что это намного дешевле по сравнению со способами удаления масла. При спе-

кании верхнего слоя смесь из побочных продуктов/остатков, содержащая масла и углеводороды, кондиционируется до содержания влаги приблизительно в 7%, а затем осаждается в барабане подачи на основном слое агломерата. Используется второе зажигательное устройство агломерационной машины с потребляемой мощностью от 25 до 35% от энергии, потребляемой главной горелкой, для воспламенения подповерхностного слоя. Для достижения высокого качества агломерата в подповерхностном слое побочных продуктов, содержащих масла, важно поддерживать баланс выбранных энергоносителей в этом слое, чтобы были выполнены требования энтальпии испарения воды и масла, а также условия для разрушения собственных органических компонентов и полного спекания этого слоя. В дополнение к этой тщательной пропорции компонентов агломерационной шихты решающее значение имеет точное позиционирование и выбор времени поджигания подповерхностного спекаемого слоя.

Достижимые экологические выгоды

Удаление углеводородов (получающихся главным образом в связи с наличием масла в рециклируемых материалах) в спекаемых слоях оптимизируется, для того чтобы защитить электрофильтр (от возгораний) и для предотвращения голубой дымки (которая является признаком неполного сжигания органических компонентов). Кроме того, можно снизить выбросы PCDD/F; пробные испытания продемонстрировали снижение на 60-65%, но не имеется данных с агломерационных лент.

Взаимодействия между средами

Необходимо наличие дополнительного топлива для розжига второго слоя.

Эксплуатационные данные

Агломерационная лента компании Voestalpine Stahl GmbH в Австрии имеет производительность 35 т/м²/сутки. После внедрения технологии спекания верхнего слоя в январе 1995 г. производительность не изменилась. Мощности для рециклинга производственных отходов, содержащих железо, составляют 18 т/ч.

Применимость

Имеется ограниченная применимость для существующих установок вследствие недостатка места для объектов дополнительного хранения и для системы вторичного сырья. Новые установки должны обычно стремиться к технологиям, минимизирующим поступление углеводородов в рециклируемые побочные продукты. Гибкость в выборе сырьевых материалов очень ограничена.

Данные не передавались о экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

В Европе эта технология применена на агломерационной установке компании Voestalpine в г. Донавиц, Австрия, но в период написания справочника (2010 г.) она не работала.

Справочная литература: [159].

3.3.2.6 Снижение выбросов PCDD/F

Подавление образования PCDD/F с помощью добавки соединений азота в спекаемую смесь

Образование PCDD/F можно подавить с помощью добавки веществ, которые оказывают ингибирующее воздействие на образование PCDD/F. Предполагают, что такие вещества образуются главным образом в самом агломерате. В этом случае эффективный метод для снижения образования PCDD/F связан с добавкой азотных соединений к твердой спекаемой смеси для замедления каталитических реакций на соответствующих поверхностях. По этой причине были проведены испытания с добавкой триэтаноламином (TEA), моноэтаноламином (MEA) или мочевины на различных агломерационных установках. Добавка крупнозернистой мочевины к спекаемой шихте перед смесителем и (или) окомкователем применялась в полном промышленном масштабе на нескольких установках. Крупнозернистая мочевина при этом равномерно распределяется по всей сырьевой смеси перед подачей на ленту.

Достижимые экологические выгоды

На установке компании Cogus в Порт-Талбот, Соединенное Королевство, удалось достичь показателей по выбросам PCDD/F при использовании добавки мочевины в 1 нг I-TEQ/м³ при 17% остаточного кислорода в оптимальных условиях. Обычно концентрация выбросов диоксинов снижается только на 40 – 60% на агломерационных установках с использованием только электрофилтра в качестве системы подавления выбросов в конце технологического процесса. Использование мочевины минимизирует также выбросы хлорида водорода и фторида водорода.

Взаимодействия между средами

Добавка мочевины имеет определенные недостатки:

- возможность негативного воздействия на показатели очистки от пыли с помощью ESP;
- факел продуктов сгорания с агломерационной установки становится видимым, что приводит к жалобам населения;
- использование мочевины приводит к выбросам аммиака;
- выбросы пыли и микро загрязняющих веществ в действительности возрастают вследствие сочетания некоторых факторов, упомянутых выше.

Эксплуатационные данные

Управление и распределение крупнозернистой мочевины может вызывать некоторые проблемы, характерные для материала (гигроскопичного по своей природе). Есть пример, когда добавляли 40 кг мочевины/ч к 0,12 кг/т промышленного агломерата.

Применимость

Технология может применяться на существующих установках и может в равной степени вводиться в проекты для новой установки.

Экономика

Отмечаются относительно низкие капиталовложения и низкие эксплуатационные затраты для применения этой технологии. Капиталовложения для агломерационной установки с производительностью 4 млн т/год агломерата составляют приблизительно 700 тыс. евро (кирпичное укрытие, бункер для хранения с регулированием влажности, оборудование для дозирования и контроля). Эксплуатационные затраты составляют около 0,08-0,14 евро/т агломерата (в ценах 2004 г. в Соединенном Королевстве, при соотношении 1 фунт стерлингов = 1,44 евро).

Альтернативная, более простая система также была применена для установки близкой производительности с затратами около 145 тыс. евро, а ожидаемые эксплуатационные затраты должны составить от 0,05 до 0,07 евро/т агломерата (в ценах 2007 г. в Соединенном Королевстве, при соотношении 1 фунт стерлингов = 1,45 евро).

Мотивация для внедрения

Мотивацией для внедрения этой технологии является снижение выбросов диоксинов.

Пример установок

Предварительные испытания с системой временного дозирования мочевины на бывшей установке компании Corus в г. Лланверн, Соединенное Королевство (Уэльс) в 1996-98 гг. привели к появлению патентной заявки в 1998 г. Применимость технологии была продемонстрирована дальнейшими испытаниями на агломерационной установке компании Corus в г. Скантирп, Соединенное Королевство в 2000-2001 гг. Была установлена система непрерывного дозирования в Порт-Талбот, Соединенное Королевство, где в 2003-2004 гг. проводились долгосрочные испытания. Технология применена на постоянной основе на двух агломерационных установках компании Corus в г. Скантирп и Тисайд в 2007 г.

Испытания с добавками мочевины, MEA и TEA были проведены в 1999 и 2001 г. компанией ArcelorMittal в г. Генте, Бельгия и в 2008 г. группой компаний Riva в Таранто, Италия, где промышленная установка для хранения и дозирования мочевины была введена в эксплуатацию в 2009 г.

Справочная литература: [140], [230], [265], [306].

3.3.2.7 Снижение выбросов SO₂

Основные меры для снижения выбросов SO₂ от процесса спекания

Выбросы SO₂ от спекания могут быть снижены четырьмя способами:

- использованием сырья с низким содержанием серы;
- минимизацией потребления топлива, главным образом коксовой мелочи;
- повышением поглощения серы агломератом;
- использованием более крупных кусков кокса.

Соединения серы поступают в процесс спекания главным образом с коксовой мелочью и в меньшей степени с рудами. Выбросы SO₂ можно уменьшить с помощью использования сырья с низким содержанием серы. Можно считать содержание серы ≤0,8% в коксовой мелочи и ≤0,08% в железных рудах как низ-

кое, и они хорошо коррелируются с пониженными выбросами SO_2 .

Удельное потребление коксовой мелочи на агломерационных установках ЕС было снижено за последние 30 лет приблизительно на 50% – до нынешнего уровня 39 – 64 кг/т агломерата.

Еще одним важным фактором является степень поглощения серы агломератом. Сера остается частично в спекаемом продукте. Ее содержание составляет порядка 13 – 25% в зависимости от основности агломерата. Кроме того, использование более крупных кусков кокса может привести к значительному снижению выбросов SO_2 (см. п. 3.2.2.1).

Достижимые экологические выгоды

Можно достичь среднесуточных значений концентрации выбросов $<500 \text{ мг SO}_2/\text{нм}^3$.

Взаимодействия между средами

Сохранение дополнительной серы в агломерате может оказать негативное воздействие на работу доменной печи, когда требуется чугун с низким содержанием серы.

Эксплуатационные данные

Не известны конкретные проблемы. Установки работают без сбоев.

Применимость

Минимизация поступления серы в шихту агломерата (использование коксовой мелочи с низким содержанием серы, железной руды такого же типа и минимизация удельного потребления коксовой мелочи) может применяться как к новым, так и к существующим установкам. Однако следует отметить, что ограничением может быть доступность коксовой мелочи и руды с низким содержанием серы.

Данные не передавались о экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

ArcelorMittal, Гент, Бельгия; агломерационные установки компании Corus, Соединенное Королевство; Thyssen Krupp Stahl, Дуйсбург, Германия; группа компаний Riva, Таранто, Италия. Имеются установки и за пределами ЕС.

Справочная литература: [7], [304].

Мокрая десульфуризация

Существуют процессы мокрой и сухой десульфуризации, но здесь рассматривается только мокрая система. После охлаждения отходящих газов SO_2 абсорбируется в оросительной колонне с применением раствора, содержащего Ca или Mg. При этом образуется гипс (CaSO_4) или сульфат магния (MgSO_4), которые удаляются из колонны как шлак. Можно применять несколько реагирующих агентов:

- металлосодержащий шлак (шлак от процесса десульфуризации – SSD). Металлосодержащий шлак, в котором содержится 30 – 40% CaO, измельчается, смешивается с водой и добавляется в качестве суспензии, в которой содержится $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- гашеная известь – $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- хлорид кальция (CaCl_2) и гашеная известь – $\text{Ca}(\text{OH})_2$;

- гашеная известь – $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и мел (CaCO_3);
- гидроксид магния – $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Гипс обезвоживается, его качество в значительной степени зависит от эффективности предварительно установленной системы обеспыливания. В некоторых странах этот гипс продается для цементной промышленности.

Вода отделяется от гипсовой суспензии, и большая ее часть рециркулирует. Вследствие образования хлоридов необходим слив скрубберной воды. Таким образом, образуется как твердое вещество (гипс), так и сточные воды.

Когда в качестве реагирующего агента используется гидроксид аммония (NH_4OH), образуется раствор бисульфита аммония (NH_4HSO_4). Этот раствор перерабатывается с помощью влажного окисления на установке для очистки газа коксовой печи с получением сульфата аммония ($\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

Мокрая десульфуризация может быть также достигнута с помощью систем мокрых золоуловителей (см. п. 3.3.2.4).

В дымовые газы для адсорбции PCCD/F вдувают активированный бурого угольный кокс. После этой реакции активированный бурого угольный кокс отделяется в рукавном фильтре.

Достижимые экологические выгоды

Степень десульфуризации может быть достигнута на уровне 85-90%, хотя сообщалось и об эффективности 95 – 99%. При таких показателях уровень выбросов составляет меньше чем 200 мг/нм³ SO₂ при входном значении ниже 1,5 г/нм³. Кроме того, HCl, HF и пыль очищаются из отходящих газов. В системе не удаляются оксиды азота.

Взаимодействия между средами

Образуется шлам, содержащий гипс. Удаление гипса может вызвать значительные проблемы. В странах, где нет рынка гипса, обезвоженный материал должен удаляться как активные отходы, требующие дальнейшей стабилизации перед депонированием, и тем самым создаются дополнительные затраты на размещение. Даже и при наличии рынка для гипса загрязнение продукта пылью делает его менее привлекательным, и он должен депонироваться. Кроме того, необходима дополнительная очистка сточных вод, когда одновременно происходит удаление пыли.

Был пример, когда гипс разделяли на загрязненную часть (10%), которая депонировалась, и “чистую” часть (90%), которая продавалась. Но эта система больше не работает.

Большая часть скрубберной воды может подвергаться рециркуляции, в особенности, когда устройство для обеспыливания установлено перед системой десульфуризации. Обычно бывает необходимо использовать избыточную подачу воды, чтобы избежать образования хлоридов. Сообщалось о диапазоне избыточной подачи от 50 до 20 м³/ч.

Потребление электроэнергии оценивается в 6,1 – 7,2 МДж/т агломерата. Кроме того, очищенные отходящие газы необходимо подогревать перед выпуском, для того чтобы достичь достаточной высоты подъема шлейфа выбросов. В некоторых случаях для этой цели используется коксовый газ, а иногда в от-

ходящих газах агломерационной установки имеется СО, который каталитически сгорает.

Потребление гашеной извести зависит от концентрации SO₂ на входе, количества очищаемых отходящих газов и заданной эффективности. Сообщалось о потреблении 3 – 4 кг гашеной извести на 1 м³ SO₂ на заводе Wakamatsu Works, NSC, Япония.

Эксплуатационные данные

В табл. 3.28 приведен обзор эксплуатационных и экономических данных трех установок для десульфуризации. Все эти установки были введены в эксплуатацию для соответствия природоохранному законодательству, установленному местными органами.

Применимость

Эта технология может применяться как на новых, так и на существующих установках, хотя могут возникать существенные проблемы в отношении места. Однако во время написания этого BREF (2010 г.) не было примеров, где бы применяли мокрую десульфуризацию на аглофабриках в Европе. Вследствие высоких капитальных и эксплуатационных затрат и значительных воздействий между средами, таких как образование шламов, размещение дополнительного оборудования и дополнительные меры по очистке сточных вод, процесс мокрой десульфуризации не применяется в Европе. Это может приводить к обстоятельствам, когда стандарты качества окружающей среды, вероятно, не соблюдаются.

Экономика

Данные об эффективности десульфуризации, приведенные в табл. 3.28, не учитывают время простоя установки, предполагается круглосуточная работа; т.е. на практике общие данные по эффективности могут быть значительно ниже. Как отмечалось ранее, продажа образующегося гипса невозможна в некоторых европейских странах, из-за чего возможны проблемы по его размещению.

Сообщалось о следующих затратах для оборудования мокрой десульфуризации (для этих примеров валюта была конвертирована в ЭКЮ 1996 г. и затем в евро):

- инвестиции: 50 – 80 млн евро;
- эксплуатационные затраты: 0,5 – 1,1 евро/т.

Поскольку инвестиции относительно высокие (выше, чем затраты на новую агломерационную установку) и зависят в значительной мере от расхода отходящих газов, может оказаться выгодным ограничить десульфуризацию секциями отходящих газов с максимальной концентрацией серы (см. рис. 3.7) и сосредоточиться на усилиях по снижению содержания серы, поступающей в процесс (см. п. 3.3.2.7).

В табл. 3.26 приведены общие инвестиционные и эксплуатационные затраты для системы мокрой десульфуризации с одновременным снижением выбросов NO_x для двух различных случаев. Качественное сравнение сухого и мокрого процессов десульфуризации только для агломерационных установок представлено в табл. 3.31.

**ТАБЛИЦА 3.26 ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ПРОЦЕССА МОКРОЙ ОЧИСТКИ
ВМЕСТЕ С СИСТЕМОЙ SCR [268].**

Требуемая эффективность очистки	deSO _x : 95%, deNO _x : 40%		deSO _x : 95%, deNO _x : 80%
Начальные затраты:	110(1)		147
• основной объект	8	5,4	122,6
• установка для очистки воды	7	3	5,9
• прочее (трубопроводы, электроэнергия и контрольно-измерительные приборы, гражданские объекты, инженерно-технические работы)	1	7,3	18,5
Эксплуатационные затраты (8476 ч/год)	154,4		197,5
• электроэнергия	51,0		56,8
• коксовый газ	54,5		77,6
• Mg(OH) ₂	29,9		29,9
• прочее (катализатор, NH ₃ , химикаты для WWTP, коммунальные услуги, пар)	19,0		33,2

(1) Общие затраты для мокрой системы в случае 1 равны 110% (это значение привязано к 100%, как показано в табл. 3.31 п. 3.3.2.7.3);

расход газа 1,5 млн нм³/ч, температура газа 120°C, SO₂ на входе: 373 мг/нм³, NO_x на входе: 454 мг/нм³; мокрый процесс с Mg(OH)₂ и SCR;

мокрую десульфуризацию можно также проводить с мокрым золоуловителем (см. п. 3.3.2.4) ;

WWTP: установка по очистке сточных вод.

160

Данные не передавались о мотивации для внедрения.

Примеры установок

В табл. 3.27 приведены параметры работы агломерационных установок, на которых применяется мокрая десульфуризация.

ТАБЛИЦА 3.27 УСТАНОВКА МОКРОЙ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ НА АГЛОФАБРИКАХ [65], [313].

Компания	Предприятие	Установка	Количество очищаемого газа (проектное), 106 нм ³ /ч	Реакционный агент
Nippon Kokan KK	Фукуяма		0,76	Гидроксид аммония
	Кэйхин		1,2 – 1,3	
Kawasaki Steel Corporation	Тиба	Установка № 4	0,62 – 0,75	Гашеная известь
	Тиба	Установка № 4	0,12	
	Мицусима	Три установки	0,75; 0,75; 0,9	
Kobe Steel Ltd.	Какогава		1	CAL*
	Кобе		0,75	
Sumitomo Metal Industries	Вакаяма	Установка № 5	0,4	Гашеная известь и мел
	Касима	Две агломерационных установки	0,8; 0,2	Гашеная известь и мел
	Кокура		0,32	Гидроксид магния

*Хлорид кальция и гашеная известь

Примечание. На одной установке технология была в эксплуатации в ЕС.

ТАБЛИЦА 3.28 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДЛЯ ТРЕХ АГЛОФАБРИК С УСТАНОВКАМИ МОКРОЙ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ [65]

Показатели		Единица	Nippon Kokan KK-Keihin	Nippon Steel Corp. Wakamatsu/Yawata	Sumitomo Metal Ind. Wakayama
Производство агломерата	Проект	т/ч	500	1000	NA
	Реально		NA	600	185
Общий расход отходящих газов	Проект	млн нм3/ч	1,2 – 1,3	2	NA
	Реально		NA	1	0,4
Агломерационная установка		CaO/SiO2	1,8	1,92	2,2
Мощность десульфуризации	Проект	млн нм3/ч	1,2 – 1,3	1 (частичная deSO2)	NA (частичная deSO2)
	Реально		NA	0,45-0,51 (частичная deSO2)	0,2 (частичная deSO2)
Предварительное обеспыливание	Проект	мг/нм3	Сухой ESP	Циклон	Сухой ESP
	Реально				
Реакционный агент			NH4OH	Гашеная известь	Гашеная известь и мел (50:50)
Концентрация SO2 на входе	Проект	мг/нм3	NA	1140	1830
	Реально		560 - 840	513 - 684	730 - 940
Концентрация SO2 на выходе	Проект	мг/нм3	NA	<140	370
	Реально		3 - 9	6 – 29	NA
Эффективность десульфуризации	Проект	%	NA	90	80
	Реально		>99	95 - 98	NA
Побочный продукт	Тип	кг/т агломерата	Сульфат аммония	Гипс	Гипс
	Количество		NA	1,0 – 1,34	4,5
	Переработка		Продажа	Продажа	Главным образом депонирование
Потребность в энергии		ГДж/т агломерата	NA	0,0061-0,0072 (электроэнергия0 (<0,3% общего потребления энергии))	NA
Инвестиции (1)		млн евро	NA	NA	19,4 (в 1976 г.)
Эксплуатационные затраты (1)		евро/т агломерата	NA	0,016 (в 1986 г.) Только обслуживание	0,62 (в 1986 г.) Без обслуживания, без амортизации

(1) Для примера валюта была конвертирована в ЕКЮ.

Примечание. NA – нет данных.

Справочная литература: [65], [24], [251], [268], [295], [313].

Регенеративный процесс десульфуризации и снижения выбросов NOx с помощью активированного угля (RAC)

Технологии сухой десульфуризации основаны на адсорбции SOx активированным углем. Регенеративный процесс с использованием активированного угля (RAC) применяют для регенерации активированного угля с большим количеством поглощенного SO2. В этом случае можно использовать высококаче-

ственный дорогой активированный уголь, в качестве побочного продукта получается H_2SO_4 . Слой регенерируется либо с водой, либо термически. Эта технология применяется в установках для сжигания муниципальных отходов, на нефтеперерабатывающих заводах, в электростанциях и агломерационных установках.

В некоторых случаях используется активированный уголь на основе лигнита. В такой ситуации активированный уголь с поглощенным SO_2 обычно сжигается в контролируемых условиях. Эта технология применяется для “точной настройки” установки десульфуризации в конце технологического процесса.

Процесс RAC (рис. 3.19) позволяет удалять несколько компонентов из отходящих газов: SO_2 , HCl , HF , ртуть, пыль, PCDD/F и факультативно NO_x . Система может быть разработана как одностадийный или двухстадийный процесс. В одностадийном процессе отходящие газы проходят через слой активированного угля, и загрязняющие вещества адсорбируются активированным углем. Удаление оксидов азота происходит только тогда, когда вдувается аммиак (NH_3) в поток газа перед слоем катализатора.

В двухстадийном процессе отходящие газы проходят через два слоя активированного угля. Аммиак может вдуваться перед слоем для снижения выбросов NO_x .

В регенераторе PCDD/F разлагается в температурном диапазоне от 400 до 450°C.

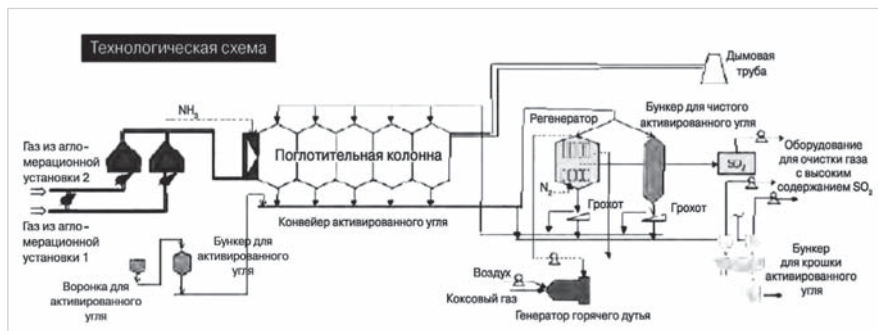


Рис. 3.19 Регенеративный процесс с использованием активированного угля (RAC) [208], [314]

Достижимые экологические выгоды

Возможна высокоэффективная десульфуризация (>95%). Эффективность очистки от NO_x может достигать 80 – 90% в зависимости от рабочих температур, добавки NH_3 и конструкции. Эти данные по эффективности не учитывают простой установки, и предполагают непрерывную круглосуточную эксплуатацию. Таким образом, реальные показатели эффективности должны быть значительно ниже.

В процессе RAC уровни пыли снижаются с 80-100 менее чем до 20 мг/нм³. Выбросы диоксинов снижаются с 3 до менее чем 0,3 нг/нм³.

Взаимодействия между средами

Когда применяется процесс RAC, общее потребление энергии на тонну агломерата возрастает, и образуется небольшое количество воды. На металлургическом заводе с полным циклом поток воды может быть очищен на существующей установке для очистки сточных вод, если она имеется. При ее отсутствии придется нести дополнительные затраты для надлежащей очистки сточных вод. В качестве побочного продукта образуется серная кислота. В табл. 3.29 приведена концентрация компонентов отходящих газов [26].

ТАБЛИЦА 3.29 КОНЦЕНТРАЦИЯ КОМПОНЕНТОВ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ

Параметр	Единицы	Значения
Расход отходящих газов	нм3/мин	14200
Температура	К	414-415
Влажность	Об. %	6,9
O ₂	Об. %	14,7
CO ₂	Об. %	7,9
CO	Об. %	1,2
NO _x	мг/нм3	266 – 322
Sox	частей на 1 млн	7 - 127
SO ₃	частей на 1 млн	0,1
Пыль	г/нм3	6 – 10

Примечания. Установка для очистки от оксидов серы имеет оборудование для гидроксигирования магния. Если эта система не работает, выбросы могут возрасти до 168 частей на 1 млн. Система состоит из циклона, электрофильтра и установки сухой десульфуризации.

В процессе RAC не образуются твердые отходы, поскольку активированный уголь регенерируется и частично сжигается. Потребление электроэнергии составляет 1200 кВт, или 8,6 МДж/т агломерата (около 0,4% от общего потребления энергии на спекание).

Когда применяется процесс без регенерации, общее потребление энергии на тонну агломерата возрастает, и образуются загрязненные твердые отходы, которые необходимо надлежащим образом перерабатывать.

Пыль, образующаяся в процессе очистки, является очень тонкодисперсной и содержит тяжелые металлы (могут также иметься радиоактивные материалы). Такая пыль не может подвергаться рециклингу на металлургических агрегатах таким же образом, что и другая пыль, содержащая железо.

Эксплуатационные данные

Агломерационная установка № 3 компании Nippon Steel на заводе Нагоя имеет производительность 12 тыс. т агломерата в сутки, с расходом отходящих газов 900 тыс. нм3/ч. Основность агломерата составляет 1,72 – 2,1 в 1991 г. Процесс RAC был спроектирован в виде двух параллельных одностадийных поглотительных колонн, каждая мощностью 450 тыс. нм3/ч. Перед десульфуризацией пыль удаляется в циклоне, а затем в электрофильтре (концентрация в очищенном газе 20-30 мг/нм3). Были проведены измерения, в ходе которых концентрация SO₂ на входе составила 360 мг/нм3, а эффективность десульфуризации – 97%. Соот-

ветствующая концентрация SO_2 на выходе составила 11 мг/нм^3 , а концентрации пыли – $15 - 20 \text{ мг/нм}^3$ (размер частиц $2 - 4 \text{ мкм}$; 60% углерода).

Снижение выбросов NO_x с РАС применялось только на одной из двух поглотительных колонн, с вдуванием NH_3 . Общая эффективность удаления NO_x была низкой – на уровне 15% (или 30% на одной поглотительной колонне с вдуванием NH_3).

Активированный уголь с поглощенным SO_2 регенерируется с помощью термической обработки при $380 - 430^\circ\text{C}$. Уголь косвенно нагревается с помощью нагревателя, отапливаемого коксовым газом. Добавляется азот (N_2) ($500 \text{ м}^3/\text{ч}$). Насыщенный водой газ с высоким содержанием SO_2 (15%) направляется на установку для получения серной кислоты при очистке коксового газа. Регенерированный уголь просеивается и направляется снова в адсорбирующие слои. Частицы угля небольшого размера используются в качестве шихты для агломерационной установки. Такие характеристики являются показательными только для данной установки и не применимы для других установок. Потребление активированного угля составляет до 150 кг/ч , потребление пара (40 бар) – 600 кг/ч , а потребление воды – $0,08 \text{ м}^3/\text{ч}$ (табл. 3.30).

ТАБЛИЦА 3.30 ДОСТИГАЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ДРЕВЕСНОГО АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Загрязнитель	Достижимые показатели	Единицы	Примечания
SO_2	95 - >98(1)	%	
	На входе: 572-858	мг/нм^3	
	На выходе: 20 – 30	мг/нм^3	
NO_x	>40 или 60(2)	%	В случаях, когда требуется эффективность >60%, необходим двухстадийный процесс
	На входе: 300 – 520	мг/нм^3	
	На выходе 120 - 200	мг/нм^3	
PCDD/F	На входе: 0,03 – 3	нг I-TEQ/нм^3	На входе 1-2
	На выходе: 0,000001-0,1		
Пыль	На входе: 10 – 140	мг/нм^3	На входе <100. Ухудшение характеристик связано с распределением частиц по размерам
	На выходе: 2 – 20		
Hg	95 - >99	%	Показатели не гарантированы
	На входе: 20 – 30	мкг/нм^3	

(1) Данные основаны на непрерывном мониторинге в течение одного месяца на двух существующих установках и демонстрируют высокую эффективность

(2) Данные, основанные на непрерывном мониторинге в течение одного месяца на трех существующих установках, показывают изменение эффективности от 40 до 60% для одностадийной системы и от 62 до 75% для двух стадийной системы.

Особое внимание следует уделять температуре отходящих газов повторно-го использования при регенерации на входе ($<140^\circ\text{C}$) и концентрации пыли на входе (максимум 50 мг/нм^3). Устройство для улавливания пыли (например, электрофильтр или серия циклонов с высокими показателями) должно быть установлено перед процессом РАС для снижения концентрации пыли на входе.

Применимость

Процесс РАС можно применять как технологию в конце производственного

процесса, как на новых, так и на существующих установках. Процесс обычно предназначен для одновременного удаления нескольких компонентов из отходящих газов (например, SO₂, HF, HCl, NO_x, но также пыли и PCDD/F). Обычно схема размещения оборудования и требования к месту являются важными факторами при рассмотрении технологии, особенно, когда имеется больше одной агломерационной ленты. Во время написания справочника (2010 г.) не было примеров применения процесса RAC на агломерационных установках в Европе. Хотя это возможно на новых установках при одновременной очистке от SO_x, NO_x, пыли и PCDD/F или в обстоятельствах, когда не соблюдаются природоохранные нормативы по вредным выбросам.

Экономика

Инвестиции (исключая установку для производства серной кислоты и для очистки сточных вод) в 1987 г. составляли приблизительно 21 млн евро. В 1991 г. капитальные затраты компании Voestalpine в г. Линц, Австрия, составили приблизительно 73 млн евро для установки RAC.

Эксплуатационные затраты (за исключением затрат на обслуживание и амортизацию) составили 0,75 евро/т агломерата в 1991 г. Затраты на обслуживание оценивались в 0,17 евро/т агломерата (750 тыс. евро в год). Отметим, что эти данные представлены для установки RAC, предназначенной для совместной очистки от SO₂ и NO_x.

Для всех примеров валюта была конвертирована в ЭКЮ 1996/1997 г. с последующим переводом в евро.

В табл. 3.31 показаны общие инвестиции и эксплуатационные затраты для системы сухой десульфуризации с одновременной очисткой от NO_x для двух различных случаев. Это качественное сравнение между процессами сухой и мокрой десульфуризации только для агломерационных установок (см. табл. 3.26).

ТАБЛИЦА 3.31 ОЦЕНКА ЗАТРАТ СИСТЕМЫ С АКТИВИРОВАННЫМ УГЛЕМ [268]

Требуемая эффективность очистки	deSO _x : 95%, deNO _x :40%	deSO _x : 95%, deNO _x :80%
Начальные затраты:	110(1)	136,1
основная установка	60,8	86,2
начальное заполнение активированного древесного угля	8,8	16,2
установка для побочного продукта (H ₂ SO ₄)	8,5	8,5
прочее (трубопроводы, WWTP, электроэнергия и контрольно-измерительные приборы, инженерно-технические работы)	21,9	25,2
Эксплуатационные затраты (8476 ч/год):	100	166,8
активированный древесный уголь	57,7	115,4
электроэнергия	29,8	35,3
NH ₃ (для deNO _x)	10,4	14,0
прочее (коксовый газ, коммунальные услуги, пар, NaOH)	13,6	13,6
H ₂ SO ₄ (на рынок) (2)	- 11,5	- 11,5

(1) Общие затраты на сухую систему составляют 100% (эта величина соответствует 110%, как показано в табл. 3.26 п. 3.3.2.7.2) (2) Компенсационные затраты от произведенной серной кислоты. Примечание. Расход газа: 1,5 млн нм³/ч; температура газа 1200°C; SO₂ на входе 373 мг/нм³, NO_x на входе 454 мг/нм³

Инвестиции для регенеративного активированного угля оценены примерно в 60 млн евро на агломерационной установке с площадью спекания 500 – 600 кв. м, а эксплуатационные затраты оценены приблизительно в 1 евро/т (Arcelor).

Данные не представлены о мотивации для внедрения.

Пример установок

По крайней мере на восьми агломерационных установках внедрена эта технология с использованием активированного угля в Японии, Корее и Австралии. Процесс RAC, предназначенный для очистки от SOx, применяется на агломерационной установке №3 на заводе Nagoya Steelworks компании Nippon Steel Corporation в Японии, с августа 1987 г. В 1999 г. агломерационные машины №№ 1 и 2 на заводе Nagoya Steelworks были оснащены системами удаления SOx, NOx и пыли для расхода отходящих газов 1,3 млн нм3/ч. Другие предприятия, сообщавшие об установке этой системы или ее вариации процесса, включают:

- BlueScope Steel, Port Kembla Works, Австралия, агломерационная машина № 3, на которой происходит очистка 1552000 нм3/ч отходящих газов от пыли и PCDD/F (пуск в июне 2003 г.);
- Nippon Steel Corporation, Oita Works, Япония, агломерационная установка № 1, на которой очищается 1,3 млн нм3/ч отходящих газов от SOx, NOx, пыли и PCDD/F (пуск в 2003 г.);
- POSCO, Pohang Steelworks, Корея, агломерационные машины №№ 3 и 4, на которых очищается 1,35 млн нм3/ч отходящих газов от SOx, NOx, пыли и PCDD/F (пуск в в ноябре 2004 г.);
- Nippon Steel Corporation, Kimitsu Steelworks, Япония, агломерационная установка № 4, на которой очищается 1,7 млн нм3/ч отходящих газов от SOx, NOx и пыли (пуск в 2004 г.);
- Kobe Steel Corporation, Kakogawa Steelworks, Япония, агломерационная установка № 1, на которой очищается 1,5 млн нм3/ч отходящих газов от SOx, NOx, пыли и PCDD/F (пуск в 2007 г.).

Технология фильтрующего слоя из угля была проверена на пилотной установке в Австралии (BHP Steel) и применяется на некоторых агломерационных установках в Японии.

В Европе не эксплуатируются агломерационные установки с использованием процесса регенерированного активированного угля (RAC).

Справочная литература: [65], [215], [252], [254], [261], [268], [314].

3.3.2.8 Снижение выбросов NOx

Основные меры для снижения выбросов NOx

При использовании антрацита можно снизить выбросы NOx, но это зависит от доступности антрацита с пониженным содержанием азота (по сравнению с коксовой мелочью).

Дополнительная мера, которая может быть рассмотрена, но менее значимая, это использование для горна горелок с низкими выбросами NOx.

Еще одним вариантом снижения выбросов NO_x является применение технологии утилизации отходящих газов, описанной в п. 3.3.5.2.

Селективное каталитическое восстановление (SCR)

В этом процессе NO_x в отходящих газах подвергаются каталитическому восстановлению с помощью аммиака (NH_3) или мочевины до N_2 и H_2O . В качестве катализатора часто используют пятиоксид ванадия (V_2O_5) или оксид вольфрама (WO_3) на подложке из диоксида титана (TiO_2). Другими возможными катализаторами являются оксид железа и платина. Оптимальные рабочие температуры находятся в диапазоне от 300 до 400°С.

SCR можно применять как систему в следующих случаях: с высокой нагрузкой по пыли, с низкой нагрузкой по пыли и с очищенным газом. В каждом случае с собственными характеристиками. До настоящего времени на агломерационных установках применяется только система для очищенного газа.

Особое внимание следует уделять дезактивации катализатора, накапливанию взрывоопасного нитрата аммония (NH_4NO_3), проскоку аммиака и образованию коррозионного SO_3 . Обычно отходящие газы должны нагреваться перед поступлением в систему SCR для достижения требуемой рабочей температуры.

Достижимые экологические выгоды

На агломерационных установках была достигнута эффективность очистки от NO_x , равная 80%. Она зависит от типа используемого катализатора, рабочей температуры и добавки NH_3 . Значения концентрации на выходе находятся в диапазоне от 56 до 120 мг/нм³ (при концентрации O_2 15%) (значения на входе составляли от 180 до 600 мг/нм³).

Взаимодействия между средами

Поскольку SCR относится к сухой технологии, не имеется сточных вод. Отходы образуются только при дезактивации катализатора. Их может переработать его производитель. Этот способ предполагает хранение и использование аммиака, но необязательно в виде жидкого аммиака; можно также использовать мочевины или растворы аммиака. Общее потребление энергии возрастает, так как отходящие газы должны нагреваться перед вступлением в контакт с катализатором. Это снижает возможность утилизации физического тепла от процесса спекания. Кроме того, сама система SCR потребляет электроэнергию.

Использование SCR демонстрирует, что выбросы N_2O составляют меньше 8 частей на 1 млн. Сообщалось о проскоках аммиака на двух агломерационных установках (<1-3 частей на 1 млн).

Эксплуатационные данные

На агломерационной установке компании Kawasaki Steel Corporation, на заводе Chiba Works, Япония в 1975 г. установили SCR для снижения выбросов NO_x . Производительность агломерационной установки составляла 7 тыс. т агломерата/сутки, а расход отходящих газов – от 620 до 750 тыс. нм³/ч. Выбросы NO_x были снижены с 450 до 37 мг/нм³ на катализаторе из платины, и таким образом была достигнута эффективность очистки >90%. SCR работает как система очищенного газа, т.е. установлена после обеспыливания и десульфуризации.

Система SCR может работать либо при 260°C, либо при 400°C. При 260°C катализатор должен восстанавливаться несколько раз в год с помощью тепловой обработки. При этой температуре эффективность 90% достигается только при добавке NH_3 в количестве, превышающем в 1,2 раза стехиометрическое соотношение. В этой ситуации происходят проскоки аммиака. После трех лет эксплуатации при 260°C был установлен конвертор оксида углерода перед системой SCR. В этом конверторе происходит каталитическое сжигание CO в отходящих газах, и образуется тепло. Конвертор CO повышает температуру газа примерно с 400 до 480°C. Эффективность удаления NO_x составляет порядка 90%, что было достигнуто при добавке NH_3 при стехиометрическом соотношении 0,9. Не происходило проскоков аммиака. Падение давления через слой катализатора (1 м) составило 140 мм (вод. Ст.)

На агломерационной установке компании Nippon Kokan, на заводе Keihin Works, Япония, была установлена система SCR в 1979 г. Она работала как система очищенного газа, после обеспыливания и десульфуризации. Агломерационная установка имела производительность 12 тыс. т агломерата в сутки, при расходе отходящих газов 1,2 – 1,3 млн $\text{м}^3/\text{ч}$.

В SCR используется крупнокусковая руда (бурый железняк и колчедан из Азии) в качестве катализатора. Отработанный катализатор просеивается и используется в качестве сырья в доменной печи или на агломерационной установке.

Отходящие газы поступают в SCR после подогрева до температуры 340°C при концентрации NO_x 410 $\text{мг}/\text{м}^3$. Концентрация в очищенном газе составляет 100 – 120 $\text{мг}/\text{м}^3$, что эквивалентно эффективности SCR 70-75%.

Падение давления в устройстве SCR составляет 60 – 70 мм (вод. ст.) В теплообменнике падение давления достигает 80 мм (вод. ст.)

Потребление NH_3 составляет 120 г/т агломерата. Потребление электроэнергии – 0,014 ГДж/т агломерата, или <1% от общего потребления энергии на спекание.

Согласно полученной информации, система SCR работала без каких-либо проблем.

Коксовый газ используется для подогрева при работе установки de NO_x на агломерационных установках №№ 1, 3 и 4 компании China Steel, Тайвань. Система SCR для агломерационных установок 3 и 4 была установлена в июне 1997 г., а на установке № 1 в июне 1999 г. Выбросы NO_x снизились до 52 – 100 $\text{мг}/\text{м}^3$ (при концентрации O_2 15%). Эффективность очистки составила около 80%. Коксовый газ используется для подогрева при работе установки de NO_x . Расходы отходящих газов для этих установок следующие:

- агломерационная установка № 1: расход отходящих газов около 464 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$;
- агломерационная установка № 3: расход отходящих газов около 850 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$; объем катализатора 193,2 м³;
- агломерационная установка № 4: объем отходящих газов 1164000 $\text{м}^3/\text{ч}$ (19400 $\text{м}^3/\text{мин}$).

Проскок аммиака через катализатор для агломерационных установок №№ 1 и 3 меньше 1 части на 1 млн и для агломерационной установки № 4 от 1,5 до 3 частей на 1 млн.

Применимость

Эта технология может применяться в конце технологического процесса как для новых, так и для существующих установок. На агломерационных установках в эксплуатацию сдаются только системы с очищением газа, после обеспыливания и десульфуризации. Важно, чтобы в газе было низкое содержание пыли (<40 мг пыли/нм³) и тяжелых металлов, поскольку при наличии частиц пыли и тяжелых металлов поверхность катализатора становится не эффективной. Кроме того, может потребоваться десульфуризация перед катализатором. Еще одним предварительным условием является минимальная температура отходящих газов около 300°C. На это потребуется дополнительная энергия.

Во время написания справочника (2010 г.) не было примеров применения SCR на агломерационных установках в Европе. Вследствие высоких капитальных и эксплуатационных затрат, а также необходимости восстановления катализатора, потребления NH₃ и возможности его проскока, требуется дополнительная энергия для подогрева, что может уменьшить возможности для утилизации физического тепла от процесса спекания. Хотя технология SCR не применялась в Европе, она может быть применена в случаях, когда не соблюдаются природоохранные нормы.

Экономика

Затраты для агломерационной установки компании Kawasaki Steel Corporation, на заводе Chiba Works, Япония включают:

- инвестиции: 27 млн евро в 1975 г.;
- затраты на обслуживание: 0,08 евро/т агломерата в 1992 г. (200 тыс. евро/год);
- эксплуатационные затраты: 0,40 евро/т агломерата в 1992 г. (1 млн евро/год), включая затраты на подогрев.

Затраты для агломерационной установки компании Nippon Kokan, на заводе Keihin Works, Япония включают:

- инвестиции: 50 млн евро в 1979 г.;
 - затраты на обслуживание: 0,57 евро/т агломерата в 1992 г. (900 тыс. евро/год);
 - эксплуатационные затраты: 0,75 евро/т агломерата в 1992 г.;
- Сообщалось о следующих затратах для SCR [65]:
- инвестиции: 25 – 45 млн евро;
 - эксплуатационные затраты: 0,7 – 0,9 евро/1000 очищенных нм³.

Для агломерационной установки с производительностью 4 млн т/год, с расходом отходящих газов 1 млн нм³/ч и 8640 ч работы в год будут следующие затраты:

- инвестиции: 25–45 млн евро;
- эксплуатационные затраты: 1,5 – 2,0 евро/ т агломерата.

В 1997 г. оцениваемые затраты примерно в 30 млн евро приводились для установки SCR в Эймейдене, Нидерланды (компания Cogus), включая систему подогрева отходящих газов 630 тыс. нм³/ч.

Решающими факторами для затрат являются использование катализатора, потребление аммиака, и при необходимости, затраты на подогрев отходящих газов.

Во время написания справочника (2010 г.) ни одна агломерационная установка в Европе с системой deNOx такого типа не работала в Европе.

Мотивация для внедрения

Исследования показали, что ни методы предотвращения образования NOx в качестве частичной замены коксовой мелочи со шлаком с высоким содержанием железа, пропана, DRI и нефтяного кокса, ни использование раствора аммиака или карбоната аммиака в качестве добавки в смесь, не предполагают практического решения для снижения выбросов NOx от агломерационных установок.

Примеры установок

1. Kawasaki Steel Corporation, завод Chiba Works, Япония
2. Nippon Kokan, завод Keihin Works, Япония
3. Агломерационные установки 3 и 4 компании China Steel, Тайвань (установленные в июне 1999 г. и июне 1997 г.)

Новые установки размещены на Тайване и в Корее. В Японии с 1997 г. не было установлено ни одной новой системы SCR.

Была информация, что одна установка запланирована компанией Voestalpine Stahl GmbH в г. Линце, Австрия; однако по состоянию на 2008 г. в ЕС не было в эксплуатации ни одной установки SCR. В 2008 – 2009 гг. система SCR для 1/10 отходящих газов должна была использоваться в качестве демонстрационной установки. Было запланировано на 2011 г. по результатам работы этой установки оценить перспективность ее применения.

Справочная литература: [65], [387], [277].

3.3.3 Пылеулавливание и снижение выбросов пыли от вторичных источников

Вторичные выбросы можно улавливать с помощью систем вторичного обеспыливания (используется также термин “обеспыливание помещений” применительно к агломерационным установкам). Эта технология учитывает различные источники выбросов, такие, как укладка сырья на агломерационной ленте, зона выгрузки с ленты с дроблением и грохочением, и пункты перевалки конвейера агломерата. Удаляемые газы обычно очищаются устройствами для обеспыливания, типа электрофильтра или рукавного фильтра. Работы выполняются в закрытом помещении, что дополнительно помогает в улавливании рассеянных/неорганизованных выбросов.

Достижаемые экологические выгоды

Есть пример агломерационной установки, где большая часть удаляемых потоков газа с таких операций и с пунктов перевалки собирается и обеспыливает-

ся в трех установленных параллельно электрофильтрах. Выбросы пыли непрерывно измеряются, ежегодное количество составляет 270 т, а общий расход газа – порядка 815 тыс. м³/ч. Концентрация пыли составляет примерно 35 мг/нм³.

На одной немецкой установке с использованием рукавных фильтров достигнуто обеспыливание помещений на аглофабрике <4 мг пыли/нм³ в качестве среднегодового значения [342]. На другой немецкой установке эффективность обеспыливания помещения составила <21 мг пыли/нм³ и <18 мг пыли/нм³, замеры выполнялись после охладителя агломерата. В обоих случаях применялись электрофильтры, и значения относились к получасовым средним, при непрерывном измерении. На третьей немецкой агломерационной установке отмечалось значение <19 мг пыли/нм³ при обеспыливании после горячей дробилки с применением электрофильтра (среднесуточное значение). На еще одной немецкой установке с помощью обеспыливания помещений, проведенного с использованием электрофильтра, и для части отходящих газов от охлаждения агломерата с использованием рукавного фильтра были достигнуты следующие концентрации выбросов: 25 для электрофильтра и <15 мг пыли/нм³ для рукавного фильтра [244].

На австрийской установке обеспыливание помещений проводилось с помощью электрофильтра и рукавного фильтра. Отходящие газы, образующиеся при выгрузке агломерата, грохочении и транспортировании агломерата, смешивались, и была достигнута концентрация выбросов <16 мг пыли/нм³ (получасовые средние значения). Еще на одной австрийской установке эффективность обеспыливания достигала значения 3 мг пыли/нм³ [211].

Не передавались эксплуатационные данные, о взаимодействиях между средами.

Применимость

Вторичное обеспыливание используется для всех элементов подготовительных и вспомогательных процессов, результатом которых являются выбросы загрязняющих веществ в воздух, включая пункты перевалки, смешение или подготовку шихты для спекания и охлаждения агломерата, операции смешения, грохочения и дробления.

Экономика

Для упомянутого примера с расходом газа 815 тыс. м³/ч инвестиционные затраты для рукавного фильтра составили 12 млн евро, а ежегодные эксплуатационные затраты - 3,25 млн евро.

Мотивация для внедрения

Различные виды операций на агломерационных установках типа шихтовки, дробления, охлаждения и грохочения, а также транспортирования (в особенности на пунктах перевалки между конвейерными лентами) и рециклинга агломерата между этими различными операторами являются источником выбросов пыли. Состав пыли следующий: 75% PM₁₀ и 35% PM_{2,5}).

Пример установок

На агломерационной установке компании Voestalpine Stahl в г. Линц, Ав-

ствия проводится улавливание и очистка пыли для части дымовых газов (375000 м³/ч). Другая часть дымовых газов (160000 м³/ч) обеспыливается в рукавном фильтре.

На голландской агломерационной установке отходящие газы из зоны выгрузки обеспыливаются с помощью рукавного фильтра. Выбросы из зон выгрузки, дробления и грохочения, от конвейеров и охладителя улавливаются и обеспыливаются электрофильтрами [114].

Компания ArcelorMittal в Айзеншюттенштадте, Германия обеспыливание выбросов от охлаждения ленты и других вторичных источников проводит с использованием электрофильтра.

Установка компании Thyssen Krupp Stahl в Дуйсбурге имеет внутренний охладитель, расположенный рядом с границей металлургического завода. Измерения доказали, что выбросы от охладителя вносят определенный вклад в отложения пыли на территории за пределами завода. По этой причине была установлена система обеспыливания охладителя, которая пущена в эксплуатацию в апреле 2003 г. Пыль, образуемая при транспортировании, манипулировании и охлаждении агломерата, собирается. Воздух с пылью от охладителя, грохочения с подогревом и некоторых других мест установки отделяется и направляется на новый электрофильтр. Рассеянные выбросы от зоны охлаждения значительно снижаются с помощью оптимизации скорости воздушного потока в системе обеспыливания в различных точках отбора, с обеспечением относительно высокого расхода воздуха (300000 м³/ч) в зоне выгрузки ленты. Установленный электрофильтр очищает общее количество выбросов порядка 1,4 млн м³/ч и он запроектирован для достижения содержания частиц на выходе порядка 30 мг/м³, измеренных как получасовое среднее значение. Пыль, уловленная в электрофильтре, направляется с помощью цепного конвейера в промежуточный бункер. После этого она увлажняется и направляется в слой пылевидной руды с помощью конвейерных лент.

Справочная литература: [128], [241], [249], [142]

3.3.4 Использование отходов и побочных продуктов производства на агломерационной установке

Использование отходов является важной функцией агломерационной установки на металлургических заводах с полным циклом. Образующиеся отходы состоят главным образом из железной окалины от прокатных станов и широко разнообразия пыли и шламов, в том числе и от систем очистки отходящих газов. Любые виды такой пыли, шламов и прокатной окалины имеют достаточно высокое содержание железа или углерода (или других минеральных составляющих, например, извести, оксида магния), и их можно использовать в качестве сырья на агломерационной установке. Материалы с высоким содержанием извести, например многие виды металлосодержащих шлаков, также могут быть использованы, снижая дополнительное поступление извести и известняка. Возможны ограничения технологического процесса в отношении исполь-

зования остаточных материалов на агломерационных установках, связанные с воздействиями между средами, о которых сообщается ниже. Эти ограничения объясняются негативным воздействием, которое некоторые элементы оказывают на бесперебойную работу доменной печи. Поэтому в зависимости от шихты доменной печи ограничения могут применяться к содержанию цинка, свинца и хлоридов в агломерате, тем самым ограничивая долю использования отходов на агломерационной установке. Во время написания справочника (2010 г.) почти все агломерационные установки в мире используют некоторые виды пыли, шламов и прокатной окалины. На большинстве установок в ЕС на них приходится 5-6% шихты агломерата, хотя их доля может достигать до 10-20%. По крайней мере, на двух установках используется 100% пыли, шламов, шлаков и добавок.

Достижимые экологические выгоды

Количество сэкономленных сырьевых материалов равно количеству использованных шламов, пыли и прокатной окалины. Кроме того, удастся избежать проблем с размещением этих отходов.

Взаимодействия между средами

В некоторых отходах технологических процессов содержатся значительные количества нефтепродуктов, что может привести к повышенным выбросам некоторых летучих органических соединений (например, углеводороды, PCDD/F). Использование отходов с высоким содержанием летучих тяжелых металлов (например, Hg, Cd), может привести к возрастанию выбросов этих металлов. Рециркуляция некоторых отходов может привести к росту концентраций этих металлов в отходящих газах. Кроме того, нежелательные компоненты, такие как щелочи и хлориды также могут накапливаться в процессе спекания. В результате может произойти рост их выбросов в отходящих газах (например, рост нагрузки по твердым частицам в оборудовании для очистки дымовых газов). Для предотвращения этих проблем занимаются усовершенствованием соответствующего оборудования (например, улучшенные технологии рукавных фильтров или усовершенствованных/модернизированных электрофильтров), для того чтобы была возможность максимального использования отходов/остатков [247, 248, 302].

Рециклинг осажденной пыли после спекания может оказать воздействие на рост выбросов PCDD/F вследствие рециклинга диоксинов от процесса вторичного синтеза и хлора [224, 255]. Пыль от рукавных фильтров/электрофильтров, которая загрязнена PCDD/F, возвращается в спекаемый слой. Она не вызывает роста концентрации PCDD/F в пыли рукавных фильтров/электрофильтров [255].

Эксплуатационные данные не передавались.

Применимость

Эта технология может применяться к новым и существующим установкам.

Экономика

С помощью описанных способов экономятся затраты на сырьевые материалы и на размещение отходов (включая предварительную обработку).

Мотивация для внедрения

Самой главной мотивацией для внедрения этих способов является максимальное использование отходов в интересах устойчивого потребления. Тем самым достигается минимизация использования исходных сырьевых материалов и во многих случаях ограничиваются затраты на размещение отходов [302].

Пример установок

Почти все агломерационные установки во всем мире используют шламы, пыль и прокатную окалину, образующиеся на металлургических заводах с полным циклом. Агломерационная установка компании DKR Recycling в г. Дуйсбург, Германия, была специально спроектирована для переработки отходов производства от металлургических агрегатов. Она была интегрирована в цикл работы доменной печи для утилизации ценных компонентов на основе железа (вместе с пылью с высоким содержанием цинка и свинца), а также может использоваться в цветной металлургии.

Справочная литература: [65], [116], [224], [247], [248], [255], [302], [317].

3.3.5 Утилизация тепла в процессе спекания

174

3.3.5.1 Утилизация тепла при спекании и охлаждении агломерата

Два вида потенциально повторно используемых вторичных энергоресурсов сбрасывается с агломерационных установок:

- а) физическое тепло основных отходящих газов от агломерационных машин;
- б) физическое тепло охлаждаемого воздуха от охладителя агломерата.

Что касается позиции (а), то при нормальных рабочих условиях использование теплообменника для утилизации тепла от отходящих технологических газов будет приводить к проблемам неприемлемой конденсации и коррозии. Эти ограничения означают, что утилизация тепла от отходящих газов с помощью теплообменника не практикуется.

Частичная рециркуляция отходящих газов является особым случаем утилизации тепла, и об этом идет речь в п. 3.3.5.2. Физическое тепло передается снова слою агломерата с помощью рециркуляции горячих газов. Во время написания (2010 г.) это был единственный практический метод утилизации тепла отходящих газов.

Что касается позиции (б), то физическое тепло горячего воздуха от охладителя агломерата может утилизироваться с помощью следующих способов:

- генерация пара в котле-утилизаторе для использования на предприятиях металлургической промышленности;
- получение горячей воды для районного теплоснабжения;
- предварительный подогрев воздуха для горения в зажигателе спекательной машины;
- предварительный подогрев шихты для агломерата;

- использование газов охладителя агломерата в системе рециркуляции отходящих газов.

Количество утилизируемого вторичного тепла зависит от конструкции агломерационной установки и системы утилизации тепла.

Ниже приведено пять примеров утилизации тепла.

1). Утилизация тепла отходящих газов охладителя агломерата с обычным спеканием

Физическое тепло горячего воздуха от охладителя агломерата используется для производства пара в котле-утилизаторе для подогрева воздуха в зажигателе спекательной машины.

Достижимые экологические выгоды

Сообщаемая доля утилизации энергии в количестве 18% от общей потребляемой энергии для котла-утилизатора и 2,2% от общей потребляемой энергии для рециркуляции применительно к зажигателю спекательной машины [65].

Эксплуатационные данные не передавались.

2). Охладитель агломерата и утилизация тепла отходящих газов с рециркуляцией части отходящих газов

На агломерационной установке № 3 компании Sumitomo Heavy Industries, в г. Кокура, Япония применяется частичная рециркуляция отходящих газов. Перед рециркуляцией отходящие газы направляются через котел-утилизатор. Газы от охладителя агломерата также направляются через котел-утилизатор.

Достижимые экологические выгоды

Сообщаемые данные об утилизации энергии на этой установке с помощью этой системы – 21% от потребляемой энергии.

Эксплуатационные данные

Было произведено 120 кг пара/т агломерата с температурой 273оС и давлением 9бар [123].

3). Утилизация тепла отходящих газов от охладителя агломерата с помощью процесса EPOSINT

На агломерационной установке № 5 компании Voestalpine в г. Линц, Австрия, утилизация тепла отходящих газов достигается с помощью процесса EPOSINT (см. раздел 3.3.5.2). Когда применяется система рециркуляции отходящих газов, горячий воздух от охладителя можно использовать вместо добавки свежего воздуха для повышения содержания кислорода в рециркулируемых газах, возвращаемых в спекаемый слой. В этих обстоятельствах тепло, содержащееся в охлаждающих газах агломерата, утилизируется в процессе спекания. Часть горячего воздуха от охладителя используется для подогрева воздуха для зажигания в спекательной машине (рис. 3.20).

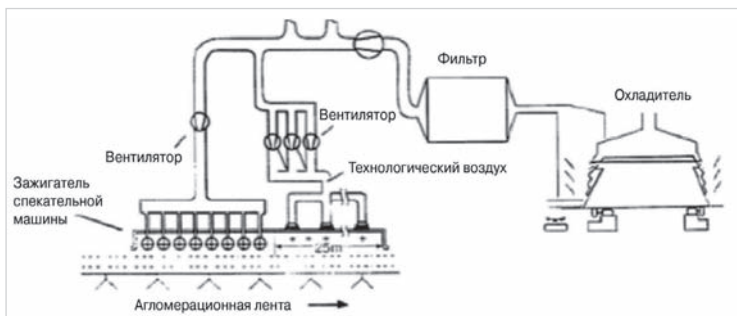


Рис. 3.20 Утилизация тепла от охладителя агломерата

Достигаемые экологические выгоды

Было достигнуто снижение удельного потребления кокса 2 – 5 кг/т агломерата компанией Voestalpine в г. Линц, Австрия.

Эксплуатационные данные не передавались.

4). Охлаждение ленты и утилизация тепла отходящих газов при частичной рециркуляции отходящих газов

На агломерационной установке № 4 компании Sumitomo Heavy Industries в г. Вакаяма, Япония, охладитель агломерата был интегрирован в агломерационную ленту (охлаждение ленты). На этой установке отходящие газы как от спекания, так и из зоны охлаждения на решетке направлялись через котел-утилизатор и впоследствии рециркулировались на ленту.

Достигаемые экологические выгоды

Количество утилизированного тепла составляет 30% от поступаемой тепловой энергии.

Эксплуатационные данные

Производство пара составляет приблизительно 120 кг/т агломерата при давлении 25 бар и температуре 375оС. Установка спроектирована на производство 10 тыс. т агломерата/сутки и имеет площадь спекания 360 м2 [123]. Если система будет применяться на существующей установке, работающей в режиме максимальной производительности, то это может отрицательно сказаться на ее производительности.

5). Утилизация тепла охладителя агломерата для районного теплоснабжения

На агломерационной установке № 3 компании ArcelorMittal в Дюнкерке, Франция, горячий воздух после охлаждения агломерата собирается и продается партнеру, который преобразует это тепло в горячую воду с температурой 105оС и поставляет ее по трубопроводам в систему городского районного теплоснабжения.

Достигаемые экологические выгоды

Утилизируется приблизительно 15 кВт-ч/т агломерата.

Можно предотвратить выбросы CO₂ с помощью замены ископаемых топлив, если отходящие газы используются для производства энергии в системе районного теплоснабжения.

Взаимодействия между средами

В некоторых случаях снижаются выбросы пыли благодаря предварительно установленным устройствам для отделения грубой пыли. Использование отходящих газов после охладителя агломерата в системе рециркуляции отходящих газов должно привести к снижению рассеянных выбросов пыли от охладителя агломерата.

Эксплуатационные данные и мотивация для внедрения не приводятся.

Применимость

Утилизация тепла отходящих газов из дымовой трубы или охладителя агломерата может применяться как на новых, так и на существующих установках. Признано, однако, что инвестиции ниже для новых установок, для которых вводятся системы утилизации тепла на стадии планирования. На некоторых существующих установках существующая конфигурация может привести к чрезмерным затратам. В 1995 г. сообщалось, что 64% японских агломерационных установок имели систему утилизации тепла от охлаждения агломерата, а 43% японских агломерационных установок использовали утилизацию тепла отходящих газов из дымовой трубы.

Экономика

Инвестиции будут зависеть от конкретных условий. Однако в случае применения утилизации отходящих газов снижаются эксплуатационные затраты.

Пример установок

Утилизация тепла от охлаждения агломерата часто применяется в странах ЕС (например, компания Corus в Эймейдене, Нидерланды, компания Riva в Таранто, Италия, компания Thyssen Krupp в Дуйсбурге, Германия).

Утилизацию тепла от охладителя агломерата в виде горячего воздуха практикует компания ArcelorMittal в Дюнkerке, Франция, на агломерационной установке № 3 с 1991 г. На трех установках компании Corus в Соединенном Королевстве утилизируется тепло от охладителя агломерата как часть процесса EPOSINT с апреля 2005 г.

Справочная литература: [1], [65], [103], [123], [305], [241].

3.3.5.2 Частичная утилизация отходящих газов

При частичном использовании отходящих газов некоторая часть их рециркулирует для процесса спекания. Доля отходящих газов, которая рециркулирует к ленте, проходит через горячий агломерат и фронт горения (см. рис. 3.3). Были разработаны различные процессы для применения частичной рециркуляции отходящих газов в промышленном масштабе. Некоторые технологии включены в табл. 3.32 в этом разделе.

Общие соображения в отношении применимости

Применимость технологии зависит от конкретных условий. В каждой ситуации необходимо учитывать сопровождающие меры для обеспечения того, чтобы качество агломерата (здесь имеется в виду механическая прочность в холодном состоянии) и производительность ленты не снижались. В зависимости от местных условий, эти меры могут быть относительно незначительными и легко выполнимыми. В любом случае должны быть проверены рабочие условия в тех ситуациях, когда намечено внедрение технологии.

ТАБЛИЦА 3.32 ТЕХНОЛОГИИ С ЧАСТИЧНОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ, ВКЛЮЧЕННЫЕ В ЭТОТ РАЗДЕЛ [307]

Раздел	Фирменное наименование технологии	Пример установки	Принципиальная схема (стрелками указаны потоки газов)
3.3.5.2.1 Частичный рециклинг отходящих газов от всей ленты	Выбросы при оптимизированном спекании (EOS)	Corus IJmuiden, Голландия	
3.3.5.2.2 Рециклинг отходящих газов от торца агломерационной ленты	Процесс спекания с низкими выбросами и оптимизацией потребления энергии (LEEP)	HKM, Германия	
3.3.5.2.3 Рециклинг отходящих газов в торце агломерационной ленты и использование отходящих газов от охладителя агломерата	Экологический оптимизированный процесс спекания (EPOSINT)	Voestalpine Linz, Австрия	
3.3.5.2.4 Рециклинг части отходящих газов к другим частям агломерационной ленты		NSC, агломерационная фабрика №2, Япония, г. Тоба	

Важные аспекты при определении применимости этой технологии:

- начальная конфигурация ленты (например, двойная или одинарная вакуумная камера, наличие места для нового оборудования, и при необходимости, удлинение ленты);
- начальная конструкция существующего оборудования (например, вентиляторы, оборудование для очистки газа, грохочения агломерата и охлаждения);
- начальные условия эксплуатации (например, сырьевые материалы, высота слоя, давление всасывания, процент негашеной извести в смеси, удельный расход, процент возврата с установки, возвращаемого в шихту);
- существующие показатели с точки зрения производительности и потребления твердого топлива;
- показатель основности агломерата и состав шихты в доменной печи (например, процент агломерата по сравнению с окатышами в шихте, содержание железа в этих компонентах).

Внедрение этой технологии может изменить эксплуатационные параметры ленты. В самом деле, значительные изменения в составе сырьевых материалов или условиях эксплуатации могут существенно изменить характеристики выбросов вдоль ленты, и, следовательно, нарушить равновесные условия для рециркуляции газов. В то время как эта технология может содействовать снижению выбросов на агломерационной установке (с точки зрения нагрузки по загрязняющим веществам), концентрация некоторых веществ может возрасти (например, кислые соединения) в рециркулируемых и отходящих газах. В отношении кислых соединений важным являет-

ся жесткий контроль температуры, влажности и кислотной точки росы для предотвращения чрезмерной коррозии.

Все упомянутые соображения основаны на опыте трех компаний; в этих конкретных случаях применения рециркуляции отходящих газов, которые описаны ниже, добились успеха в преодолении вышеупомянутых ограничений с помощью контрмер.

Частичная утилизация отходящих газов от всей агломерационной ленты

Концепция этого способа состоит в возврате на агломерационную ленту части смешанных отходящих газов от всей агломерационной ленты (рис. 3.21, 3.22). Степень возврата этих отходящих газов от спекания составляет порядка 40-45%, что соответствует концентрации кислорода в 14-15% в смеси отходящих газов с воздухом в зажигателе спекательной машины. В результате происходит снижение выбросов отходящих газов в атмосферу на 45-50%.



Рис. 3.21: Агломерационная лента с укрытием в соответствии с процессом EOS (выбросы при оптимизированном сжигании)

Отходящие газы обеспыливаются в циклоне перед возвращением в цикл с помощью дополнительного вентилятора в зажигатель над лентой. При этих условиях производительность ленты не изменяется, и расход коксовой мелочи снижается на 10-15% по сравнению с обычной практикой компании Corus в Эймейдене, Нидерланды. Качество агломерата, определенное по снижению разрушения, остается постоянным, содержание FeO в агломерате увеличивается на 1,5%, возрастает восстанавливаемость, немного снижается прочность на холодное сжатие, а средний диаметр остается приблизительно 17 мм. Использование агломерата в доменной печи не привело к каким-либо негативным воздействиям, но следует отметить, что на этот агломерат приходится только около 50% шихты, вследствие высокого процента окатышей, использованных в доменных печах компании Corus в Эймейдене, Нидерланды. В других ситуациях уровень использованного в доменной печи агломерата может быть намного выше (до 95%).

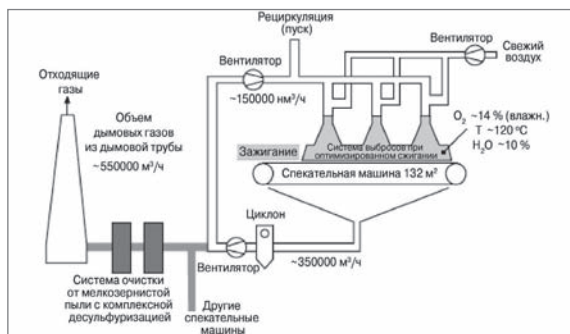


Рис. 3.22. Схема оптимизированного процесса спекания с минимизацией выбросов (EOS) [70].

Достигаемые экологические выгоды

Частичный возврат отходящих газов со всей ленты был разработан главным образом для снижения расхода отходящих газов, и, таким образом, выбросов пыли и PCDD/F. Выгоды состоят в том, что дополнительное оборудование для дальнейшей очистки дымовых газов перед сбросом в атмосферу будет использоваться для очистки меньших объемов, т.е. с экономией капитальных и эксплуатационных затрат. Перед установкой такой системы на заводе в Эймейдене, Нидерланды, технологией окончательной очистки был циклон, и было очевидно, что потребуются также дополнительное оборудование для очистки (см. п. 3.3.2.4). Результаты работы этой установки с частичным возвратом отходящих газов для агломерата с высокой основностью ($\geq 1,7$ CaO/SiO₂) указывают, что успешное внедрение этой технологии возможно (табл. 3.33). Результаты для агломерата с низкой основностью сходные.

Показатели снижения выбросов (по массе) в результате применения этой технологии на установке компании Corus в Эймейдене приведены в табл. 3.34.

ТАБЛИЦА 3.33. СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ЗНАЧЕНИЙ ВЫБРОСОВ ОБЫЧНОГО СПЕКАНИЯ И ВЫБРОСОВ ОПТИМИЗИРОВАННОГО СПЕКАНИЯ НА АГЛОМЕРАЦИОННОЙ КОМПАНИИ CORUS В ЭЙМЕЙДЕНЕ, НИДЕРЛАНДЫ

Компонент	Единица	Обычное спекание		Выбросы при оптимизированном спекании (EOS)	
		Июль 1994	Октябрь 1994	Июль 1994	Октябрь 1994
Общий расход газа	нм ³ /ч	394000	372000	328000	328000
Поток рециркуляции	нм ³ /ч	0	0	153000	120000
Выброс газа в атмосферу	нм ³ /ч	394000	372000	175000	208000
Температура	оС	164	114	155	149
Влажность	%	10	11	16	19
Кислая точка росы	оС	46±5	ND	71±5	ND
Пыль	г/т агломерата	500	ND	170	ND
O ₂	%	15	15	11,5	12,1

Компонент	Единица	Обычное спекание		Выбросы при оптимизированном спекании (EOS)	
		Июль 1994	Октябрь 1994	Июль 1994	Октябрь 1994
CO ₂	%	7,5	7	11,7	11,2
CO	%	1	1,2	1	1
SO ₂	г/т агломерата	1430	890	840	680
NO _x	г/т агломерата	630	570	300	410
CxHy	г/т агломерата	200	145	95	83
PCDD/F	мкг I-TEQ/т агломерата	2	ND	0,6	NA

(1) В 1994 г. выбросы твердых частиц подавлялись только с использованием циклонов.

Примечание. Площадь всасывания равна 132 м², а производительность – 4700 т агломерата в сутки с высокой основностью.

NA - нет данных.

ТАБЛИЦА 3.34 ПОКАЗАТЕЛИ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ (ПО МАССЕ) ДЛЯ ОПТИМИЗИРОВАННОГО СПЕКАНИЯ (EOS) КОМПАНИИ CORUS В ЭЙМЕЙДЕНЕ, НИДЕРЛАНДЫ [104]

Параметр	Снижение выбросов (1) (масс.%)	
	Агломерат с низкой основностью	Агломерат с высокой основностью
Расход отходящих газов	40	40 – 50
Пыль	50	60
Моноксид углерода (CO)	45	50
SO ₂	NA	15 – 20
NO _x	35	30 – 45
Углеводороды (C _x H _y)	NA	50
PCDD/F	70	65

(1) Снижение выбросов выражается как снижение массового расхода компонента. Это необязательно предполагает снижения концентрации.

NA - нет данных.

Эта технология дает возможность снизить потребление коксовой мелочи с 60 до 48 кг/т агломерата. На голландской установке технология дала экономию тепловой энергии, которая не обязательно будет достигнута на других установках вследствие того, что они уже могут работать при низком потреблении тепловой энергии от применения твердых топлив в результате оптимизации технологического процесса. Данные обследования Европейского комитета по доменным печам, относящиеся к эксплуатационным данным для агломерационных установок (1996 г.), четко демонстрируют, что многие европейские установки уже работают при значительно более низких уровнях потребления энергии.

Применение EOS требует установки насосов и мощных вытяжных вентиляторов. Это вызывает необходимость в дополнительной установленной электрической мощности в 200 – 400 кВт, что эквивалентно повышению удельного потребления энергии на 3 – 8 МВт/т агломерата, что довольно низко по сравнению с общей потенциальной экономией.

Взаимодействия между средами

Технология дает возможность снизить как выбросы в воздух, так и потребление энергии в процессе спекания. Дополнительные вытяжные вентиляторы вызывают рост потребления электроэнергии, но он пренебрежимо мал по сравнению с экономией коксовой мелочи. Особое внимание следует уделять содержанию оксида углерода (СО) в рециркулируемых отходящих газах, для предотвращения возможности отравления рабочих угарным газом.

Эксплуатационные данные

Эта технология впервые была применена в ЕС в мае 1994 г. на агломерационной ленте 3 компании Corus в Эймейдене, Нидерланды. В настоящее время EOS используется на всех трех агломерационных лентах на заводе. До настоящего времени коэффициент использования оборудования был > 95%. В случае неисправностей система автоматически переключается на режим обычного спекания.

Применимость

Эта технология может применяться как для новых, так и для существующих установок. Признано, что капитальные затраты ниже в случае внедрения технологии на новых установках на стадии планирования, чем на существующих, где затраты могут быть значительно выше из-за конструктивных особенностей установки. На существующих установках невозможно ввести частичный рециклинг отходящих газов вследствие ограниченного места. Применение рециркуляции отходящих газов требует особых усилий для обеспечения надлежащего качества агломерата и производительности установки (см. п. 3.3.5.2).

Экономика

Инвестиции, необходимые для внедрения этой технологии на агломерационной установке компании Corus, в Эймейдене, при обычном расходе отходящих газов приблизительно 1,2 млн нм³/ч на трех агломерационных лентах, были равны 17 млрд. евро. Эксплуатационные расходы снизились по сравнению с обычным спеканием благодаря сниженному потреблению коксовой мелочи. Оцененная экономия эксплуатационных затрат составила 2,5 млн евро/год. Эти данные основаны на уменьшенном потреблении коксовой мелочи на 6 кг/т агломерата, при цене 100 евро/т коксовой мелочи и при производстве 4,2 млн т агломерата в год. Эти данные возможно исключительные, и не могут быть достигнуты на многих других агломерационных установках в ЕС, в особенности на тех, которые уже работают при значительно более низком потреблении твердого топлива, чем те, на которых применяется технологии компании Corus, в Эймейдене, Нидерланды (см. выше). Следует также подчеркнуть, что оцененная средняя цена коксовой мелочи, использованной на других агломерационных установках в ЕС, на 40% дешевле, вследствие чего любая возможная экономия коксовой мелочи становится экономически менее привлекательной. Однако, чем меньше объем отходящих газов, выбрасываемых с агломерационной ленты, связанный с применением их рециркуляции, тем меньше будут затраты на очистное оборудование.

Мотивация для внедрения

Самой важной мотивацией для внедрения являются жесткие требования и жесткие стандарты на выбросы, установленные компетентными органами.

Пример установок

Компания Cogus, в Эймейдене, Нидерланды. Все производство агломерата во время написания этого справочника осуществлялось с применением этой технологии. Есть и другие примеры внедрения этой технологии за пределами ЕС (такие как США).

Справочная литература: [49], [104], [252], [254], [307]

Утилизация отходящих газов от всей агломерационной ленты в сочетании с теплообменом

Вследствие особенности процесса спекания концентрация различных компонентов отходящих газов оказалась равномерно распределенной по всей длине агломерационной ленты (см. рис. 3.5, 3,7 и 3.12). Первая половина процесса связана главным образом с испарением влаги из рудной смеси. Во второй половине отмечены повышенные концентрации оксидов серы, соединений хлора и PCDD/F. Количества монооксида углерода и диоксида углерода, а также оксиды азота в равной мере распределены между двумя половинами агломерационной ленты. После удаления влаги на второй половине агломерационной ленты температура отходящих газов возрастает до достижения максимального уровня в области температуры спекания.

В отличие от других способов рециклинга отходящих газов, в рамках данной технологии (рис.3.23) все отходящие газы собираются со второй половины ленты. Они рециркулируют в систему по всей длине агломерационной ленты. Кислород, остающийся в этом газе, обеспечивает горение топлива. Когда происходит рециркуляция отходящих газов, пыль, содержащаяся в спекаемом слое, и PCDD/F частично разрушаются, а оксиды серы и соединения хлора адсорбируются. Окисление монооксида углерода в рециркулируемом газе во фронте горения сопровождается передачей тепла в систему, позволяя снизить уровень потребления твердого топлива.

Вследствие рециркуляции отходящих газов от второй секции агломерационной ленты только отходящие газы от первой половины с пониженными концентрациями основных загрязнителей покидают процесс через дымовую трубу. Это значительно снижает количество отходящих газов и объем выбросов. Так как рециркулируемый газ проходит через фронт горения, концентрации выбросов определяются эффективностью усваивания пыли в слое агломерата, адсорбцией таких соединений, как хлориды и оксиды серы, и окислением некоторых видов (например, CO, PCDD/F).

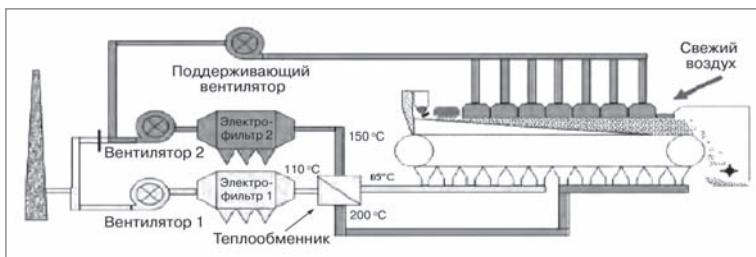


Рис. 3.23 Процесс спекания с низкими выбросами и оптимальным потреблением энергии (LEEP), разработанный компанией Hüttenwerke Krupp Mannesmann (Германия) [307]

Перед поступлением в один из электрофилтров два газовых потока проходят через газо-газовый теплообменник. Выравнивание температур газового потока (перед теплообменником: 200/650C, после теплообменника: 150/1100C) дает возможность вытяжным вентиляторам работать в том же режиме эксплуатации, что и при обычном процессе спекания. Кроме того, область, где более холодный газ с первой секции ленты достигает точки росы, ограничена газовыми трубами, расположенными перед теплообменником. Температурные уровни во всех дополнительных газовых трубах превышают кислотную точку росы. Охлаждение циркулирующих горячих газов до температуры около 1500C также гарантирует поддержание качественных показателей агломерата.

После того, как отходящие газы проходят через электрофилтры и вытяжные вентиляторы, рециркулирующий технологический газ возвращается на агломерационную ленту с помощью дополнительного поддерживающего вентилятора с регулируемой скоростью. Отходящие газы с первой секции ленты выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу.

Достижимые экологические выгоды

С использованием технологии LEEP может быть достигнуто снижение некоторых выбросов, показанное в табл. 3.35.

ТАБЛИЦА 3.35 НЕКОТОРЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ, ДОСТИГАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ LEEP (НИЗКИЙ УРОВЕНЬ ВЫБРОСОВ И ОПТИМАЛЬНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ), ПО СРАВНЕНИЮ С ОБЫЧНЫМ ПРОЦЕССОМ СПЕКАНИЯ [307], [374]

Параметр	Снижение
Удельный объем отходящих газов на тонну агломерата	Приблизительно 50% в дымовой трубе
Выбросы пыли с агломерационной ленты	50-55%
Выбросы SO ₂	27-35%
Выбросы NO _x	25-50%
Выбросы CO	50-55%
Выбросы HF	50%
Выбросы HCl	50%
Выбросы PCDD/F	Приблизительно 75-85%
Твердое топливо	Приблизительно 5-7 кг/т агломерата дает снижение выбросов CO и CO ₂

Примечание. Энергия, содержащаяся в коксовой мелочи, которая экономится, эквивалентна содержанию энергии в рециклируемом газе.

Взаимодействия между средами

Отмечается небольшой рост использования электроэнергии дополнительным вентилятором. Особое внимание должно быть уделено содержанию СО в рециркулируемых отходящих газах, для предотвращения возможности отравления рабочих угарным газом.

Эксплуатационные данные

Когда эта технология только внедрялась, наблюдалось снижение производительности. Во время написания справочника (2010 г.) достигался тот же уровень производительности, что и при обычном спекании. В будущем ожидается возможность повышения производительности в результате следующих факторов: изменений в зажигательном горне, добавки кислорода, повышения основности агломерата и снижения объема подсасываемого воздуха. По сравнению с обычно производимым агломератом качество агломерата с системой LEEP показывает, что тот же самый уровень размеров зерен, прочности и восстанавливаемости, а также другие высокие показатели достигаются при более низкой температуре.

Агломерационная установка компании Hüttenwerke Krupp Mannesmann площадью 420 м² имеет два основных потока отходящих газов, которые перемещаются параллельно ей. Для того чтобы разделить две зоны спекания, была установлена перегородка для полного отделения одного потока отходящих газов от тыльной области агломерационной ленты, обеспечивая условия для того, чтобы этот основной поток увлекал воздух из первой половины ленты. Затворы отделяют дутьевые камеры передней секции ленты от второго потока, в результате в этом потоке собирают отходящие газы от тыльной секции ленты. Так как условия эксплуатации могут изменяться, четыре дутьевые камеры (из общего количества 29) в средней секции агломерационной ленты можно дополнительно интегрировать либо в циркуляционный контур, либо в контур отходящих газов.

Применимость

Эта технология может быть внедрена на новых и существующих агломерационных установках. На существующих установках не всегда возможно применение частичного рециклинга отходящих газов вследствие ограничения в площадях. Если существующая агломерационная установка имеет два основных дымохода отходящих газов, то не будет преимуществ использования новой схемы. Как иллюстрируется компанией Hüttenwerke Krupp Mannesmann, тогда исходные основные воздухоподогреватели и электрофильтры можно сохранить. Применение рециркуляции отходящих газов требует особого внимания для исключения негативных воздействий на качество агломерата и продуктивность.

Экономика

При инвестициях в 14 млн евро потребление твердого топлива снизилось на 5-7 кг твердого топлива/т агломерата (12,5% потребности в топливе) с соответствующей экономией эксплуатационных затрат.

Данные не передавались о мотивации для внедрения.

Пример установок

Эта технология используется с декабря 2001 г. на заводе в Дуйсбурге, Германия, принадлежащем компании Hüttenwerke Krupp Mannesmann.

Справочная литература: [277], [295], [307].

Утилизация отходящих газов от части торца агломерационной ленты и использование отходящих газов при охлаждении агломерата

Селективная рециркуляция отходящих газов в процессе EPOSINT (экологический процесс оптимизированного спекания) имеет преимущества вследствие того факта, что выбросы твердых частиц и других видов из слоя агломерата в большей мере концентрируются в тех воздушных коробах, которые направлены к разгрузочной стороне агломерационной ленты, где наблюдается быстрый рост температуры отходящих газов (см. рис. 3.7, например). Эти воздушные коробки выбраны для утилизации отходящих газов, когда происходит прожог шихты вблизи дна слоя. Было установлено, что температура утилизируемого газа должна быть такая же, как и температура газа, уходящего через дымовую трубу. Это условие необходимо для предотвращения проблем коррозии от образующихся газов при температурах ниже кислотной точки росы. На агломерационной установке компании Voestalpine Stahl в г. Линц, Австрия, воздушные коробки 11 – 16 удлиненной ленты оказались наиболее подходящими для утилизации отходящих газов. Это схематично изображено на рис. 3.24. Для поддержания необходимого давления всасывания для спекания установлен второй вытяжной вентилятор параллельно существующему. Второй вентилятор спроектирован для того, чтобы отходящие газы из выбранных воздушных коробов проходили через электрофильтр в систему рециркуляции газа к зажигательному устройству.

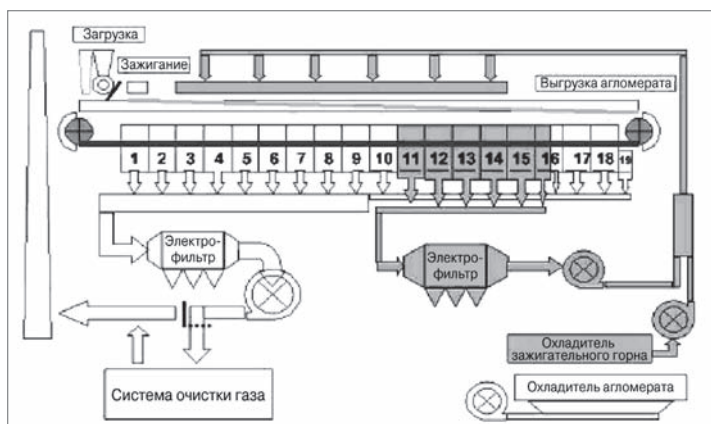


Рис. 3.24 Схематическая диаграмма технологии рециклинга газа EPOSINT (экологически оптимизированный процесс спекания), установленной на агломерационной ленте №5 фирмы Voestalpine, Линц, Австрия [307]

Область, в которой возрастает температура, может изменяться по длине ленты в зависимости от состава шихты и других эксплуатационных параметров. Особенностью этого процесса является возможность отведения дымовых газов от индивидуальных воздушных коробов (в районе 11 – 16 коробов) независимо от дымовой трубы или рециркуляции в зажигательный горн. Эта особенность позволяет обеспечить высокую эффективность процесса.

Для решения проблемы дефицита кислорода в рециркулируемых газах горячие отходящие газы от охладителя агломерата возвращаются в камеру системы газа и систему рециркуляции устройства зажигания с помощью другого вентилятора. Это не только оказывает воздействия на повышение уровня содержания углерода в системе рециркуляции устройства зажигания для поддержания качества агломерата, но также и на повышение потенциала для снижения уровня расхода кокса за счет повышения температуры газа и снижения рассеяния выбросов твердых частиц от охладителя.

Конструкция системы зажигания охватывает всю ширину ленты, и она уплотнена до боковых стенок ленточного транспортера с помощью бесконтактного лабиринтового уплотнения, предотвращающего непреднамеренный выброс рециркулирующего газа и частиц пыли. Так как вся конструкция ленточного транспортера не закрыта, пусковые колеса транспортера и т.д. могут работать в чистой атмосфере, предотвращая износ/повреждения от доступа пыли в подшипники. Уплотнение обеспечивает безопасность в отношении утечки рециркулирующего газа, в котором содержится СО. Предусмотрены специальные меры для предотвращения таких утечек вследствие отказов в работе установки или контрольно-измерительного оборудования. Конструкция устройства зажигания не проходит через всю длину полосы (см. рис.3.24) и позволяет холодному воздуху прокачиваться через слой агломерата в последние несколько воздушных коробов. Это помогает обеспечивать адекватное охлаждение агломерата на ленте перед охладителем и облегчает работу с ленточным транспортером при его обслуживании.

Некоторые характеристики применения EPOSINT включают следующие особенности:

- рециркуляцию части отходящих газов из зоны повышенной температуры, где все выбросы выше, чем средние значения;
- рециркуляция приводит к снижению потребления коксовой мелочи и объема отходящих газов;
- рециклинг газа в устройство зажигания охватывает всю ширину агломерационной ленты;
- рециклинг газа в устройство зажигания не охватывает всю область всасывания;
- сочетание системы уплотнения с высокой надежностью устройства зажигания. Это делается для минимизации присосов неорганизованного воздуха и дополнительного воздуха из охладителя агломерата. Для предотвращения негативных воздействий на производство агломерата и его качество, минимальная концентрация кислорода в рециркулируемом газе (т.е. воздухе для сжигания) должна быть равна 13%.

Достигаемые экологические выгоды

Некоторые экологические преимущества этой технологии состоят в снижении следующих параметров: потребления энергии, объема отходящих газов до 40% и потребления кокса. Рециркуляция отходящих газов от спекания (используется также в случае технологий, описанных в п. 3.3.5.2 и 3.3.5.2) снижает выбросы NO_x и PCDD/F в результате их разложения в слое агломерата. SO_x также адсорбируется или фильтруется слоем агломерата, а СО используется в качестве топлива. С этой технологией рециркуляции газа достигается не только значительное снижение объема отходящих газов, но также снижение выбросов твердых частиц и газообразных компонентов, кроме того реализуется подавление рассеянных выбросов пыли от охладителя агломерата. В табл. 3.36 приведены выгоды от применения выбранной технологии рециркуляции отходящих газов для некоторых параметров.

ТАБЛИЦА 3.36 ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫГОДЫ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ [307]

Параметр	Снижение
Объем отходящих газов на тонну агломерата	Примерно на 25-28% в дымовой трубе
Общий выброс пыли (1)	На 30-35%
Выбросы пыли от охладителя агломерата	85-90%
Частицы твердых металлов	Около 30-35% (5)
Выбросы SO ₂	Около 25-30%
Выбросы NO _x (2)	Около 25-30%
Выбросы PCDD/F (3)	Примерно на 30%
Выбросы СО	Примерно на 30%
Потребление коксовой мелочи (4)	

(1) Подавление выбросов выше, чем снижение объема газов вследствие рециркуляции потока газа с очень высокой концентрацией пыли и очистки этого потока газа с помощью электрофильтра

(2) Поток рециркулируемого газа имеет относительно высокую концентрацию NO_x, в то время как газ в торце агломерационной ленты с высокой концентрацией O₂ и низкой концентрацией NO_x очищается в дымовой трубе

(3) Концентрация в отходящих газах в последней четверти агломерационной ленты (часть потока газа, ведущая в дымовую трубу) низкая

(4) Без снижения производительности и качества

(5) Соответствует снижению выбросов пыли.

В табл. 3.37 приведены некоторые эксплуатационные данные для концентраций выбросов и коэффициентов выбросов до и после применения системы секционной рециркуляции отходящих газов для одной установки в Австрии.

ТАБЛИЦА 3.37 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДО И ПОСЛЕ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ (2007 г., ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ AIRFINE ДЛЯ ПОДАВЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ) [277]

Параметр	Единицы	До применения системы	После применения системы
Производство агломерата	т/сутки	6350	8300 (максимум 8500)
Расход топлива	кг/т агломерата	45	41

Параметр	Единицы	До применения системы	После применения системы
Газ для розжига	МДж/т агломерата	50	40
Общее потребление электроэнергии (включая очистку отходящих газов)	кВт-ч/т агломерата	40	40
Выбросы после очистки отходящих газов:			
пыли	мг/м3	46	38
	г/т агломерата	104	66
SO ₂	мг/м3	420	390
	г/т агломерата	952	677
NO _x	мг/м3	340	240
	г/т агломерата	544	416
HF	мг/м3	1	0,6
	г/т агломерата	2,3	1

Взаимодействия между средами

Электроэнергия, затрачиваемая на работу дополнительного вентилятора, возмещается благодаря повышенной производительности и снижению потребности в твердом топливе (в размере 2 – 5 кг кокса/т агломерата). Особое внимание следует уделять контролю содержания углерода СО в рециркулируемых отходящих газах, для того чтобы предотвратить возможное отравление рабочих угарным газом.

Эксплуатационные данные

Агломерационная лента № 5 компании Voestalpine Stahl в Линце, Австрия, работает по этой технологии с апреля 2003 г. Параметры качества для агломерата оставались теми же, что и до внедрения технологии. Сообщалось о снижении потребления коксовой мелочи на уровне 2 – 5 кг/т агломерата (с 45 до 40 кг/т агломерата). Не сообщалось о проблемах, связанных конкретно с процессом. Некоторые эксплуатационные преимущества технологии связаны с ростом производства агломерата на 1 нм3 отходящих газов, устойчивым качеством агломерата и возможностями существующих агломерационных установок для роста – приблизительно на 40% (например, с помощью удлинения спекательной машины) без какого-либо увеличения объема отходящих газов.

Применимость

Рециркуляция отходящих газов с использованием этой технологии может быть реализована на новых и существующих агломерационных установках. Однако на существующих установках она зачастую возможна лишь как частичный рециклинг отходящих газов из-за ограничений в месте. На установке в г. Линце, Австрия, удалось внедрить новую технологию и сохранить существующую систему отходящих газов (т.е. общий газоход, система очистки газов, основной вентилятор и дымовая труба). Применение рециркуляции отходящих газов требует особых усилий для обеспечения того, чтобы качество агломерата и производительность не находились под негативным воздействием (см. п. 3.3.5.2).

Экономика

Капитальные затраты для области спекания площадью 250 м² составляют около 15 млн евро. На цитируемой установке были особенно выгодными с экономической точки зрения, поскольку не делались изменения в существующей системе отходящих газов. Снижение эксплуатационных затрат является результатом снижения потребления топлива примерно на 2 – 5 кг кокса/т агломерата и минимизации затрат на очистку отходящих газов вследствие меньшего объема газа, в особенности, когда используются дорогие системы очистки газа, такие как мокрая газоочистка от тонкодисперсных частиц или рукавные фильтры с добавкой адсорбирующих веществ.

Применение этой технологии снижает инвестиционные и эксплуатационные затраты для современных систем очистки газа.

В 2007 г. затраты на селективную систему рециркуляции газа для агломерационной установки компании ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия, были оценены в 14 млн евро для установки 1 (175м²) и 27,3 млн евро для установки 2 (498 м²). Данные не передавались о мотивации для внедрения.

Пример установок

Эта технология находится в эксплуатации с мая 2005 г. на агломерационной линии № 5 компании Voestalpine в г. Линц, Австрия, и она была модернизирована с удлинением ленты с 56 до 74 м.

Справочная литература: [217], [277], [295], [307].

Утилизация частей отходящих газов для различных частей агломерационной ленты

Концепция технологии селективной рециркуляции основана на местном отсосе отходящих газов от спекания на ленте и на местном рециклинге над слоем агломерата. Этот селективный отсос и рециклинг является основным различием между этим процессом и спеканием с оптимизированными выбросами (EOS). На рис. 3.25 показана схематическая диаграмма такой селективной рециркуляции отходящих газов, внедренной на агломерационной установке в Японии.

В этом случае 480 м² площади спекания разделено на четыре различные зоны (см. рис. 3.5 и 3.6 и табл. 3.38):

- зона 1: газ, соответствующий секции подогрева сырьевой смеси, должен подаваться в середину ленты (высокое содержание O₂, низкое содержание H₂O, низкая температура);
- зона 2: газ с низким содержанием SO₂ должен сбрасываться в дымовую трубу после обеспыливания (высокое содержание O₂, низкое содержание H₂O, низкая температура);
- зона 3: газ с высоким содержанием SO₂ должен сбрасываться в дымовую трубу после обеспыливания и десульфуризации (газоочистка с раствором гидроксида магния) (высокое содержание O₂, низкое содержание H₂O, низкая температура);
- зона 4: газ с высоким содержанием SO₂, соответствующий горячей секции

вокруг фронта горения, должен рециркулировать в первую половину ленты сразу после зоны розжига (высокое содержание O_2 , низкое содержание H_2O , очень высокая температура).

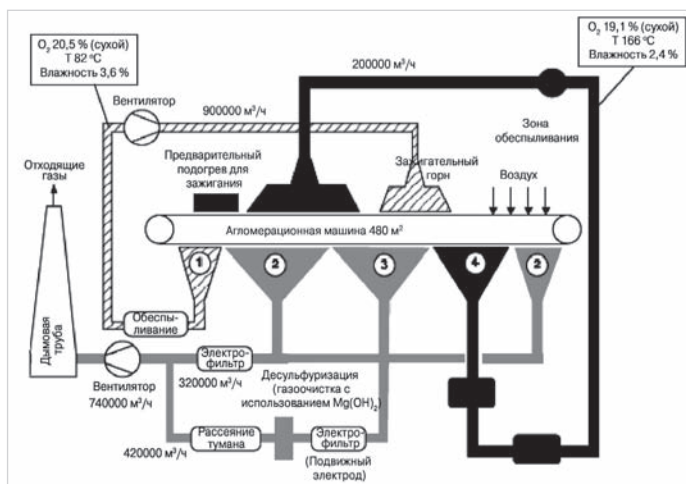


Рис. 3.25. Схематическая диаграмма селективной рециркуляции отходящих газов на аглофабрике № 3 японской компании Nippon Steel Corporation, Yawata Works [70]

В этой процедуре концентрация кислорода в утилизируемых отходящих газах остается высокой (19%), а уровень влажности – низким (3,6%). Достигается уровень рециклинга в 25% без снижения качества агломерата (RDI – показатель снижения восстановимости агломерата) остается практически постоянным, а SI (показатель прочности) возрастает на 0,5%). Сообщалось также о 6% экономии твердого топлива.

Этот способ имеет два преимущества по сравнению с обычным спеканием:

- 1). Содержащийся в отходящих газах кислород можно эффективно использовать с помощью селективной рециркуляции.
- 2). Отходящие газы из различных секций можно очищать отдельно в зависимости от состава газа. Таким образом капитальные и эксплуатационные затраты на очистку отходящих газов значительно снижаются по сравнению с обычным спеканием, даже по сравнению с системой EOS.

В табл. 3.38 приведены характеристики потоков отходящих газов с использованием селективной рециркуляции отходящих газов на агломерационной установке № 3 компании Nippon Steel Corporation на заводе Yawata Works.

ТАБЛИЦА 3.38 ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКОВ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЕЛЕКТИВНОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА УСТАНОВКЕ ДЛЯ СПЕКАНИЯ № 3 КОМПАНИИ NIPPON STEEL CORPORATION НА ЗАВОДЕ YAWATA WORKS В Г. ТОБАТА [119]

Секция потока отходящих газов	Расход, нм3/ч	Температура, оС	O ₂ , об. %	H ₂ O, об. %	SO ₂ , мг/нм3	Очистка отходящих газов
Воздушные короба 1,; 3	62000	82	20,6	3,6	0	Рециркуляция на агломерационную ленту
Воздушные короба 4; 13; 32	290000	99	11,4	13,2	21	Выброс через дымовую трубу после электрофилтра
Воздушные короба 14; 25	382000	125	14,0	13,0	1000	Выброс через дымовую трубу после электрофилтра и десульфуризации
Воздушные короба 26; 31	142000	166	19,1	2,4	00	Рециркуляция на агломерационную ленту
Дымовая труба	72000	95	12,9	13	0,15	Выбросы в воздух

Достигаемые экологические выгоды

Были достигнуты следующие выгоды с точки зрения снижения уровня загрязнений: снижение объема дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу (около 28%) и выбросов пыли (около 56%). Отметим, что сюда включается эффект от модернизации электрофилтра (который оснащается подвижными электродами) и снижение выбросов SO₂ (около 63%, включая финишную десульфуризацию отходящих газов из зоны 3). Сообщалось о небольшом снижении выбросов NO_x (около 3%). В табл. 3.39 сравниваются выбросы до и после применения секционной рециркуляции отходящих газов.

В табл. 3.39 дается сравнение конечного состава отходящих газов до и после модернизации с селективной рециркуляцией отходящих газов на агломерационной установке № 3 компании Nippon Steel Corporation на заводе Yawata Works в г. Тобата, Япония.

ТАБЛИЦА 3.39 СРАВНЕНИЕ КОНЕЧНОГО СОСТАВА ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ДО И ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ С ВВЕДЕНИЕМ СЕЛЕКТИВНОЙ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА УСТАНОВКЕ ДЛЯ СПЕКАНИЯ № 3 КОМПАНИИ NIPPON STEEL CORPORATION, YAWATA WORKS, Г. ТОБАТА, ЯПОНИЯ [119]

Характеристика/компонент	Единица	Обычное спекание (с установкой десульфуризации)	Спекание с селективной рециркуляцией отходящих газов	Усовершенствование
Расход отходящих газов	нм3/ч	925000	665000	28%
Пыль (1)	мг/нм3	50	30 (2)	56% (по массе)
SO _x (3)	мг/нм3	26	14	63% (по массе)
NO _x	мг/нм3	408	559	3% (по массе)
Нетто потребление энергии	ГДж/т агломерата	1662	1570	6% (4)

- (1) Отходящие газы очищаются с помощью электрофилтра
- (2) Снижение выбросов пыли достигается частично обслуживанием электрофилтра
- (3) Часть отходящих газов очищается в установке для десульфуризации
- (4) Это снижение нетто потребления электроэнергии следует рассматривать по отношению к требованиям по производительности и качеству в Японии и на агломерационных установках в странах ЕС.

Взаимодействия между средами

Установка дополнительных вентиляторов приводит к большему потреблению электроэнергии. Однако этот рост пренебрежимо мал по сравнению со снижением потребления коксовой мелочи.

Эксплуатационные данные

Система, использующая селективную рециркуляцию отходящих газов, была установлена на агломерационной установке № 3 в г. Тобата на заводе Yawata Works компании Nippon Steel Corporation в октябре 1992 г. Отходящие газы разделяются на четыре части, каждая из которых очищается раздельно. Система работает без сбоев, а рециклинг отходящих газов не воздействует на качество агломерата. Однако последнее утверждение не должно рассматриваться в отношении упоминаемой японской установки с более низкой производительности при сравнении с многими агломерационными установками в странах ЕС.

Применимость

Селективная рециркуляция отходящих газов может применяться как на новых, так и на существующих установках, хотя признается, что инвестиционные затраты будут ниже для новой установки, на которой система внедряется, на стадии планирования. На некоторых существующих установках могут быть значительно более высокие затраты вследствие особенностей конструкции установки. Кроме того на них может отсутствовать возможность внедрить частичный рециклинг отходящих газов из-за ограничений места. Применение рециркуляции отходящих газов требует особых усилий для того, чтобы избежать негативного воздействия на качество агломерата и производительность (см. п. 3.3.5.2).

Экономика

В Европе капитальные затраты для системы рециклинга газа составляли 8 - 10 млн евро в 1997 г., исключая оборудование для подавления оксидов азота, серы и других компонентов. Конфиденциально сообщались данные об эксплуатационных затратах. Сообщалось о снижении потребления кокса на 6%.

Данные не приведены о мотивации для внедрения.

Пример установок

Имеется пять установок в Японии с использованием этой технологии. Данные, приведенные здесь, относятся к агломерационной установке № 3 на заводе Yawata Works компании Nippon Steel Corporation.

Справочная литература: [65], [119].

4. УСТАНОВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ [208], [318]

4.1 Применяемые процессы и технологии

Как упоминалось в разделе 3.1.1, грануляция и спекание железной руды являются дополнительными маршрутами технологического процесса для приготовления сырья из оксидов железа для производства чугуна. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Оба они находятся под сильным влиянием местных условий, таких как доступность и тип сырьевых материалов. По различным причинам агломерат практически всегда производится на металлургическом заводе: это дает возможность проводить рециклинг твердых отходов; коксовая мелочь имеется на металлургических заводах для использования в качестве топлива; агломерат склонен к ухудшению свойств в течение транспортирования и обращения. Окатыши производятся из сырьевых материалов – пылевидной руды и добавок с размерами $<0,05$ мм с получением сфер диаметром 9 – 16 мм с использованием очень высоких температур, и такой процесс обычно проводится на месте добычи руды или в порту отправления. В странах ЕС имеется только один металлургический завод с полным циклом, в котором имеется установка для получения окатышей (в Нидерландах). В 2007 г. Швеция имела пять автономных установок для получения окатышей. Производство окатышей на этих шести установках (включая Нидерланды) в 2007 г. составило 27 млн. т/год. Потребление окатышей в странах ЕС-25 составляет около 43 млн. т.

Окатыши представляют собой мелкие, кристаллизованные шарики из железной руды с размером 9 – 16 см. На рис. 4.1 показан барабанный окомкователь, который является частью установки для получения окатышей.



Рисунок 4.1: Барабанный окомкователь как часть установки для получения окатышей, на которой получают сырые окатыши

Процесс получения окатышей состоит из измельчения и сушки или обезвоживания, увлажнения и смешения, комкования и отверждения с последующим грохочением и обработкой (см. рис. 4.2).



Рисунок 4.2: Схема установки для получения окатышей в Нидерландах. Источник: [200]

4.1.1 Дробление и сушка/обезвоживание [208]

Шведские установки для получения окатышей обычно располагаются на месте добычи руды и ее обогащения, включая магнитную сепарацию, которая проводится перед процессом получения окатышей. Так как эти процессы проводятся мокрым способом, конечное измельчение перед комкованием также проводится мокрым способом (см. рис. 4.3). Добавки (оливин, доломит, кварцит и (или) известняк в зависимости от конечного продукта) измельчаются, а затем добавляются к рудному шламу, обычно при уровне 3 – 3,5%, перед сушкой. На стадии смешения добавляется связующее перед процессом комкования.

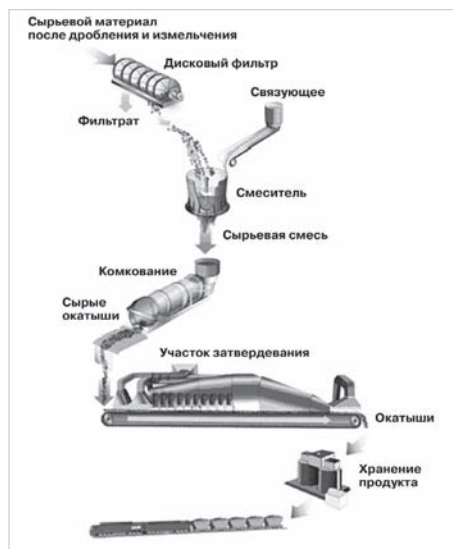


Рисунок 4.3: Схема установки для получения окатышей с мокрым дроблением. Источник: [113].

В отличие от этого, голландская установка работает на импортируемых рудах, которые смешиваются перед процессом измельчения (если только руда не была достаточно измельченной, когда она может обойтись без стадии измельчения и присоединиться к технологической схеме на стадии увлажнения и смачивания) (см. рис. 4.2). Руды сушатся и измельчаются одновременно, вместе с совместимыми флюсами, такими как оливин. Тепло для сушки в основном получается с помощью природного или доменного газа, а кислород для горелки и дополнительное тепло поставляются со стадии охлаждения окатышей. Температура составляет приблизительно 100°C.

Мельницы для сухого измельчения окатышей компании Corus в Эймейдене работают в замкнутом цикле с системой воздушного классификатора. Измельченная руда, удаляемая из мельниц, разделяется на две фракции с помощью воздушного классификатора, фракция завышенного размера возвращается в мельницу для дополнительной обработки, в то время как фракция надлежащего размера направляется дальше на стадию увлажнения и смешивания. Частицы с очень малым размером улавливаются в электрофилтре и возвращаются в поток продукта, а электрофилтр является составной частью системы классификации.

4.1.2 Приготовление сырых окатышей

После горячего дробления в материал вводятся добавки перед повторным увлажнением в отдельной стадии увлажнения и проводится смешение со связующим (бентонит или органическое связующее в зависимости от типа окатышей). При смешении и на стадии увлажнения на голландской установке делаются добавки тщательно сортированного по размерам твердого топлива (коксовая мелочь и (или) антрацит) вместе со связующим из бентонита.

Как на шведских, так и на голландской установке уровень влажности смеси для производства окатышей, направляемой на стадию комкования, составляет от 7 до 9%.

Концентрат железной руды с регулируемой влажностью (сырьевая смесь) затем перерабатывается на установке для получения сырых окатышей. Она обычно оснащена 4-7 системами комкования, состоящими из бункерного питателя, барабанного окомкователя, барабанных грохотов и конвейеров для циркулирования материалов. Барабанный окомкователь наклонен на 6 – 8° по отношению к горизонтальной плоскости. Для получения структурированных сырых окатышей, обычно в диапазоне от 9 до 16 мм, проходящая через грохот фракция и фракция более крупного размера отделяются грохочением и рециркулируют на стадию комкования.

4.1.3 Отвердевание [208]

Отвердевание, которое представляет собой термическую обработку, состоит из сушки, нагрева и охлаждения, и проводится в двух различных системах: в процессе “обжига с прямолинейным движением” или в процессе “обжига в ротационной печи”. В течение термической обработки магнетит почти полностью окисляется до гематита. Шведские руды имеют очень высокое содержание магнетита. Так как окисление магнетита является экзотермическим процессом, эта реакция может поставлять до 60%

энергии, необходимой для отвердевания окатышей. Смесь руд, перерабатываемых на голландской установке, имеет более низкое содержание магнетита (максимум 25%), а реальное количество будет зависеть от обстоятельств на мировом рынке, где ощущается нехватка магнетитовых руд. Добавка коксовой мелочи и (или) антрацита делается для голландских окатышей, для того чтоб компенсировать более низкое содержание магнетита по сравнению с ситуацией в Швеции (см. табл. 4.1 или информацию о потребности в энергии и топливе).

4.1.3.1 Процесс обжига с прямолинейным движением [114], [318]

Процесс обжига с прямолинейным движением решеток состоит из подвижной решетки, разделенной на ряд различных секций для сушки, подогрева, прокаливания и охлаждения сырых окатышей (см. рис. 4.4).

Перед тем как сырые окатыши попадут на колосниковую решетку, прутки колосниковой решетки покрываются слоем “постели” из обожженных окатышей толщиной 5 – 10 см. Затем сырые окатыши загружаются на верхнюю часть слоя “постели” с образованием газопроницаемого слоя с общей толщиной 40 – 55 см. сырые окатыши должны быть нагреты приблизительно до 1300 – 1350°C в течение окисления и спекания для получения окатышей с высокой прочностью. Это может быть достигнуто с помощью серии горелок с каждой стороны подвижной решетки, обычно работающих на жидком топливе или газе. На голландской установке на металлургическом заводе используется коксовый газ в горелках, в то время как добавляется коксовая мелочь/антрацит к окатышам, обеспечивая дополнительный внутренний подогрев (как в случае окисления магнетита в шведской практике получения окатышей). В конце ленты отвердевания фракция отвержденных окатышей подвергается рециклингу для использования в качестве слоя “постели”.

197

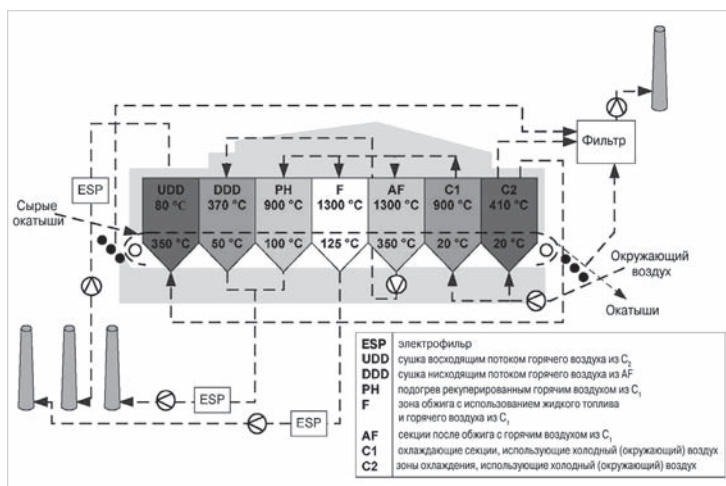


Рисунок 4.4: Схема процесса обжига с прямолинейным движением. Источник: [113]

4.1.3.2 Процесс обжига в ротационной печи [318]

Процесс обжига в ротационной печи (рис. 4.5) состоит из подвижной колосниковой решетки, сходной с процессом обжига с прямолинейным движением. Обжиг имеет место в ротационной печи, а охлаждение проводится в отдельном кольцевом охладителе.

Подвижная колосниковая решетка состоит из бесконечной цепи колосниковых решеток, которые соединены газоплотным способом с воздушными коробами. Сырые окатыши подаются непосредственно на колосниковые решетки для создания слоя толщиной около 20 – 25 см. После предварительной обработки на решетке окатыши загружаются через желоб в ротационную печь. Печь имеет одну горелку, работающую на жидком топливе или угле у стороны выгрузки, и она работает при температуре приблизительно 1250°C. Кольцевой охладитель имеет решетчатое дно, которое дает возможность холодному воздуху проникать в слой окатышей. Стены разделяют охладитель на секции таким образом, что подается горячий воздух на более ранних стадиях процесса.

Когда перерабатываются руды на основе магнетита, имеет место окисление до гематита и спекание на последующей стадии подогрева подвижной колосниковой решетки, в зонах обжига и охлаждения.

198

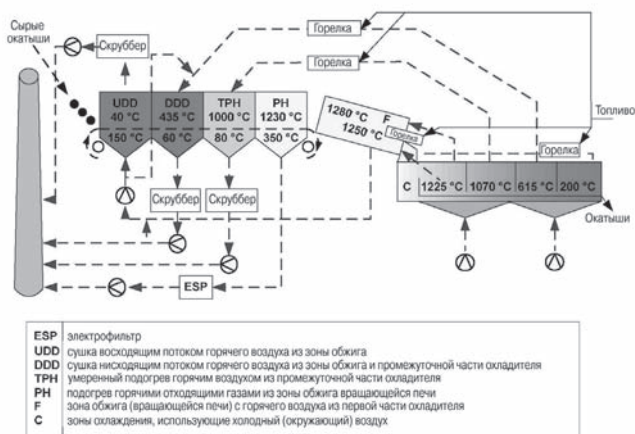


Рисунок 4.5: Схема процесса обжига в ротационной печи

4.1.4 Грохочение и обработка [318]

В конце линии отверждения окатыши собираются и подвергаются грохочению. Проходящие через грохот или разрушенные окатыши могут быть подвергнуты рециклингу, например, в качестве слоя “постели” (см. рис. 4.2). Могут происходить значительные выбросы пыли.

Для автономных установок в Швеции термообработанные окатыши хранятся в накрытых бункерах перед погрузкой в открытые железнодорожные вагоны

для транспортирования в порты Нарвик и Лулео. При погрузке на судно 2 – 3% материала отделяется грохочением как проходящий через грохот и продается как подача агломерата. Как для любых материалов доменной печи (кокс, агломерат, окатыши и крупнокусковая руда), заключительное грохочение проводится на участке доменной печи.

4.2 Нынешние уровни выбросов и потребления

4.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления и производства

На рис. 4.6 приведен обзор входных и выходных массовых потоков на установке для получения окатышей. Этот обзор можно использовать для сбора данных от отдельных установок для получения окатышей.

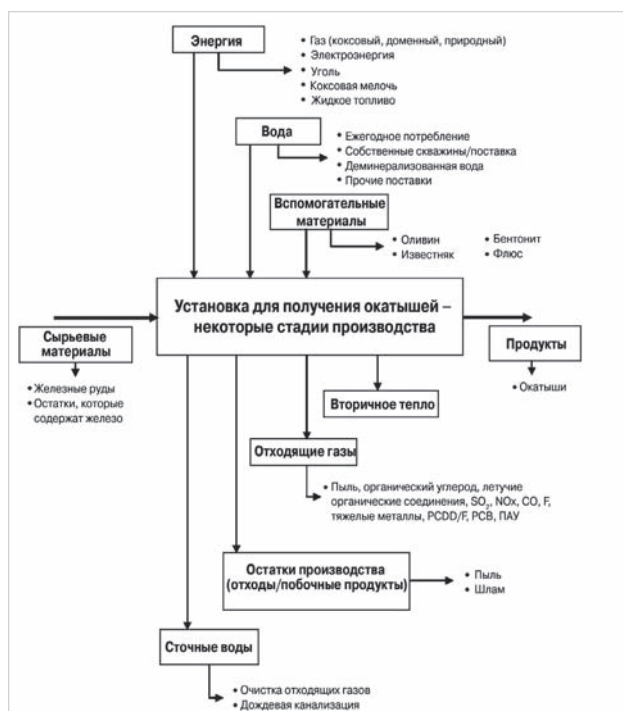


Рисунок 4.6 Общее представление о массовом потоке на установке для получения окатышей. Источник: [200]

Для установок для получения окатышей были определены удельные входные факторы и коэффициенты выбросов. Значения этих факторов и коэффициентов от трех установок для получения окатышей в странах ЕС приведены в табл. 4.1.

ТАБЛИЦА 4.1: ДАННЫЕ ПО ВХОДУ/ВЫХОДУ ОТ ТРЕХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОКАТЫШЕЙ В СТРАНАХ ЕС-25. ИСТОЧНИКИ: [208], [318]

Вход			Выход		
Сырьевые материалы			Продукты		
Железная руда	кг/т	935-965	Окатыши	кг/т	1000,00
Бентонит	кг/т	4,1-6,8			
Оливин (1)	кг/т	0-27,6	Расход отходящих газов	Нм3/т	1940-2400
Известняк	кг/т	0-5	Пыль	г/т	14-150
Доломит (2)	кг/т	0-13,5	Пыль	мг/нм3	7-70
Кварцит	кг/т	0-20	Cd	мг/т	0,02-2,2
			Cr	мг/т	5,1-22,4
COG/BOF (3)	МДж/т	306	Cu	мг/т	1,5-6,7
Природный газ(3)	МДж/т	14	Hg(4)	мг/т	0,4-24,2
Коксовая мелочь(3)	МДж/т	342	Mn	мг/т	5,1-64,3
Уголь (5)	МДж/т	223	Ni	мг/т	6,5-17,2
Нефть (5)	МДж/т	43-186	Pb	мг/т	15,6-70,8
Электроэнергия	МДж/т	54-99	Tl	мг/т	0,6-3,0
			V	мг/т	13,4-15,1
Вода	м3/т	0,11-1,25	Zn	мг/т	3-1300
			HF (6) (7)	г/т	1,8-5,8
Сжатый воздух	Нм3/т	6,2-12,8	HCl (6) (7)	г/т	4-41
			SOx (6) (7)	г/т	11-213
			NOx	г/т	150-550
			NOx	мг/нм3	73-283
			CO	г/т	<10(5)-140
			CO2	кг/т	17-193
			VOC (9)	г/т	5(5)-40(3)
			PAH (10)	мг/т	0,7-1,1
			PCDD/F(4)	нг I-TEQ/т	8,2-196
			PCDD/F(4)	нг I-TEQ/нм3	0,005-0,1
			Остатки производства (отходы/побочные продукты)		
			Пыль	кг/т	-

(1) В случае производства окатышей для доменных печей

(2) В случае производства окатышей для прямого восстановления

(3) Когда установка является частью завода с полным циклом (Нидерланды) [200]

(4) Ртуть преимущественно в элементной форме. Нагрузка зависит от перерабатываемой руды

(5) В случае автономной установки в Швеции (магнетитовые руды) [200]

(6) Нижнее значение, если применяется технология для удаления кислых газов

(7) Рассчитано по массовому балансу

(8) Нижнее значение, если применяется технология десульфуризации

(9) Не известен метод измерения

(10) Информация по методу Borneff6, EPA или для бенз-а-пирена не имеется

Примечание: данные за 2004 г. и относятся к трем установкам, на которых производилось почти 13 млн. т окатышей в 2004 г., что составляло около 63% производства в странах ЕС-25

4.2.2 Экологические проблемы в процессе изготовления окатышей

Установка для производства окатышей является главным образом источником выбросов в воздух твердых частиц и газов. Когда применяются технологии борьбы с загрязнениями для снижения выбросов, имеют место взаимодействия между средами. В приводимых ниже разделах 4.2.2.1 и 4.2.2.5 описаны самые важные экологические проблемы применительно к установкам для изготовления окатышей.

4.2.2.1 Выбросы в воздух [208]

Выбросы в воздух от измельчения

В отработанных газах после воздушного классификатора содержатся большие количества пыли. Эта пыль состоит главным образом из железа, и она отражает состав сырьевого материала. Уровень выбросов можно снизить с помощью электрофильтров.

Пыль от грохочения и обработки

Грохочение и обработка имеют место на стадии комкования в начале процесса, когда все материалы влажные. Может иметь место некоторый выброс пыли, но он не имеет особой значимости, и в основном это происходит в зоне комкования установки. В конце участка затвердевания окатыши собираются и подвергаются грохочению. Проходящие через грохот или раздробленные окатыши можно подвергать рециклингу. Значительный уровень выбросов пыли в этой зоне можно предотвратить с помощью применения различных мер. На установке в Эймейдене окатыши увлажняются (3% влажности) для предотвращения выбросов пыли, а некоторые позиции загрузки-выгрузки подвергаются местному обеспыливанию.

Пыль и газообразные выбросы от участка затвердевания

Выбросы газа и пыли имеют место в зоне обжига участка затвердевания. Они происходят непрерывно, и с ними нужно бороться с помощью эффективных электрофильтров, рукавных фильтров или газоочистки.

Выбросы NO_x от затвердевания и сушки

Выбросы NO_x образуются в течение сжигания с помощью двух механизмов. При окислении соединений азота в углеводородном топливе образуются “топливные NO_x”. Другой, более важный механизм, связан с образованием NO_x в процессе получения окатышей в результате наличия высоких температур. Это приводит к тому, что азот воздуха и кислород реагируют с образованием “термических NO_x”. Данные, приведенные в табл. 4.1, отражают значительные различия в образовании NO_x. Иногда коксовая мелочь замещается антрацитом, что может привести к снижению выбросов NO_x на 25%. Еще одним применяемым способом снижения выбросов NO_x является впрыск воды для снижения пиковых температур.

Выбросы SO₂ от затвердевания

Диоксид серы (SO₂) образуется в течение процесса затвердевания. Источниками серы являются главным образом уголь, а также нефтепродукты и в мень-

шей степени руды и добавки коксовой мелочи и (или) антрацита. В табл. 4.1 показано, что выбросы SO_2 примерно в десять раз выше, когда не применяются методы очистки.

Выбросы HCl и HF

Установка для получения окатышей является также источником выбросов фтористо-водородной кислоты (HF) и соляной кислоты (HCl). Эти компоненты образуются в течение затвердевания минералов (апатита), которые находятся в руде и содержат фториды и хлориды. В табл. 4.1 указано, что выбросы HF и HCl примерно в десять раз выше без применения технологий очистки.

Известно, что шведские руды отличаются высоким содержанием фторидов (см. Раздел 3.2.2.1).

Полихлорированные дибензо-п-диоксины и дибензофураны (PCDD/F)

PCDD и PCDF образуются в течение высокотемпературных процессов, и обычно они объясняются с помощью двух различных механизмов.

1). Неполное разрушение PCDD/F, находящихся в сырьевых материалах/топливе;

2). Ново синтез из источников углерода и хлора.

В течение сжигания на установке для получения окатышей частично образуются виды углеводородов с кольцевой структурой (предшественники) в качестве промежуточных продуктов сжигания. При наличии хлора они могут реагировать с образованием PCDD/F. Предшественники включают дибензофураны или полициклические ароматические соединения (ПАН), образующиеся вследствие неполного сжигания. Сажа является еще одним источником образования диоксинов, так как окисление может содействовать образованию не хлористых предшественников. Реакции имеют место в зонах охлаждения, вероятно, в диапазоне от 300 до 400°C.

В табл. 4.1 указаны значительные различия в образовании диоксинов. Результаты прямых измерений указывают на разброс от 8,2 до 196 нг I-TEQ/т окатышей. Причину такого разброса можно объяснить тем фактом, что выбросы PCDD/F связаны с аспектами, перечисленными ниже:

- образование: чем меньше находится предшественников, тем меньше образуется диоксинов. При высоком содержании кислорода в дымовых газах снижается возможность наличия предшественников углерода, так что должно образоваться меньше соединений PCDD/F;
- способы уменьшения загрязнения: если дымовые газы подвергаются закалке до низких температур (<80°C), образующиеся соединения PCDD/F будут конденсироваться на частицах пыли, так что выбросы PCDD/F будут соответствовать выбросам пыли;
- эффективные меры снижения выбросов пыли при низких температурах будут способствовать эффективному удалению PCDD/F.

4.2.2.2 Потоки воды

Когда используются скрубберы для удаления загрязняющих веществ, будут образовываться сточные воды. Эти сточные воды необходимо сливать вследствие наличия HF. Этот слив относительно небольшой, когда сточные воды подвергаются рециклингу и применяется добавка NaOH. В некоторых случаях эта сливаемая вода очищается на установках для удаления мышьяка.

Кроме того, сточные воды сбрасываются с установок и оборудования для влажной промывки. На установке компании Cogus в Эймейдене, Нидерланды, 100% этой воды подвергается рециклингу, и ее расход составляет около 0,04 м³/т окатышей. Охлаждающая вода может получаться на секциях измельчения и сушки, а также от участка затвердевания. Для упомянутой голландской установки удельный расход составляет 0,16 м³/т окатышей от измельчения и сушки и 0,05 м³/т окатышей от затвердевания, соответственно.

Для шведской установки ситуация в некотором смысле отличная. Части рудничных вод используются в качестве технической воды для скрубберов и мокрых электрофильтров на стадиях очистки. Промышленные сточные воды, ливневые стоки и рудничные воды проходят через отстойник, из которого вода далее направляется в пруд-отстойник, где происходит предварительное осветление. Отсюда вода направляется в пруд-осветлитель, где происходит дополнительное осаждение.

На новой установке для получения окатышей МК 3 на предприятии Malmberget¹ (Швеция) проводится непрерывное измерение загрязнения воды. В табл. 4.2 показаны достигаемые значения концентрации для установки, расположенной на предприятии Мальмбергет, Швеция.

ТАБЛИЦА 4.2 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ ПО ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД НА РУДНИКЕ МАЛЬМБЕРГЕТ И В Г. КИРУНА (ШВЕЦИЯ). ИСТОЧНИКИ: [113], [166]

	Мальмбергет 2006	Мальмбергет 2007	Кируна 2006	Кируна 2007	Единицы
Параметр	Концентрация				
Взвешенные твердые вещества	9,12	10,9	4,12	2,33	мг/л
Общий азот	39,5	41	19,8	17,5	мг/л
Фосфор	41,4	48,7	0,0039	0,028	мкг/л
Кадмий	0,0018	0,011	0,025	0,014	мкг/л
Кобальт	3,63	6,23	0,35	0,37	мкг/л
Хром	0,70	0,35	0,05	0,1	мкг/л
Медь	2,30	3,73	2,68	4,03	мкг/л
Ртуть	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	мкг/л
Свинец	0,20	0,14	0,13	0,24	мкг/л
Цинк	6,87	5,95	0,63	4,56	мкг/л
Никель	13,7	16	1,83	2,39	мкг/л
Мышьяк	3,34	1,47	3,56	0,7	мкг/л

¹ Мальмбергет – предприятие по добыче и переработке железной руды в Швеции на базе известных с 17 века железорудных месторождений Елливаре. Добыча железной руды ведется с 1886 г. В состав предприятия входят шахта, обогатительная и окомковательная фабрики, железнодорожные и портовые сооружения.

4.2.2.3 *Остатки процесса, такие как отходы и побочные продукты*

Сама по себе установка для получения окатышей не является основным источником твердых отходов, но они образуются при сортировке и обогащении сырьевых материалов. Кроме того, твердые отходы образуются, когда подавляются выбросы пыли. Осажденная пыль оказывается в шламах на установке для очистки сточных вод.

4.2.2.4 *Потребление энергии [318]*

Удельное потребление энергии успешно снижалось в течение последних десятилетий. Снижение стало возможным за счет систематического усовершенствования процесса. В 2005 г. удельное потребление энергии находилось в диапазоне от 186 до 662 МДж/т окатышей.

Существуют некоторые различия между различными типами установок, когда речь заходит о виде используемой энергии и виде потребляемой энергии. В процессе обжига в ротационной печи преимущественно используется уголь, в то время как в процессе с подвижными колосниковыми решетками используется жидкое или газообразное топливо.

На большинстве установок для получения окатышей в мире, как и в случае Нидерландов, углеродсодержащие добавки к окатышам дают дополнительное тепло, требующееся для спекания. Этот случай относится к верхнему диапазону внешнего потребления энергии.

Шведские автономные установки используют преимущественно руды из магнетитовых месторождений, которые обладают большим преимуществом за счет окисления магнетита. Фактически приблизительно 60% требуемой тепловой энергии поставляется с помощью окисления магнетита, следовательно, итоговое потребление внешней тепловой энергии находится в нижнем конце упомянутого диапазона.

Для экономии энергии тепло, поставляемое от окисления магнетита и с топливом, утилизируется в процессе получения окатышей. Основная часть избыточного тепла от секций охлаждения машины рециркулирует в горячие зоны, таким образом, снижается необходимость во внешнем потреблении энергии. На некоторых промышленных участках отработанное тепло утилизируется в системе внутреннего нагрева. Когда имеется практическая возможность, отработанное тепло также передается в сети муниципального отопления.

4.2.2.5 *Шум*

Мельницы для сухого измельчения компании Corus в Эймейдене заполняются 150 т железных окатышей и вращаются со скоростью 2 оборота в секунду (скорость вращения устанавливается для достижения оптимальной эффективности размола).

При работе этих мельниц могут образовываться значительные шумовые выбросы около 85 дБА, и по этой причине они полностью закрываются в шумопоглощающих корпусах. Мельницы с мокрым измельчением не образуют такого уровня шума, и обычно не возникает необходимости в использовании для них шумопоглощающих корпусов.

4.3. Технологии, рассматриваемые при определении НДТ для установок получения окатышей

4.3.1 Общая информация

В этом разделе описаны технологии (или их сочетания) и соответствующий мониторинг, которые считаются имеющими потенциал для достижения высокого уровня защиты окружающей среды в деятельности, охватываемой этим документом.

Он охватывает технологии, интегрированные в технологический процесс, и технологии очистки в конце производственного цикла. Рассмотрены также вопросы предотвращения образования отходов и управления ими, включая минимизацию образования отходов и процедуры рециклинга. Кроме того, охвачены также технологии для снижения потребления сырьевых материалов, воды и энергии.

В Приложении III к Директиве перечислен ряд критериев для определения ВАТ (НДТ), и информация в этой главе относится к данным соображениям. Насколько возможно, как показано в табл. 4.3, используется стандартная структура для отражения информации, собранной для каждой технологии, что дает возможность сравнения технологий и оценки в отношении определения НДТ, приведенного в Директиве.

Этот раздел необязательно дает исчерпывающий перечень технологий, которые могут применяться в секторе, и могут иметься или могут быть разработаны другие технологии, которые можно рассматривать при определении НДТ для индивидуальной установки.

ТАБЛИЦА 4.3: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КАЖДОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ОПИСАННОЙ В ЭТОМ РАЗДЕЛЕ

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Описание	Краткое техническое описание с использованием, при возможности, рисунков, диаграмм и технологических схем
Достижимые экологические выгоды	Основные потенциальные экологические выгоды, достигаемые с помощью внедрения технологии (включая экономию энергии, воды, сырьевых материалов, а также рост производительности, эффективности использования энергии и т.д.)
Воздействия между средами	Потенциальные побочные воздействия на окружающую среду и ущерб для других сред вследствие внедрения технологии, включая подробности воздействий этой технологии на окружающую среду, по сравнению с другими технологиями (преимущества и недостатки, поддержанные данными, если таковые имеются), для того чтобы оценить воздействие технологии на окружающую среду в целом. Это может включать такие аспекты как: • потребление сырьевых материалов и воды • потребление энергии и вклад в изменение климата • потенциал разрушения стратосферного озона • потенциал создания фотохимического озона • подкисление в результате выбросов в воздух • твердые частицы в окружающей среде (включая микрочастицы и металлы) • эвтрофикация земли и водных объектов в результате выбросов в воздух или сбросов в воду • потенциал истощения кислорода в водных объектах • стойкие/токсичные/биоаккумулирующиеся компоненты в водных объектах или в почве (включая металлы) • образование или уменьшение (отходов) остатков • возможность повторного использования или рециклинга (отходов) остатков • шум и (или) запах • риск аварий

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Эксплуатационные данные	Реальные эксплуатационные данные (включая сравнительные условия, периоды мониторинга и методы мониторинга) об уровнях выбросов, потребления (сырьевых материалов, воды, энергии) и количеств образующихся отходов. Любая другая полезная информация о работе, обслуживании и контроле технологии
Применимость	Указание о типе установок или процессов, в которых технология может или не может применяться, а также ограничения для внедрения в некоторых случаях, с учетом, например, возраста установки (новая или существующая), факторов, связанных с модернизацией (например, наличие места), размера установки (большая или меньшая), технологии, уже используемой, и типа или качества продукта
Экономика	Информация о затратах (инвестиции и эксплуатация) и любой возможной экономии (например, снижение потребления сырьевых материалов или энергии, платежей за размещение отходов) или доходов, включая подробности о том, каким образом они были рассчитаны/оценены. Должна быть включена экономическая информация, важная для строительства новых или модернизации существующих установок. Это должно дать возможность идентификации, когда возможно, общего экономического воздействия технологии
Движущие силы для внедрения	Конкретные местные условия, требования (например, законодательство, меры безопасности) или не экологические факторы (например, рост производительности, повышение качества продукции), которые являются движущей силой или стимулируют внедрение технологии
Пример установок	Ссылка на установку (установки), на которых внедрена технология и о которых была собрана информация и использована при написании раздела. Указание о степени использования технологии в Европе или мире
Справочная литература	Литература или другой справочный материал (например, книги, отчеты, исследования, веб-сайты), которые были использованы при написании раздела и в которых содержится более подробная информация о технологии

4.3.2 Электростатические пылеуловители на дробилках (сухое измельчение)

После измельчения твердые частицы разделяются с помощью воздушной классификации. Крупные частицы подвергаются рециклингу на мельницах, а частицы нужного размера подаются на стадию смешения. Воздух, который используется для воздушной классификации, содержит большие количества пыли, которая должна быть уловлена. Характеристики этой пыли таковы, что она может быть эффективно уловлена с использованием электрофильтра. Уловленный материал можно подавать непосредственно на стадию смешения, так как он имеет такой же состав, что и сырьевой материал (приблизительно 1,1 вес. % коксовой мелочи, приблизительно 1,3% вес. оливина (FeO , MgO , SiO_2), а остальное смесь руд, которыми являются магнетит (FeO) и гематит (Fe_2O_3).

Достигаемые экологические выгоды

Электрофильтр в большей или меньшей степени работает как составная часть системы воздушной классификации. Достигаемые концентрации выбросов $<20 \text{ мг/нм}^3$. Электрофильтр современной конструкции может достичь меньшего уровня выбросов, и, следовательно, утилизировать также сырьевые материалы.

Воздействия между средами

Осадки из электрофильтра полностью используются в качестве сырьевого материала в барабанно-шаровой мельнице. При работе электрофильтра потребляет-

ся энергия. При расходе отходящих газов 300000 $\text{м}^3/\text{ч}$ и производительность 4 млн. т/год потребление энергии составляет приблизительно 1 МДж/т окатышей.

Не передавались эксплуатационные данные.

Применимость

Электрофилтры применимы для новых и существующих установок.

Экономика

Электрофилтр является составной частью конструкции установки: часть сырьевых материалов со стадии воздушной классификации утилизируется с помощью электрофилтра. Однако можно считать, что для сухого электрофилтра для очистки потока отходящих газов с расходом 300000 $\text{м}^3/\text{ч}$ потребуются инвестиции приблизительно в 2 млн. евро (в ценах 1996 г.) Эксплуатационные затраты можно принять за 0,03-0,05 евро/т окатышей (в ценах 1996 г.) для установки для производства окатышей с годовым производством 4 млн. т/год и расходом отходящих газов при сушке в мельнице 300000 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Мотивация для внедрения

Движущими силами для внедрения способа являются полная утилизация сырьевых материалов, и, таким образом, экономия ресурсов.

Пример установки

Установка для получения окатышей компании Corus в Эймейдене, Нидерланды.

Справочная литература: [65], [318], [247].

4.3.3 Индивидуальное или совместное снижение содержания твердых и газообразных загрязняющих веществ из зон сушки и отвердевания

На установках для получения окатышей используют несколько технологий для удаления пыли. Основными применяемыми технологиями являются механические пылеуловители (для крупных частиц), мультициклоны, мокрые скрубберы, рукавные филтры и электростатические пылеуловители (ESP). ESP и рукавные филтры обеспечивают высокую эффективность очистки, но они могут работать только в ограниченном диапазоне температур и влажностей. Мокрые скрубберы, поэтому, используются также на установках для получения окатышей для удаления пыли. Скрубберы могут быть очень эффективными для удаления пыли. Вода скрубберного цикла собирается и очищается с помощью механической очистки (*осветлители). Твердые вещества снова возвращаются в процесс.

Достигаемые экологические выгоды

Эффективность удаления пыли для перечисленных способов обычно бывает >95%, а в некоторых случаях >99%. Выбросы пыли могут быть <10 $\text{мг}/\text{м}^3$ (см. табл. 4.1). Например, на самой последней шведской установке ККЗ в г. Кируна концентрация пыли в отходящих газах после зоны сушки и отвердевания была ниже 10 $\text{мг}/\text{м}^3$, а общие выбросы пыли с установки в целом были ниже 100 г/т окатышей, в случае применения скруббера для очистки от выбросов после зоны сушки и электрофилтра для очистки от выбросов после зоны отвердевания.

Преимуществом мокрых скрубберов является то, что удаляются также SO_x , HF и HCl . Достигаемая концентрация выбросов в воздух (мокрый скруббер с добавкой NaOH) для $\text{SO}_2 < 30 - 50 \text{ мг/м}^3$, а для HF и $\text{HCl} < 1 - 3 \text{ мг/м}^3$. Кроме того, улавливаются также дым и аэрозоли. При использовании скрубберов выбросы SO_2 были снижены более чем на 95% на установке для получения окатышей LKAB Kiruna в 1995 г. [114].

Воздействия между средами

Обычно собранная пыль подвергается рециклингу в процессе получения окатышей. В случае скрубберов некоторая часть избыточной воды должна сбрасываться после надлежащей обработки.

Применение рукавных фильтров после мокрого скруббера требует, чтобы отходящие газы подогревались после скрубберов.

Эксплуатационные данные

Какие-либо проблемы не зафиксированы.

Применимость

Описанная технология в конце технологического процесса может применяться как на новых, так и на существующих установках.

Экономика

Было проведено исследование на одной установке с применением рукавного фильтра после скруббера. Так как необходимо подогревать поток отходящих газов после скрубберов, инвестиционные и эксплуатационные издержки включают в себя положение о затратах для подогрева. Инвестиции для рукавных фильтров включают оборудование для подогрева и составляют 25 млн. евро. Эксплуатационные затраты высокие – 8 млн. евро/год, главным образом вследствие затрат на подогрев [249].

Данные не приводились о мотивации для внедрения.

Пример установок

Установки для получения окатышей ККЗ и Kiruna (Швеция); компания Cogus, Эймейден, Нидерланды.

Справочная литература: [65], [114], [169], [208], [240], [251], [318].

4.3.4 Адсорбер по принципу выпадения газовой взвеси (GSA)

GSA является полусухим процессом. Влажное известковое молоко впрыскивается в отходящие газы в реактор кипящего слоя. Вода из известкового молока испаряется, и гашеная известь реагирует с примесями (HF , HCl и SO_2). Высокая концентрация пыли в отходящих газах повышает производительность GSA, и поскольку увеличивается реакционная поверхность, пыль оседает в растворе гашеной извести.

После реактора с кипящим слоем отходящие газы проходят через циклоны. Часть сухого продукта (прореагировавшая известь и пыль) удаляется и рециркулирует в реактор. Заключительная очистка отходящих газов выполняется с использованием электрофильтра.

Уровень выпрыска гашеной извести пропорционален концентрации SO_2 в отходящих газах.

Достигаемые экологические выгоды

Рабочие характеристики GSA на установке для получения окатышей подытожены в табл. 4.4. Эти данные были представлены шведской компанией LKAB, которая эксплуатирует GSA для очистки отходящих газов от участка отверждения на установке для получения окатышей ККЗ. Отходящие газы от зоны сушки участка отверждения проходят через скруббер Вентури для удаления пыли перед выбросом в атмосферный воздух.

ТАБЛИЦА 4.4 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ АДсорБЕРА ПО ПРИНЦИПУ ВЫПАДЕНИЯ ГАЗОВОЙ ВЗВЕСИ (GSA). ИСТОЧНИК: [200]

Компонент	Перед GSA (мг/м ³)	После GSA (мг/м ³)	Эффективность очистки
Оксиды серы (SO ₂)	300	9,6	96,8
Плавиковая кислота (HF)	78	<0,1	99,9
Соляная кислота (HCl)	133	0,6	99,5
Пыль	1400	2	99,9

Примечание: Установка для получения окатышей ККЗ, Кируна, Швеция, 1995 г.

Значения в табл. 4.4 демонстрируют низкий уровень общих выбросов с этой установки.

Можно представить следующие данные для этой установки: установка была сдана в эксплуатацию в январе 1995 г. и имела производительность 4,5 млн. т/год. Реальное производство в 1995 г. составило 2,8 млн. т окатышей. Эта установка оснащена двумя горелками: одна горелка в зоне обжига участка отверждения и одна горелка для повышения температуры отходящих газов от второй секции охлаждения, которая используется для подогрева воздуха в первой зоне подогрева.

Воздействия между средами

GSA представляет собой устройство, работающее на полусухом принципе, с электрофильтром (ESP) в качестве последней стадии очистки. В сухом остатке от электрофильтра содержатся пыль, CaSO₄, CaCl₂, CaF₂ и некоторое количество непрореагировавшей извести (CaO). Сухой остаток депонируется.

Потребление гашеной извести составляет 264 кг/ч (по проекту), а потребление воды – 10,6 м³/ч (по проекту). Кроме того, используется сжатый воздух (7 бар) с расходом 690 кг/ч (по проекту). Потребление энергии составляет около 0,64 МДж/т окатышей (по проекту).

Эксплуатационные данные

Не известны какие-либо конкретные проблемы.

Применимость

GSA является мерой снижения выбросов, которая может применяться как к новым, так и к существующим установкам.

Данные не передавались о экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

Установка для получения окатышей, LKAB, Кируна, Нидерланды.

Справочная литература: [200], [247], [248].

4.3.5 Интегрированная в технологический процесс очистка от оксидов азота

Основными источниками образования NOx на установке для получения окатышей являются “термические”, “топливные” и “быстрые” NOx. NOx, которые образуются в слое окатышей, состоят из “топливных” и “быстрых” NOx. Оба этих вида образуются за счет реакций между углеводородами в коксовой мелочи, азотом в коксовой мелочи и кислородом и азотом в воздухе (добавки коксовой мелочи делаются на голландской установке). Основными факторами для образования “термических” NOx являются высокие температуры (1300-1400°C) в зоне отвердения и высокая доступность кислорода в зоне горелок. Невозможно сделать различие между различными формами NOx после того, как они образовались, нет различия и в химическом составе. Для установок для получения окатышей можно полагать, что в общих выбросах NOx доминируют “термические” NOx.

Самой важной мерой является снижение образования термических NOx. Это может быть достигнуто с помощью снижения (пиковой) температуры в горелках и снижением избытка кислорода в воздухе для сжигания. Кроме того, более низкие выбросы NOx могут быть достигнуты с помощью сочетания низкого потребления энергии, низкого содержания азота в топливе (уголь и жидкое топливо) и ограничения избытка кислорода.

Достижимые экологические выгоды

210

На установке для получения окатышей ККЗ компании LKAB в г. Кируна (Швеция) выбросы NOx в зоне обжига составляют 175 – 196 г/т окатышей или связаны с удельным расходом отходящих газов 2400 нм³/т окатышей 73 – 82 мг/нм³. Эта установка была сдана в эксплуатацию в январе 1996 г., и не использовались технологии очистки в конце производственного цикла для снижения выбросов NOx. Низкие уровни NOx были достигнуты с помощью сочетания низкого потребления энергии, низкого содержания азота в топливе (уголь и жидкое топливо) и ограничения избытка кислорода. На установке используются две крупные горелки в зоне отвердения.

На установке для получения окатышей КК2 компании LKAB в г. Кируна (Швеция) используется технология косвенного сжигания угля. Выбросы NOx на этой установке составили 150 г/т окатышей. “Косвенное сжигание угля” означает, что уголь размалывается, фильтруется и хранится до того, как он будет использоваться в горелке. Эта технология делает возможным тонко регулировать потребление энергии и снижать количество переносимого воздуха, и это означает, что минимизируется одно из требований для образования термических NOx.

Ситуация на установке для получения окатышей компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, несколько иная. На установке используется 56 длинных горелок (из которых 44 работают одновременно). Выбросы NOx из зоны отвердения составляют приблизительно 550 г/т окатышей или (при 1940 нм³/т окатышей) 283 мг/нм³. Меры для интеграции в технологический процесс на этой установке были усложнены.

Новая установка для получения окатышей МКЗ на предприятии Мальмбергет, Швеция, оснащена дополнительными горелками в рекуперационной камере, чтобы была возможность снижения температуры пламени в устье горелки. При использовании этой технологии можно ожидать, что можно снизить образование NOx. Кроме того, камеры горелок проектируются, чтобы была возможность формирования и изменения геометрии факела. Кроме того, недавно началась долготная работа по разработке новых технологий для горелок, предназначенных для установок для получения окатышей, с целью снижения NOx.

Воздействия между средами

Воздействия между средами не происходят.

Эксплуатационные данные не передавались.

Применимость

При строительстве новой установки меры для интеграции в технологический процесс для снижения образования NOx можно рассматривать на стадии проектирования. В случае существующих установок предпочтительными являются технологии подавления образования NOx, интегрированные в процесс. Можно рассмотреть меры, не связанные с проектированием, как для новых, так и для существующих установок.

Экономика

Затраты для новых установок значительно ниже по сравнению с модернизацией.

Мотивация для внедрения

Мотивацией для внедрения является снижение выбросов в стране для выполнения национальных целей снижения в соответствии с национальными и международными правилами, экологическими нормативами и экономическим прогрессом.

Пример установок

Установки для получения окатышей КК2 и КК3 компании LKAB в г. Кируна, Швеция; установка МКЗ на предприятии Мальмбергет, Швеция, и компании Cogus в Эймейдене, Нидерланды.

Справочная литература: [114], [200], [208], [318].

4.3.6 Селективное каталитическое восстановление (SCR)

См. п. 3.3.2.8.

Достигаемые экологические выгоды

Снижение выбросов NOx.

Воздействия между средами

См. п. 3.3.2.8.

Эксплуатационные данные

Тот факт, что SCR может быть успешно установлено на новой установке для получения окатышей, автоматически не означает, что установка должна дать требуемые воздействия при разумных затратах на существующих установках. Компания LKAB уже исследовала возможности технологий очистки в конце производственного цикла для существующих установок. Вообще, температура

является слишком низкой для оптимизации подавления выбросов NOx. Поэтому поток газ должен быть подогрет в такой установке, что связано с негативными воздействиями типа возрастающего потребления топлива, и, следовательно, с повышенными выбросами и затратами.

Применимость

Для существующих установок, как с прямолинейным движением решеток, так и с обжигом в ротационной печи, трудно получить рабочие условия, необходимые для надлежащей работы реактора SCR. Для новой установки для получения окатышей, однако, установка и система SCR могут быть правильно спроектированы в отношении требуемой температуры реактора и умеренных расходов газа. Вследствие высоких затрат снижение выбросов оксидов азота в конце производственного цикла должно рассматриваться только в обстоятельствах, когда стандарты качества окружающей среды не могут быть выполнены иным образом.

Данные не передавались о экономике.

Мотивация для внедрения

Движущей силой является снижение выбросов в стране для выполнения национальных целей снижения согласно национальным и международным нормам.

Пример установок

Компания LKAB должна была участвовать в программе обширных исследований по снижению выбросов NOx до 2010 г. В этом отношении было принято решение, что новая установка для получения окатышей КК4 в г. Кируна, Швеция, должна быть оснащена установкой deNOx.

Реактор для селективного каталитического восстановления (SCR) компании Alstom был установлен для проведения полномасштабных пилотных испытаний. Испытания начались весной 2008 г., а результаты должны были стать известными к концу 2009 г. Эта установка должна была стать первой в мире для установки для получения окатышей с обжигом в ротационной печи, а цель состоит в оценке реактора SCR на новой установке, где рабочие условия для этой технологии могут быть оптимизированы.

Лабораторные испытания в отношении срока службы SCR были проведены в небольшом масштабе, и они дали положительные результаты. Однако все еще остается много неопределенностей в отношении функционирования реактора SCR на установках для получения окатышей.

Справочная литература [318]

4.3.7 Очистка сточных вод на установке для получения окатышей

Сточные воды от скрубберов подвергаются нейтрализации перед тем, как они попадают в циркуляционный бассейн. Отсюда они направляются на дополнительную обработку в осадительные баки. Седиментационные свойства шламов очень часто улучшаются с помощью дозирования флокуляторов. Часть сточных вод из бака-отстойника повторно используется как вода скрубберного цикла. На установке компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, еще одна часть направляется в качестве слива на установку для очистки от мышьяка (см. п. 4.3.8).

Достижимые экологические выгоды

Предварительная очистка технической воды и отделение шламов дают возможность рециклинга воды в скруббере.

Воздействия между средами

Шламы должны подвергаться рециклингу или депонированию, поскольку они могут содержать тяжелые металлы, такие как Ni, Cr и Cd.

Эксплуатационные данные

Не известно о каких-либо проблемах.

Данные не передавались о применимости, экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

Компания Cogus, Эймейден, Нидерланды.

Справочная литература: [114]

4.3.8 Установка для удаления мышьяка

Сточные воды от очистных сооружений на установке для получения окатышей компании Cogus в Эймейдене, Нидерланды, содержат растворенные арсенат (As^{5+}) и арсенит (As^{3+}). Соединения мышьяка находятся в некоторых железных рудах. Арсенит конвертируется в арсенат с помощью реагента Фентона (сочетание хлорида железа (Fe^{II}) и пероксида) при pH 7, после чего арсенат осаждается. После обезвоживания отфильтрованный остаток, в котором содержится мышьяк, может быть подвергнут рециклингу или депонированию. После седиментации сточные воды проходят через песочные фильтры, для того чтобы удалить остаточные взвешенные твердые частицы, и три ионообменных установки для регулирования уровня других тяжелых металлов, например, Cd, Cr, Cu, Ni (см. рис. 4.7).

213

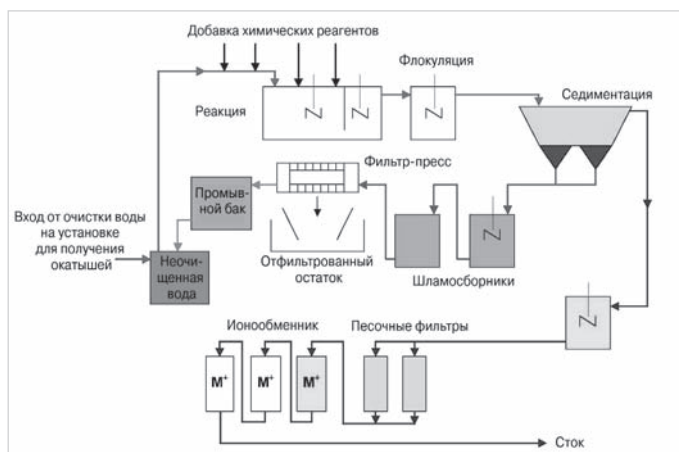


Рисунок 4.7: Схема технологического процесса установки для удаления мышьяка. Источник: [318].

Достижимые экологические выгоды

Эксплуатационные данные с установки для удаления мышьяка приведены в табл. 4.5.

ТАБЛИЦА 4.5: ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ С УСТАНОВКИ ПО УДАЛЕНИЮ МЫШЬЯКА (2007 Г.). ИСТОЧНИК: [163]

Параметр	Диапазон	Единицы
Взвешенные твердые вещества	<10 - 95	мг/л
ХПК	56 - 81	мг/л
Азот по Кьельдалю	8,1 - 15	мг/л
Фториды	1300 – 2000	мг/л
Кадмий	<1 – 1,7	мкг/л
Ртуть	0,25 - 2	мкг/л
Мышьяк	10 - 27	мкг/л
Хром	13 - 18	мкг/л
Свинец	10 - 83	мкг/л
Цинк	43 - 95	мкг/л
Никель	44 - 64	мкг/л
Медь	1 - 19	мкг/л

Воздействия между средами

Шламы с мышьяком должны подвергаться рециклингу или депонированию, так как они могут содержать тяжелые металлы, такие как Ni, Cr и Cd.

Эксплуатационные данные

Не выявлены какие-либо проблемы. Не сообщалось о потреблении химических реагентов.

Применимость

Удаление арсенита и арсената может проводиться как решение в конце технологического процесса на всех типах новых и существующих установок для очистки сточных вод.

Экономика

Капитальные затраты на установку для удаления мышьяка с производительностью 55 м³/ч составили 2,6 млн. евро в 2004 г. Эти затраты зависят также от предельных значений для мышьяка и тяжелых металлов в стоках.

Мотивация для внедрения

Установка компании Cogus в Эймейдене, Нидерланды, была оптимизирована, для того чтобы соблюдались предельные значения, установленные по закону, и для снижения эксплуатационных затрат.

Пример установок

Установка компании Cogus в Эймейдене, Нидерланды, для удаления мышьяка эксплуатируется с августа 2004 г.

Справочная литература: [318]

4.3.9 Утилизация физического тепла с участка отвердевания окатышей

Установка для получения окатышей конструируется таким образом, чтобы можно было эффективно использовать физическое тепло отходящих газов с участка отвердевания окатышей. Например, горячий воздух из секции первичного охлаждения используется как воздух для дожига в секции обжига. В свою очередь, тепло от секции обжига используется в секции сушки на участке отвердевания.

Тепло от секции вторичного охлаждения также используется в секции сушки.

Для голландской установки для получения окатышей на металлургическом заводе с полным циклом, в секции охлаждения образуется больше физического тепла, чем можно использовать, но с середины 1980-х годов это физическое тепло используется в камерах сушки и на установке для измельчения. Горячий воздух проходит через теплоизолированный трубопровод, называемый “каналом для рециркуляции горячего воздуха”.

Через этот канал проходит приблизительно 150000 м³/ч горячего воздуха (250°C) из секции охлаждения на участке отвердевания к мельницам в секции сушки и измельчения. В секции сушки горячий воздух (600-800°C) используется для сушки концентратов и мелкой фракции перед измельчением. С помощью использования горячего воздуха от камеры охлаждения необходимо значительно меньше тепловой энергии в камере сушки.

Достижимые экологические выгоды

Валовое потребление энергии вышеупомянутой установки для получения окатышей составляет приблизительно 1,4 ГДж/т окатышей (по сравнению с автономными установками в Швеции, работающими на концентрате из магнетита, это потребление значительно выше – см. табл. 4.1 и п. 4.2.2.4). Около 0,7 ГДж/т окатышей поставляется с помощью рекуперации тепла, в то время как приблизительно 0,7 ГДж/т окатышей вводится с помощью топлива. “Канал для рециркуляции горячего воздуха” включен в этот расчет, и на него приходится утилизация энергии приблизительно в размере 67,5 МДж/т окатышей (примерно 4% от валового потребления энергии).

Воздействия между средами

Использование горячего воздуха из зоны охлаждения в зоне обжига на участке отвердевания может привести к росту температуры факела в горелках, и, таким образом, к повышению выбросов NO_x.

Эксплуатационные данные не передавались.

Применимость

Утилизация физического тепла является частью установок для получения окатышей, интегрированных в технологический процесс. Новые установки, как можно ожидать, будут иметь более эффективную конструкцию, чем существующие установки. “Канал для рециркуляции горячего воздуха” можно применять на существующих установках сопоставимой конструкции и с достаточной поставкой физического тепла.

Экономика

Рекуперация тепла на участке отвердевания является составной частью конструкции установки, и для этого не требуются дополнительные инвестиции. “Канал для рециркуляции горячего воздуха” был пущен в эксплуатацию в 1984 г. Оцененные инвестиции составили 5 млн. евро. Экономия в затратах на энергию составляет 2,8 млн. евро в год.

Данные не передавались о мотивации для внедрения.

Пример установок

Установка для получения окатышей компании Corus в Эймейдене, Нидерланды. Справочная литература: [65], [315].

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**СПРАВОЧНИК
НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Некоммерческое партнерство
«ЦЕНТР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕРТИФИКАЦИИ –
ЗЕЛЕННЫЕ СТАНДАРТЫ»

Москва, 2013

Издатель
ООО «Деловые Медиа»

Содержание

5. КОКСОВЫЕ ПЕЧИ	7
5.1 Применяемые процессы и технологии	7
5.1.1 Подача и подготовка угля	9
5.1.2 Работа батареи коксовых печей	9
5.1.2. 1Загрузка угля.....	9
5.1.2.2 Камеры нагрева/обжига.....	12
5.1.2.3 Коксование.....	13
5.1.2.4 Выдача кокса	14
5.1.2.5 Тушение кокса.....	14
5.1.3 Перемещение и подготовка кокса	14
5.1.4 Очистка коксового газа.....	15
5.1.4.1 Сбор и очистка коксового газа с утилизацией побочных продуктов	15
5.1.4.2 Охлаждение газа	17
5.1.4.3 Утилизация каменноугольной смолы из коксового газа	18
5.1.4.4 Десульфуризация коксового газа.....	18
5.1.4.5 Утилизация аммиака из коксового газа	19
5.1.4.6 Утилизация легких фракций из коксового газа	20
5.1.5 Потоки воды из коксовой печи и установок для получения побочных продуктов	20
5.2 Нынешние уровни выбросов и потребления.....	22
5.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления и производства	22
5.2.2 Экологические проблемы процесса получения кокса	25
5.2.2.1 Выбросы в воздух	25
5.2.2.2 Потребление воды и сточные воды	31
5.2.2.3 Отходы производства коксохимических заводов	35
5.2.2.4 Потребность в энергии.....	36
5.2.2.5 Загрязнение почвы.....	36
5.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ.....	36
5.3.1 Подготовка угля.....	38
5.3.2 Минимизация выбросов при загрузке печи	39
5.3.3 Герметизация подъемных труб и завалочных отверстий.....	41

5.3.4 Ровная и бесперебойная работа коксохимического предприятия.....	43
5.3.5 Обслуживание коксовых печей	45
5.3.6 Камеры крупных коксовых печей	46
5.3.7 Усовершенствование дверей и рамных уплотнений коксовых печей.....	47
5.3.8 Очистка дверей и рамных уплотнений коксовых печей	49
5.3.9 Управление свободным потоком газа в коксовой печи	50
5.3.10 Регулирование давления в печах в течение процесса коксования.....	50
5.3.11 Утилизация тепла при коксовании.....	53
5.3.12 Снижение выбросов из камеры обжига	57
5.3.13 Снижение выбросов в течение выдачи кокса	68
5.3.14 Сухое тушение кокса	70
5.3.15 Тушение кокса мокрым способом	73
5.3.15. 1 Обычное мокрое тушение.....	73
5.3.15.2 Стабилизационное тушение кокса	75
5.3.16 Снижение выбросов при транспортировании кокса.....	76
5.3.17 Ленточный конвейер закрытого типа.....	77
5.3.18 Герметичная система газоочистки коксовой печи.....	78
5.3.19 Удаление смолы (и РАН) из стоков отпарных колонн	79
5.3.20 Отгонка аммиака из сточных вод.....	80
5.3.21 Очистка сточных вод.....	81

6. ДОМЕННЫЕ ПЕЧИ 90

6.1 Применяемые процессы.....	90
6.1.1 Приготовление шихты	92
6.1.2 Транспортирование и загрузка сырья	93
6.1.3 Работа доменной печи	94
6.1.3.1 Применение восстанавливающих агентов.....	94
6.1.4 Работа воздухонагревателей	98
6.1.5 Разливка	99
6.1.6 Охлаждение и переработка шлака	99
6.1.6.1 Процесс грануляции шлака.....	99
6.1.6.2 Процесс брикетирования шлака.....	102

6.1.6.3 Переработка шлака в шлаковой траншее	102
6.2 Нынешние уровни выбросов и потребления	102
6.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления и производства	102
6.2.2 Экологические проблемы для процесса доменного производства	107
6.2.2.1 Выбросы в воздух	107
6.2.2.2 Сточные воды	112
6.2.2.3 Остатки производства, такие как отходы и побочные продукты	115
6.2.2.4 Потребность в энергии и восстанавливающих агентах	117
6.2.2.5 Шумовое загрязнение	118
6.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ	119
6.3.1 Пылеудаление с литейного двора (летка, выпускные желоба, ложки для скачивания шлака, места загрузки миксеровозов)	119
6.3.2 Подавление образования дыма при заливке жидкого чугуна	124
6.3.3 Использование футеровки желоба без смолы	126
6.3.4 Очистка доменного газа	127
6.3.5 Система утилизации газа при загрузке доменной печи	129
6.3.6 Очистка и повторное использование скрубберной воды	132
6.3.7 Гидроциклон для переработки шламов доменного производства	136
6.3.8 Конденсация дыма при переработке шлака	137
6.3.9 Использование руд высокого качества	138
6.3.10 Повышение эффективности использования энергии в доменной печи	139
6.3.11 Утилизация и использование доменного газа	140
6.3.12 Прямое вдувание восстанавливающих агентов	141
6.3.12.1 Вдувание угольной пыли	141
6.3.12.2 Вдувание мазута с кислородом	145
6.3.12.3 Вдувание газа	146
6.3.12.4 Вдувание отходов пластмасс	147
6.3.12.5 Прямое вдувание отработанных масел, жиров и эмульсий в качестве восстанавливающих агентов и остатков твердого железа	149
6.3.13 Утилизация энергии давления колошникового газа	151
6.3.14 Экономия энергии в воздухонагревателях	152

7. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ И РАЗЛИВКА.....	154
7.1 Применяемые процессы и технологии	154
7.1.1 Транспортирование и хранение расплавленного чугуна.....	154
7.1.2 Предварительная обработка жидкого чугуна	156
7.1.3 Окисление в кислородном конвертере.....	158
7.1.4 Внепечная обработка стали.....	162
7.1.5 Разливка	164
7.1.5.1 Непрерывная разливка	164
7.1.5.2 Отливка по форме, близкой к окончательной.....	166
7.1.5.3 Разливка в слитки.....	167
7.2 Нынешние уровни выбросов и потребления.....	167
7.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления и производства	167
7.2.2 Экологические проблемы для производства стали в кислородном конвертере	171
7.2.2.1 Выбросы в воздух	171
7.2.2.2 Сточные воды.....	178
7.2.2.3 Остатки процесса, такие как отходы и побочные продукты.....	180
7.2.2.4 Потребление энергии	186
7.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ.....	186
7.3.1 Первичное пылеулавливание	186
7.3.2 Вторичное пылеулавливание.....	190
7.3.2.1 Сбор и подавление вторичных выбросов	190
7.3.2.2 Снижение запыленности при предварительной обработке жидкого металла.....	198
7.3.2.3 Снижение запыленности при разливке в слитки и непрерывной разливке	201
7.3.2.4 Основные технологии для предотвращения или контроля рассеянных и неорганизованных вторичных выбросов.....	202
7.3.4 Очистка сточных вод от непрерывной разливке.....	203
7.3.5 Пыль от горячего брикетирования и рециклинг с утилизацией окатышей с высокой концентрацией цинка для внешнего использования...	205
7.3.6 Снижение содержания цинка в ломе	207
7.3.7 Утилизация энергии конвекторного газа.....	210
7.3.8 Отбор проб в реальном времени и анализ стали.....	213
7.3.9 Повышение эффективности использования энергии в сталеплавильных цехах с помощью автматизации.....	214
7.3.10 Прямой выпуск стали из конвертера.....	218
7.3.11 Непрерывное литье полосы по форме, близкой к окончательной	219

5. КОКСОВЫЕ ПЕЧИ [320]

5.1 Применяемые процессы и технологии [204], [207], [320]

Пиролиз угля означает нагрев угля в атмосфере без кислорода для производства кокса (твердого вещества), газов и жидкостей. Пиролиз угля при высокой температуре называется карбонизацией. В этом процессе температура дымовых газов, образующихся при сжигании топлива, составляющая 1150 – 1350°C, используется для косвенного нагрева угля до 100 – 1100°C в течение 14 – 28 ч. Длительность зависит, например, от ширины печи (в случае передачи тепла от боковых стен), плотности угля и качества железаемого кокса (например, используемого в литейном цехе или доменных печах). Самым важным восстанавливающим агентом при производстве чугуна является кокс, который удаляет кислород либо косвенно путем образования диоксида углерода, либо непосредственно с использованием содержащегося в нем углерода. Газификация кокса служит также для поставки тепла, необходимо-го для процесса восстановления. Функции кокса состоят как в материале-основе, так и в матрице, через которую газ циркулирует в столбе шихтовых материалов. Кокс не может быть полностью углем или другими топливами.

Только некоторые угли, например, коксующийся или битуминозный уголь, с правильными пластическими свойствами, могут быть превращены в кокс, и как с рудами, некоторые типы можно смешать для повышения производительности доменной печи и повышения срока службы коксовой батареи. Другие материалы, в которых содержится углерод, также могут применяться в небольших количествах (например, нефтяной кокс, измельченные утильные резиновые шины) при условии, что они не будут оказывать негативного воздействия на окружающую среду. Нефть или нефтяные остатки также добавляются для лучшего уплотнения угля.

К 1940-м годам была разработана основная конструкция современных коксовых печей. Печи имели длину около 12 м, высоту 4 м и ширину 0,5 м, и они были оснащены дверями с обеих сторон. Поставляемый воздух подогревается с помощью горячих отходящих газов; утилизация вторичного тепла дает возможность повышения температур и коксуемости. С 1940-х годов процесс был механизирован, а материалы, используемые для строительства печей, были усовершенствованы без значительных изменений конструкции. Батареи могут включать до 70 печей с длиной до 14 м и высотой до 6 м. Вследствие соображений теплопередачи ширина оставалась в диапазоне от 0,3 до 0,6 м. Каждая печь в батарее вмещает до 30 т угля. Некоторые недавно построенные коксовые печи имеют еще более значительные размеры. Например, камеры коксовых печей, используемых в г. Дуйсбург, Германия (см. рис. 5.1), которые были введены в эксплуатацию в 2003 г., имеют длину приблизительно 20 м, высоту 8,3 м и ширину 0,59 м, а каждая камера имеет емкость приблизительно на 70 т угля. На рис. 5.1 показана фотография коксогозового завода в Дуйсбурге на заводе Швельгерн, Германия.



Рисунок 5.1: Фотография коксогазового завода в Дуйсбурге (Швельгерн), Германия.
Источник: [312]

В последние годы разработки были в частности нацелены на минимизацию выбросов от процессов и на улучшение рабочих условий для операторов.

Помимо камеры горизонтальной коксовой печи, описанной выше, в последние годы внимание уделяется так называемому производству кокса с “утилизацией тепла”, хотя эта технология не применяется в Европе до настоящего времени. Производство кокса с утилизацией тепла требует печных систем, которые четко отличаются по конструкции, при сравнении с обычными системами с горизонтальными камерами.

На рис. 5.2 показана упрощенная схема всей последовательности операций и процессов, требующихся для производства кокса (показаны источники выбросов). Ниже более подробно описаны основные стадии, упомянутые выше.

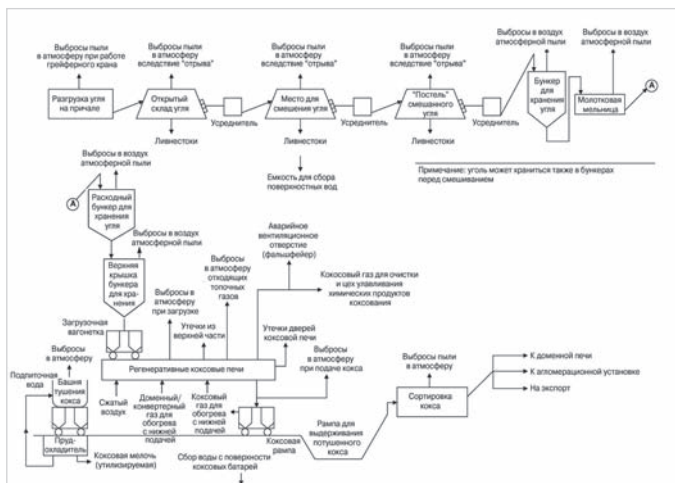


Рисунок 5.2: Типичная схема коксовой печи с источниками выбросов. Источник: [148]

- подачу и подготовку угля;
- работу коксовой батареи (загрузка угля, нагрев/обжиг, коксование, выдача кокса, тушение кокса);
- подачу кокса (выгрузка, хранение, транспортирование) и подготовку;
- очистку коксового газа (COG) с утилизацией и переработкой побочных продуктов в случае обычного коксохимического завода;
- утилизацию тепла от коксования и очистку дымовых газов в случае утилизации тепла на коксохимическом заводе.

Для того чтобы было более четкое описание очистки сточных вод (поступающих от очистки коксового газа) описаны также потоки воды в обычном процессе коксования.

5.1.1 Подача и подготовка угля [223], [320]

Подача и подготовка угля состоят из следующих стадий:

- выгрузки угля: уголь выгружается с судов или поездов на систему транспортирования или для хранения. Обычно используются большие грейферные краны. Ветер и операции подачи могут вызвать выбросы пыли от угля
- хранения угля: коксохимические заводы обычно ассоциируются с большими складами. Ветер может вызвать выбросы угольной пыли. Следует уделять внимание очистке (седиментации) ливнеотоков после дождей и распыления воды
- транспортирования угля: уголь транспортируется с помощью конвейера, возможны пункты перевалки за пределами зданий, и следует учитывать транспортирование по автомобильным дорогам
- подготовку угля: она состоит из дробления и помещения в бункер для усреднения или смешивания, что может привести к выбросам пыли. Уголь готовится для коксования с помощью пылеприготовления таким образом, чтобы 80-90% угля проходило через решетку с диаметром 3,2 мм. В течение смешивания, могут добавляться подвергаемые рециклингу вещества, такие как смола, что может привести к выбросам летучих соединений
- загрузки угольной башни (могут происходить выбросы пыли)
- загрузки загрузочных вагонеток (могут происходить выбросы пыли)
- работы двух усреднительных штабелей, каждый из которых может заполняться и опорожняться поочередно. В то время как один штабель наполняется, из другого осуществляется подача угля в угольную башню через затворы. Распыление воды предотвращает выбросы пыли, и имеет место непрерывное распыление воды и контроль высоты питателя.

5.1.2 Работа батареи коксовых печей

5.1.2.1 Загрузка угля [320], [102]

Работа батареи коксовых печей состоит из:

- загрузки угля
- камер нагрева/обжига кокса

- коксования
- выдачи кокса
- тушения кокса

При работе доминируют выбросы из батареи коксовых печей. Поэтому здесь дается более подробное описание их, вместе с информацией об источниках выбросов. На рис. 5.3 показаны схема батареи и основные источники выбросов.

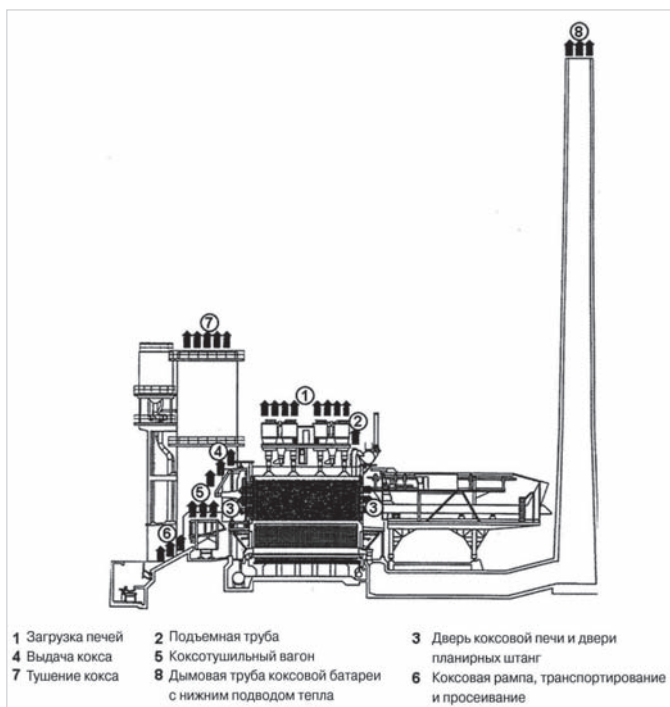


Рисунок 5.3: Схема батареи коксовых печей с основными источниками выбросов.

Имеется ряд технологий для загрузки в коксовые печи пылевидного угля (80-90% пылевидного угля имеет частицы с размером $<3,2$ мм) с помощью загрузочных окон. Самым распространенным способом является загрузка самотекотом с помощью завалочных тележек (см. рис. 5.4). Процесс загрузки начинается с подъема крышки первого загрузочного окна. Вся процедура занимает от 2 до 3 мин, в то время как собственно процесс загрузки длится от 45 до 60 с, в зависимости от размера камеры. Это может происходить одновременно, последовательно или с использованием стадийной загрузки с помощью горизонтального шнекового питателя с регулированием скорости или с помощью поворотной плиты. Применяются также и другие системы типа трубопроводной загрузки или загрузки с трамбованием шихты.

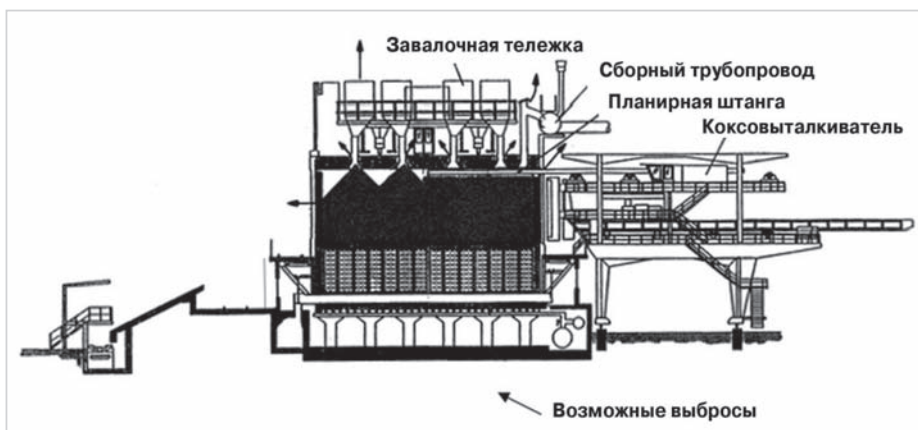


Рисунок 5.4: Схема загрузки угля в камеру коксовой печи с использованием завалочной тележки с указанием источников выбросов. Источник: [200]

В системе загрузки с трамбованием шихты загрузка осуществляется загрузочной машиной с помощью открытия дверей батареи коксовых печей. Применяется две системы загрузки с трамбованием шихты для коксовых печей следующего типа:

- при классическом способе загрузки с трамбованием шихты загрузочная машина состоит из угольного бункера и загрузочного короба, который движется после каждой загрузки. Усредненная угольная шихта, необходимая для заполнения камеры одной коксовой печи, загружается из питателя в загрузочный короб. В загрузочном коробе смесь уплотняется, а затем выгружается в камеру коксовой печи
- новый способ трамбования угля – “стационарное трамбование”. Трамбующее устройство устанавливается под расходной башней, и оно уплотняет и доставляет шихту в загрузочный короб загрузочной машины. Загрузочная машина представляет собой мобильный элемент, а ее главной задачей является загрузка уплотненной шихты в камеру коксовой печи.

Преимуществом загрузки с трамбованием шихты является то, что даже при низком качестве угля можно получить кокс высокого качества. Трамбование угольной шихты в загрузочной машине занимает от 4 до 17 мин. Плотность загрузки на 20-50% выше, чем плотность угольной шихты в системах загрузки самотеком. Кроме того, “стационарное трамбование” дает возможность достижения большей эффективности работы трамбовочного устройства, а загрузочная машина становится меньше и легче по сравнению с классическими загрузочными машинами.

Независимо от системы необходимо контролировать расход угля. Это действительно для всех систем. Меры контроля связаны с достижением “бездымной” загрузки (загрузки со сниженными выбросами).

5.1.2.2 Камеры нагрева/обжига [223], [320]

Отдельные камеры коксовой печи разделяются с помощью обогревательных простенков. Все камеры футерованы огнеупорными кирпичами (кислая футеровка). Эти обогревательные простенки состоят из ряда топочных каналов с соплами для подачи топлива и одного или более вентиляционных бороздов, в зависимости от высоты стенки коксовой печи. Средняя температура пустотелого кирпича, характеризующая работу топочных каналов, обычно устанавливается в диапазоне от 1150 до 1350°С. Обычно очищенный коксовый газ используется в качестве топлива, но могут использоваться и другие газы, такие как (обогащенный) доменный газ. Очищенный коксовый газ имеет теплотворную способность около 17540 кДж/м³, а смешанный топочный газ – около 4200 кДж/м³.

Для повышения энергоэффективности непосредственно под печами размещаются регенераторы, которые обмениваются теплом с дымовыми газами с воздухом для горения и (или) с технологическим газом. На рис. 5.5 показана схема системы нагрева коксовой печи вместе с точками выбросов. Если обогревательные простенки не являются полностью газоплотными вследствие трещин, коксовый газ, образующийся в течение коксования, будет попадать в топочный газ, и будет происходить неполное сжигание, что приводит к выбросам в дымовую трубу.

О механизмах и продуктах сажеобразования в результате неполного сжигания бензола см. информацию в работах [213], [214].

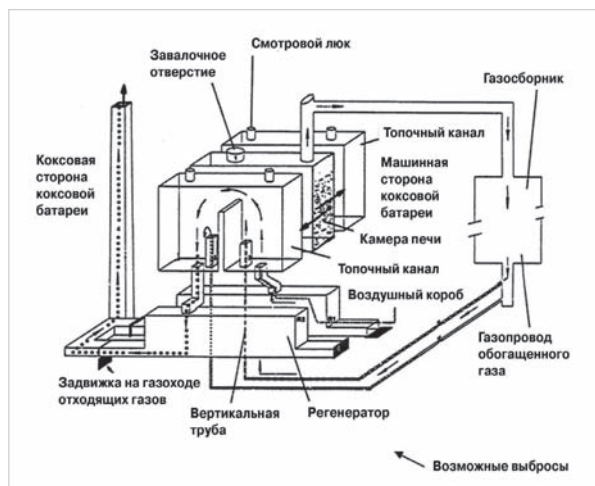


Рисунок 5.5: Схема системы нагрева коксовой печи с указанием мест выбросов. Источник: [200].

Схема, представленная на рис. 5.5, относится к одностадийному сжиганию, в то время как в настоящее время самые современные печи имеют многостадийное сжигание; неочищенный коксовый газ, используемый в качестве топлива, обычно предварительно подвергается десульфуризации.

5.1.2.3 Коксование

Процесс коксования начинается немедленно после загрузки угля. Влагосодержание загруженного угля составляет 8 – 15%. В дополнение к влажности, образуется коксовый газ. Общее количество летучих соединений составляет около 25% [320]. Этот неочищенный коксовый газ выходит по подъемной трубе в газосборник. Уголь нагревается в системе обогрева/обжига, описанной выше, и остается в коксовой печи до тех пор, пока температура в центре слоя угля не достигнет 1000 – 1100°C.

Полный процесс коксования продолжается от 14 до 28 ч, в зависимости, например, от ширины печи (в случае бокового подвода тепла), плотности угля и качества желаемого кокса (например, использование в литейном производстве или доменных печах) [207], [223]. Время коксования определяется угольной смесью, влагосодержанием, уровнем обогрева при нижнем подводе газа и желаемыми свойствами кокса (например, для литейного кокса требуется больше времени, чем для кокса в доменной печи). Когда время коксования неправильное, образуется “не полностью закоксованный” кокс. У этого кокса плохое качество, которое не устраивает производителей кокса [223].

На рис. 5.6 показаны основные источники выбросов в течение коксования. Вследствие положительного давления (10 – 15 мм вод. ст. для печей высотой 5 – 7 м) в камерах коксовых печей, могут быть выбросы через двери, выбросы из завалочных отверстий и подъемной трубы, а также при появлении трещин в стенках, выбросы от неполного сжигания коксового газа (см. п. 5.1.2.2) [320].

13

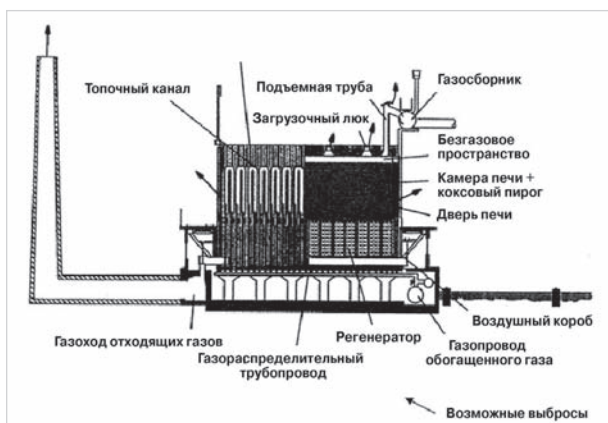


Рисунок 5.6: Схема камеры коксовой печи с указанием возможных мест выбросов в течение коксования (указано стрелками). Источник: [200]

В общем, выход кокса меняется от 700 до 800 кг сухого кокса/сухой уголь, а количество образующегося газа варьируется от 140 до 200 кг коксового газа/т сухого угля. Однако следует отметить, что выход кокса и образование коксового газа, а также состав зависят, в значительной степени, от состава угля и времени коксования.

5.1.2.4 Выдача кокса

Полностью карбонизованный кокс выталкивается из печи в контейнер с помощью штока коксовыталкивающего устройства обычно менее чем за одну мин. (см. рис. 5.7) [223] в “коксотушильный вагон”. При контакте с атмосферным кислородом кокс начинает мгновенно гореть.

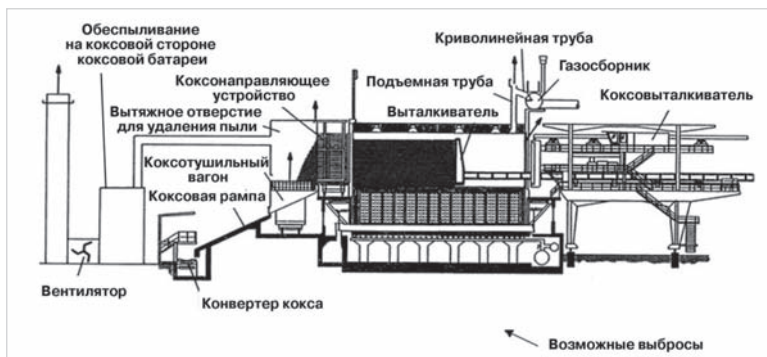


Рисунок 5.7: Выдача готового кокса из коксовой печи в коксотушильный вагон с указанием выбросов.
Источник: [200]

14

5.1.2.5 Тушение кокса

По существу имеется два способа тушения горячего кокса из коксовой печи: мокрое тушение и сухое тушение [320], [334]. При применении мокрого тушения вагон для тушения кокса транспортирует кокс к башне тушения кокса. При мокром тушении потребляется большое количество воды. Температура кокса снижается с 1100 до 800С для предотвращения горения [223]. Фракция воды, которая не испаряется, может собираться и использоваться в следующих партиях, благодаря чему снижается потребление воды [320].

При применении сухого тушения вагон для тушения кокса транспортирует горячий кокс в вертикальную охлаждающую камеру. В камере циркулирует инертный закалочный газ, который обеспечивает изоляцию от атмосферы, благодаря чему предотвращается горение при охлаждении кокса. Газ охлаждается с помощью теплообменника для утилизации тепловой энергии.

5.1.3 Перемещение и подготовка кокса

После тушения кокс можно хранить в отвалах, откуда он транспортируется с помощью конвейеров (с пунктами перевалки), по автомобильной, железной дороге или комбинированно в отдельное здание для дробления и грохочения. На дне башни мокрого тушения осаждается небольшая фракция (коксовой мелочи) и направляется непосредственно на агломерационную ленту или резервируется для процесса спекания [227].

Крупные фракции (20 – 70 мм) используются в доменной печи и продаются на рынке [320], [321]. Небольшие фракции (<20 мм) используются для процесса спекания и в сталеплавильных цехах, что позволяет повысить уровень добавки лома.

Согласно специальным требованиям для процесса спекания и процесса в доменной печи, эти фракции подвергаются дальнейшему измельчению для соответствия требуемому размеру.

5.1.4 Очистка коксового газа [206], [223]

5.1.4.1 Сбор и очистка коксового газа с утилизацией побочных продуктов (рис. 5.8)

В принципе, имеется два варианта обращения с образующимся коксовым газом:

- в первом случае происходит полный сбор коксового газа и дальнейшая переработка с помощью очистки и утилизации побочных продуктов. Очищенный коксовый газ (после удаления экономически ценных побочных продуктов) используется на данном или внешнем металлургическом заводе в качестве топлива в батарее коксовых печей, воздухонагревателях (кауперах) доменных печей, для нагрева в зажигательных горнах агломерационных установок, для нагревательных печей толкательного типа в прокатных цехах и для производства электрической энергии на электростанциях;
- во втором случае, процессе утилизации тепла, неочищенный коксовый газ сжигается непосредственно в источнике, в коксовом реакторе с подачей необходимого количества воздуха, без необходимости дальнейших стадий утилизации. Производимое тепло частично используется для процесса коксования. Избыточная энергия преобразуется в пар и (или) электроэнергию. Процесс коксования с утилизацией тепла успешно используется в США с 1998 г.

15

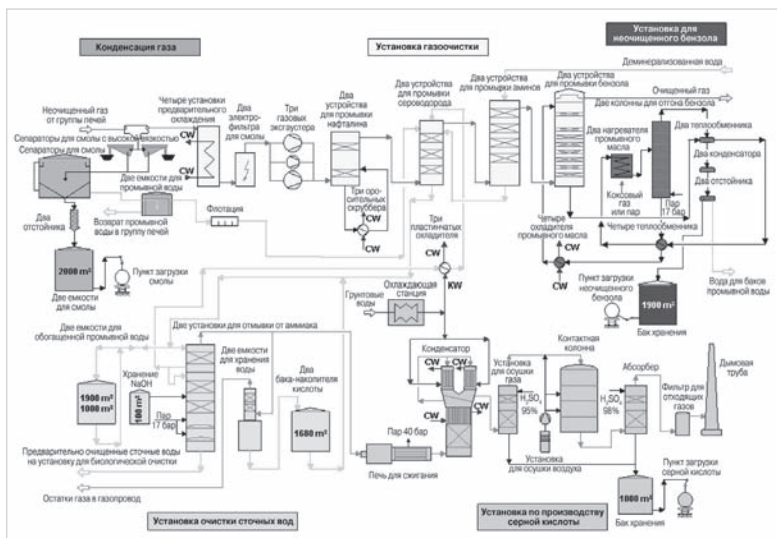


Рисунок 5.8: Типичная схема установки для очистки коксового газа с утилизацией побочных продуктов. Источник: [177]

Первый случай описан более подробно ниже, так как это обычно применяемая практика в Европе.

Еще одна возможность использования очищенного коксового газа связана с применением его в качестве сырья при химическом синтезе этанола или для отделения водорода. В Китае находятся в эксплуатации десятки тысяч установок для производства этанола с производительностью от 70 до 200 тыс. т/год. Примером является установка компании Shaanxi Hancheng Heimaо Coking Company. Синтез метанола из коксового газа после стадии десульфуризации в одну стадию с реактором с неподвижным слоем является технологией, разработанной Вторым проектным институтом министерства химической промышленности КНР (SEDIN), которая находится в эксплуатации с 2006 г.

Неочищенный коксовый газ имеет относительно высокую теплотворную способность вследствие наличия водорода, метана, монооксида углерода и углеводородов. Кроме того, в неочищенном коксовом газе содержатся ценные продукты, такие как смола, светлые нефтепродукты (в основном состоящие из ВТХ – бензола, толуола и ксилола), сера и аммиак. В табл. 5.1 приведен состав неочищенного коксового газа. По нескольким причинам коксовый газ должен очищаться перед использованием в качестве топлива.

ТАБЛИЦА 5.1: ВЫХОД НЕОЧИЩЕННОГО КОКСОВОГО ГАЗА И СОСТАВ.
ИСТОЧНИКИ: [65], [206], [223], [276], [320], [322]

Неочищенный газ	Значения	Единицы
Выход	280 – 450	м ³ /т угля
Плотность	0,42 – 0,65	кг/нм ³
Низшая теплотворная способность	17,4 – 20	МДж/нм ³
H ₂	39 – 65	Об. %
CH ₄	20 – 42	Об. %
C _x H _y (1)	2?0 – 8?5	Об. %
CO	4,0 – 7,0	Об. %
H ₂ S	4 – 12	г/нм ³
CO ₂	1 – 3	Об. %
BTX	20 – 30	г/нм ³
NH ₃	6 – 8	г/нм ³
PAH	NA	мг/нм ³

(1) C_xH_y – главным образом этилен и этан. Другими являются циклопентадиен, пропан, пропилен, бутан, ацетилен и пентен. Гудрон, дегтевая кислота (C_xH_yOH), азотистые основания каменноугольного дегтя (C_xH_yN), тяжелые углеводороды и неочищенные легкие фракции удаляются как жидкие продукты в течение охлаждения. Кислород, азот и водяные пары также появляются в составе неочищенного коксового газа. Появляются также PAH (например, нафталин, фенантрен, бензопирены), соединения азота (например, пиридин, HCN, (CN)₂ и NO₂) и соединения серы (например, COS, CS₂, тиофены).

Примечание: все приведенные данные основаны на выходе сухого угля.

NA = нет данных.

Состав коксового газа зависит от времени коксования и состава угля. Приведенные данные относятся к безводному и беззольному углю. Смола и нафталин в неочищенном газе могут засорять трубопроводы и оборудование и должны удаляться первыми. На каждую тонну произведенного кокса можно утилизировать прибли-

зительно от 25 до 45 кг смолы [223]. Некоторые продукты могут быть утилизированы из смолы, например, битумный пек, антраценовое масло, нафталиновое масло, промывное масло, фенольное масло (фенол) и легкие фракции [320].

Соединения серы и аммиак должны вызывать коррозию трубопроводов и оборудования, а соединения серы должны вызывать выбросы SO_2 , если неочищенный коксовый газ используется в качестве топлива. На каждую тонну произведенного кокса образуется приблизительно 3 кг аммиака и 2,5 кг H_2S .

В некоторых случаях ВТХ утилизируются из неочищенного коксового газа как ценные побочные продукты. Можно утилизировать до 15 кг легких фракций на тонну произведенного кокса. Эта фракция содержит бензол, толуол, ксилол, не ароматические соединения, гомологи ароматических соединений, фенол, пиридиновые основания и другие органические соединения, такие как полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). В работе [177] приведены данные о типичной установке для очистки коксового газа. Основные стадии технологического процесса описаны ниже.

5.1.4.2 Охлаждение газа

Горячий неочищенный коксовый газ попадает в подъемную трубу с температурой приблизительно 1000°C. Охлаждение газа производится с помощью различных жидкостей. На рис. 5.9 приведена принципиальная схема с примером потоков воды в батарее коксовых печей. Однако существует много других альтернативных схем.

17

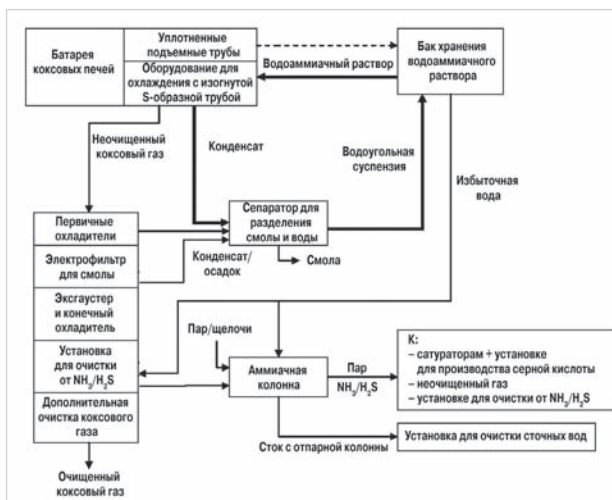


Рисунок 5.9: Принципиальная схема с примером потоков воды в коксовой печи

В изогнутой S-образной трубе газ непосредственно охлаждается жидким водоаммиачным раствором до температуры насыщенного пара примерно 80°C. Для этого требуется 2 – 4 м³ водоаммиачного раствора на каждую тонну карбонизированного угля.

Жидкая фаза, которая создается с помощью отработанного водоаммиачного раствора и конденсата влажного угля, и гидратная вода подаются в сепаратор смолы и воды, в то время как газовая фаза подается в первичные охладители. Она обычно используется для первичных охладителей, которые работают как открытые системы. В настоящее время чаще применяется косвенное охлаждение с использованием замкнутой системы охлаждения. Когда имеется достаточное количество охлаждающей воды с нужной температурой, газ можно охладить ниже 20°C, с учетом умеренной окружающей температуры. При этих условиях большая часть соединений с повышенной точкой кипения и воды из паровой фракции газа будет конденсироваться [320].

Капли и частицы осаждаются в последующих электрофильтрах для смолы перед тем, как газ будет подаваться на участок промывки с помощью эксгаустеров (отсасывающих вентиляторов). Иногда электрофильтры для смолы устанавливаются после эксгаустеров. Осадок от электрофильтра для смолы также направляется в сепаратор для разделения смолы и воды.

Отсасывающие вентиляторы вызывают сжатие газа, и даже если вентиляторы такие, что это только незначительное сжатие, соответствующий рост температуры не может быть допустим с точки зрения условий последующего технологического процесса. Это делает важным использование “конечных охладителей”.

Конечные охладители могут быть косвенными или непосредственными. Когда применяется непосредственное охлаждение, охлаждающая вода абсорбирует примеси из коксового газа. Соответственно в конце цикла охлаждения, в течение возвратного потока при использовании естественной тяги или охладителей с вентилятором неизбежно образование выбросов. Поэтому закрытые системы обычно бывают предпочтительными для конечного охлаждения, хотя открытые системы все еще эксплуатируются на некоторых установках [320].

А.1.4.3 Утилизация каменноугольной смолы из коксового газа

Большая часть воды и углеводородов с высокой точкой кипения конденсируется в течение охлаждения коксового газа. Конденсат из трубопроводов и электрофильтра для смолы подается в сепаратор для отделения смолы от воды, где смола утилизируется. Водная фаза отделяется как “водоугольная суспензия” и направляется в емкость для хранения водоаммиачного раствора. Отсюда избыточная вода направляется в аммиачную колонну или устройство для промывки от H₂S. Иногда устанавливают грязесъемники для удаления остатков каменноугольной смолы (смола с высокой вязкостью). В этой каменноугольной смоле могут содержаться заметные количества РАН, и она обычно возвращается на подачу угля [320].

5.1.4.4 Десульфуризация коксового газа

В коксовом газе содержатся сульфид водорода (H₂S) и различные сероорганические соединения (дисульфид углерода – CS₂, серооксид углерода (COS), меркаптаны и т.д.) Все используемые мокрые технологии десульфуризации являются высокоэффективными для удаления H₂S. Они являются менее эффек-

тивными для удаления сероорганических соединений. Коммерческие процессы десульфуризации коксового газа можно разделить на две категории:

- процессы с использованием мокрого окисления с образованием элементарной серы (S_0)
- процессы, в которых абсорбируется и удаляется сульфид водорода (H_2S) для последующей конверсии в серную кислоту (H_2SO_4) или элементарную серу.

Во всех процессах мокрого окисления используется окислительно-восстановительный катализатор для облегчения мокрого окисления сульфида водорода до элементарной серы или сульфата. Все эти процессы характеризуются очень эффективным удалением сульфида водорода (эффективность $>99,9\%$ для достижения остаточных концентраций H_2S порядка $1 - 10 \text{ мг/нм}^3$ в зависимости от концентрации на входе), но имеется недостаток в связи с получением сильно загрязненных сточных вод и (или) воздуха, что делает разработку установок для очистки необходимой частью процесса [153], [320].

Процессы абсорбции/отделения характеризуются обычно пониженным уровнем удаления H_2S (достигаются остаточные концентрации H_2S на уровне $<1000 \text{ мг/нм}^3$, в зависимости от концентрации на входе), но поскольку воздух не включен в систему регенерации и не используются токсичные катализаторы, выбросы в воздух и сбросы в воду химических реагентов, относящихся к процессам, минимизированы или отсутствуют. В рамках процессов может получаться серная кислота (установка по производству серной кислоты) или элементарная сера очень высокой степени чистоты (установка Клауса). Дальнейшее развитие абсорбционных процессов, таких как оптимизированный процесс OxyClaus® или процесс ASK (газоочистка с использованием сульфида аммония), с помощью которых достигается эффективность десульфуризации $>95\%$ с остаточной концентрацией H_2S в коксовом газе обычно в диапазоне от 50 до 500 мг/нм^3 .

Обычно комбинируют процесс удаления $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$ в стадии низкого давления с очисткой карбонатом натрия (вакуум-карбонатный способ) в стадии высокого давления, в сочетании с промывкой от ВТХ либо при низком, либо при повышенном давлении. Очистка с использованием карбоната калия, как при низком, так и при высоком давлении с промывкой от ВТХ также является распространенным способом.

5.1.4.5 Утилизация аммиака из коксового газа

Аммиак, образующийся в течение коксования, появляется как в коксовом газе, так и в конденсате (слабый щелок) из газа. Обычно в слабом щелоке находится от 20 до 30% аммиака.

Процессы, описанные ниже, применяются в промышленном масштабе для удаления аммиака из коксового газа:

- система очистки от $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$: в этом процессе аммиак удаляется из коксового газа в аммиачном скруббере с использованием воды или разбавленного промывочного раствора в качестве смачивающей жидкости в скруббере. В сто-

ках от скруббера H_2S содержатся H_2S и NH_3 , и они направляются на отпарную аммиачную колонну и дистилляцию. Этот процесс известен также как процесс Carl Still, Diamex, или ASK, который относится к очистке с помощью сульфида аммония. В некоторых скрубберах используют насадочные колонны для системы очистки [204], [320];

- непосредственная утилизация в качестве сульфата аммония $((NH_4)_2SO_4)$: возможно использование двух типов процессов:

- абсорбер фирмы Otto и процесс Вилпутт с управляемым ростом кристаллов: в обеих системах в коксовый газ впрыскивают разбавленный раствор серной кислоты и получают сульфат аммония;

- непосредственная утилизация безводного аммиака (NH_3): утилизация аммиака из газа в виде безводного аммиака была разработана компанией United States Steel Corporation под названием USS PHOSAM. В этом процессе аммиак очищается из коксового газа с помощью противоточного контакта со слабым раствором фосфата аммония. Эффективность удаления аммиака составляет 98-99% [153].

5.1.4.6 Утилизация легких фракций из коксового газа

В газе, выходящем из аммиачного скруббера содержится легкая фракция, светлое желто-коричневое масло с относительной плотностью 0,88. Это смесь продуктов коксового газа с точками кипения в большинстве случаев от 0 до 200°C, содержащих порядка сотни составляющих. Большая их часть находится при таких низких концентрациях, что их утилизация редко практикуется. На легкую фракцию обычно ссылаются как на ВТХ. Основными полезными составляющими являются бензол (60-80%), толуол (6-17%), ксилол (1-7%) и лигроин (0,5-3%). Используется четыре основных метода для утилизации легких фракций [153]:

- охлаждение и сжатие до температуры ниже -70°C и давления 10 ГПа;
- адсорбция твердыми адсорбентами, когда легкая фракция удаляется из газа при прохождении последнего через слой активированного угля утилизация легкой фракции из углерода при нагреве (косвенном или непосредственном) паром [320];
- утилизация легкой фракции из углерода при нагреве (косвенном или непосредственном) паром [320];
- абсорбция растворителями, состоящая из промывки коксового газа промывочным маслом, фракцией каменноугольной смолы или другим абсорбентом, с последующей паровой дистилляцией обогащенным абсорбентом для утилизации легкой фракции.

5.1.5 Потоки воды из коксовой печи и установок для получения побочных продуктов

На рис. 5.9 приведен пример возможных потоков воды на коксогазовом заводе. Однако существует много других альтернативных схем.

Основные потоки воды, которые должны отводиться из коксовой печи, являются результатом использования пара или водоаммиачного раствора, которые

применяются в изогнутой S-образной трубе для отсоса и непосредственного охлаждения горячего газа, влажности угля и “химической” воды (которая образуется в течение процесса коксования).

Дополнительный конденсат образуется при очистке коксового газа в коксо-химическом цехе в случае непосредственного охлаждения, в электрофильтре и в скрубберах.

Конденсированная вода и смола из главного трубопровода (расположенного за изогнутой S-образной трубой), охладителей и электрофильтра направляется в сепаратор разделения смолы от воды.

Первичное охлаждение может проводиться непосредственно, но обычно используется косвенное охлаждение. В случае косвенного охлаждения вода циркулирует в замкнутом цикле, и она не должна оказывать влияния на количество сточных вод. В случае непосредственного охлаждения газа охлаждающая вода считается промывной жидкостью и в конечном итоге удаляется через систему отгонки.

Потери воды происходят в течение вторичного охлаждения охлаждающей воды и конденсата при испарении охлаждающей воды.

Вода из сепаратора для разделения воды от смолы называется “водоугольной суспензией” и содержит высокие концентрации аммиака, и она направляется в бак для хранения водоаммиачного раствора. Бак для хранения водоаммиачного раствора является источником воды для оборудования, используемого для впрыска в изогнутую S-образную трубу. Избыточная вода из бака для хранения водоаммиачного раствора направляется к отпарной аммиачной колонне [320] или к устройству для отмывки от H_2S [102]. Вместе с частями пара, используемого в отпарной аммиачной колонне, и скрубберной жидкостью из системы очистки от NH_3/H_2S эта вода, согласно табл. 5.2, составляет сточные воды.

Следует отметить, что обычно все потоки воды, за исключением воды из систем косвенного охлаждения и систем мокрой окислительной десульфуризации, в конечном итоге отводятся из аммиачной колонны и направляются на установку для очистки сточных вод.

Высокая концентрация NH_3 характерна для аммиачных колонн. Имеется несколько причин для снижения концентрации аммиака перед отводом воды на установку для очистки сточных вод или в окружающую среду:

- аммиак можно утилизировать как ценный побочный продукт (как сульфат аммония или безводный аммиак)
- свободный аммиак обладает высокой токсичностью для водных экосистем (включая установки для биологической очистки сточных вод)
- аммиак имеет очень высокую удельную потребность в кислороде (для его окисления до нитратов требуется в 4,5 раза больше кислорода по весу). Таким образом, существует риск истощения кислорода в очистных сооружениях или в принимающей воде.

Эти причины привели к установке отпарных аммиачных колонн почти на всех коксовых заводах. В этом устройстве отделяются H_2S и NH_3 от жидкости

с помощью добавок пара и щелочи. Пары затем направляются в скруббер для очистки коксового газа от $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{S}$ (для повышения эффективности очистки от H_2S) или в цех по производству серной кислоты, где H_2S и NH_3 совместно сжигаются. Иногда NH_3 удаляется из этих паров в сатураторах, с производством сульфата аммония [320].

Чаще всего в качестве щелочи используют каустическую соду (NaOH). В прошлом часто использовали гашеную известь (CaOH_2).

Некоторые возможные потоки воды, которые не были указаны на рис. 5.9, включают:

- сточные воды от утилизации ВТХ, которые направляются на сепаратор для отделения смолы от воды;
- фенол (с концентрацией > 3 г/л), который можно утилизировать из водоугольной суспензии с помощью процесса жидкостной экстракции перед тем, как водоугольная суспензия будет направлена в сборный бак с водоаммиачным раствором;
- сточные воды от процессов окислительной десульфуризации, которые обычно сбрасываются отдельно после предварительной очистки;
- химически связанная вода от (факультативной) установки для производства серной кислоты, которая обычно направляется в аммиачные колонны коксохимического производства;
- химически связанная вода от (факультативного) процесса Клауса, которая обычно не должна конденсироваться, а сбрасывается в атмосферу через дымовую трубу [21]. Альтернативой является впрыск этой воды в неочищенный газ перед очисткой;
- вода для косвенного охлаждения газа, которая рециркулирует и которая не должна оказывать влияния на количество сточных вод. В случае непосредственного охлаждения газа охлаждающая вода рассматривается как промывная жидкость, и она в конечном итоге отводится в аммиачную колонну.

5.2 Нынешние уровни выбросов и потребления

5.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления и производства

На рис. 5.10 приведен обзор входных и выходных массовых потоков для коксохимического производства. Этот обзор можно использовать для сбора данных, относящихся к единичным коксогазовым заводам. Удельные производственные факторы и коэффициенты выбросов для коксогазовых заводов в различных государствах-членах ЕС за 2005 г., дополненные другими ссылками, приведены в табл. 5.2.

Следует отметить, что табл. 5.2 не должна использоваться для надлежащих расчетов, например, для целей сопоставительного анализа, так как в ней содержатся показатели существующих и новых установок со всей Европы, что приводит к очень широкому диапазону коэффициентов выбросов. Кроме того, следует учитывать, что не все операторы предоставили информацию.

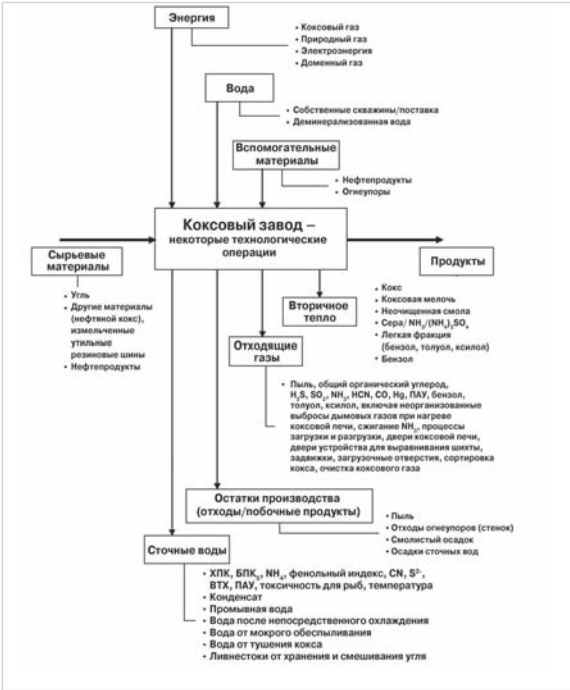


Рисунок 5.10: Общее представление о массовых потоках для коксового завода.
Источники: [200], [323]

Таблица 5.2: Входные и выходные данные для коксовых заводов в различных государствах-членах ЕС за 2005 г., дополненные другими ссылками. Источники: [110], [177], [206], [210], [218], [223], [225], [226], [227], [228], [234], [237], [320], [324]

Вход			Выход	
Сырьевые материалы			Продукты	
Уголь (сухой)	кг/т кокса	1220 - 1350	Кокс (сухой)	кг/т
			Коксовый газ	нм³/т кокса
Энергия			Нетто теплотворная способность	кДж/нм³
Доменный газ + коксовый газ	МДж/т кокса	3200 - 3900	Энергия	МДж
Электроэнергия	МДж/т кокса	20 – 230 (1)	Пар (2)	МДж/т кокса
			Выбросы в воздух (5)	
Пар	МДж/т кокса	60 – 800(3)	Пыль	г/т кокса
			SOx(6)	г/т кокса
Сжатый воздух	нм³/т кокса	1 - 15	NOx	г/т кокса
Кислород	нм³/т кокса	0,0007	NH3	г/т кокса
Азот (8)	нм³/т кокса	0,0047	H2SO4	г/т кокса
Ацетилен	г/т	0,24	HCN	г/т кокса
			H2S	г/т кокса

Вход			Выход		
Вода			CO	г/т кокса	200 – 4460(1)
Техническая вода (10)	м3/т кокса	0,24 – 1,5	CO2	кг/т кокса	160 – 860 (12)
Охлаждающая вода (11)	м³/т кокса	0,5 - 1	CH4	г/т кокса	1 – 80 (13)
			ТОС	г/т кокса	12 – 24 (2)
			Бензол	г/т кокса	0,1(14) - 45
			РАН (15)	мг/т кокса	115 – 1091 (16)
			PCDD/F	нг I-TEQ/нм³	<0,1 (17)
			Остатки производства (отходы/побочные продукты)		
			Бензол	кг/т кокса	5,3 - 14
			Легкая фракция (ВТХ)	кг/т кокса	9,1 - 14
			H2SO4 (9)	кг/т кокса	4,2 – 9
			Смола	кг/т кокса	26 – 48
			(NH4)2SO4 как SO42-(18)	кг/т кокса	28 - 48
			Сера (19)	кг/т кокса	0,9 - 2
			Фенолят натрия	кг/т кокса	14
			Сточные воды	м3/т кокса	0,1 – 0,5

(1) Высокие значения для старых установок с трещинами в стенках печей (старше 20 лет)

(2) Имеются сообщения о значениях до 983 г/т кокса, но они не считаются представительными для коксовых печей в ЕС [110]

(3) Старые установки (старше 20 лет) могут иметь расход пара 1200 МДж/т кокса

(4) Высокие значения в случае сухого тушения кокса (с утилизацией тепла в виде пара), значение 270 МДж/т кокса с установки, которая была в эксплуатации около 7 лет

(5) расход отходящих газов от батареи коксовых печей с нижним подводом газа составляет только около 1000 – 1700 м3/т кокса, в зависимости от потребности в воздухе для сжигания для различных топливных газов

(6) Содержание H2S в коксовом газе анализировалось и проводился баланс серы. Выбросы включают нагрев с коксовым газом, сжигание неочищенного газа, тушение, останов установки каталитического крекинга и установки Клауса и работы старых камер горения

(7) Высокое значение в этом диапазоне указывает на недостаточный уровень десульфуризации (или отсутствия)

(8) Некоторое количество азота потребляется из бутылей

(9) В случае абсорбции SO2 и образовании H2SO4 как конечного побочного продукта

(10) Техническая вода соответствует “общему расходу”, упомянутому в табл. 5.24

(11) Потери воды вследствие испарения

(12) В зависимости от вида топливных газов

(13) Данные только от одной имеющейся установки

(14) Низкое значение для одной современной установки (около 5 лет)

(15) РАН как EPA 16 (сумма следующих 16 РАН (Σ (FLU + PYR + TRI + CPP + BaA + CHR + BNT + BeP + BbF+Bk F+BaP+DbahA+BghiP+INP+ANT+COR)). Рассчитано по измерениям во время выдачи кокса, тушения и по выбросам из дымовой трубы батареи печей

(16) Данные только от трех имеющихся установок

(17) Данные от одной установки в Германии

(18) В случае абсорбции SO2 с водоаммиачным раствором

(19) В случае абсорбции SO2 и утилизации серы как элементарной серы.

В табл. 5.2 включены выбросы только из дымовых труб и башни тушения кокса. Выбросы в дымовой трубе происходят при нижнем подводе газа и в течение объединения выбросов при загрузке шихты и выдаче кокса, если такое объединение делается. Сюда не включены не уловленные рассеянные или неорганизованные источники, вызываемые работой батареи или получением побочных продуктов. Данные по выбросам представляют выбросы после работы системы газоочистки; в них не содержатся выбросы от транспортирования угля и кокса, поскольку информация утеряна, но эти выбросы являются менее значимыми. Информация об определении таких данных, как методы отбора проб, анализа, временные интервалы, методы расчета и сравнительные условия не имеется в полном наличии для всех приведенных данных в этом разделе.

В табл. 5.3 приведены коэффициенты выбросов для некоторых соединений, которые следует рассматривать как дополнение к табл. 5.2.

ТАБЛИЦА 5.3: ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ 2004 Г. С ПОЛЬСКОЙ КОКСОВОЙ ПЕЧИ

Размещение	Бенз-а-пирен	Пиридин	Толуол	Ксилол	Фенол	CS2
г/т кокса						
Направленные источники выбросов	0,012	2,35	74,0	69	5,67	0,30

5.2.2 Экологические проблемы процесса получения кокса

Коксохимическое производство является главным образом источником выбросов в воздух пыли и газообразных веществ. В случае применения мер для снижения уровня выбросов, происходят воздействия между средами. Вообще говоря, информация, приведенная ниже в п.п. 5.2.2.1 – 5.2.2.5, описывает самые важные экологические проблемы для коксохимического производства.

5.2.2.1 Выбросы в воздух

Следует отметить, что коксохимические предприятия имеют относительно большое количество источников выбросов. Однако необходимо делать различие между следующими тремя типами источников выбросов:

- направленные источники выбросов, типа дымовых труб для отходящих газов от батареи коксовых печей или от различных установок для обеспыливания, которые транспортируются по трубопроводам и выходят в атмосферу через дымовых трубу. Их можно очищать и минимизировать. Их можно измерять без каких-либо проблем в большинстве случаев (например, в соответствии с правилами Союза немецких инженеров, VDI);
- рассеянные выбросы, которые происходят в течение обычной работы, например при обращении и транспортировании угля и кокса, смешивании угля, в подъемных трубах, при выдаче кокса и его тушении. Если они не улавливаются, то эти выбросы могут выделяться через крышу, люки в крыше, окна или при хранении материалов. Минимизация возможна только с помощью предотвращения и (или) дополнительной очистки после того, как они оказываются в направленных выбросах (например, с помощью их улавливания);

- неорганизованные выбросы, которые происходят в течение нерегулярных операций, при утечках из батарей, например, вследствие утечек из емкостей, дверей печей, фланцев или на установках для переработки побочных продуктов. Для их минимизации основное внимание следует уделять надлежащему обслуживанию. Соединения РАН (полициклические ароматические углеводороды) типа бенз-а-пирена (BaP) и бензола играют важную роль в отношении неорганизованных выбросов [320], [324].

Во многих случаях выбросы от различных источников значительно изменяются с течением времени (например, полунепрерывные выбросы из дверей, крышек, подъемных труб и непрерывные выбросы при выдаче и тушении кокса).

При сравнении коэффициентов выбросов между установками следует также учитывать параметры конкретной установки. Например, выбросы через двери изменяются в широких пределах в зависимости от типа дверей, размера печей и качества обслуживания. Обслуживание может быть определяющим фактором. В самом деле, можно найти примеры с благоприятными результатами в случае традиционных (заостренных) дверей на хорошо обслуживаемых небольших печах и с плохими результатами в случае современных дверей коксовых печей с гибкими уплотнениями на крупных печах. Это следует иметь в виду при оценке информации об индивидуальных источниках выбросов в воздух, приведенной в табл. 5.4. Широкий разброс значений для коэффициентов выбросов можно объяснить главным образом программой обслуживания, уровнем обслуживания (обеспечение надежных и стабильных условий работы) и применяемыми методами очистки [320], [324].

Метод оценки выбросов вследствие утечек и зазоров в коксовых печах

Вследствие высоких затрат на мониторинг утечек имеется очень мало реальных данных для не уловленных выбросов, вызываемых работой батареи коксовых печей, как показано в табл. 5.4, в которой описана ситуация с коксовыми заводами в странах ЕС с помощью приведенных коэффициентов выбросов. Мониторинг был проведен с помощью капсулирования утечек, когда пробы отбирались из образовавшегося пространства. В то время как нижний уровень приведенного диапазона представляет выбросы из современных установок, которые своевременно ремонтируются, более высокий уровень выбросов относится к старым установкам с плохими способами контроля выбросов и (или) с плохим качеством ремонта. Сравнение данных в табл. 5.4 показывает, что выбросы из утечек в дверях представляют наибольшую часть всех неорганизованных выбросов из батареи коксовых печей. Точность этих коэффициентов выбросов, в особенности выбросов BaP, можно подтвердить с помощью расчетов обратного рассеяния и единичных измерений выбросов из семиметровых дверей, которые дают удельные выбросы BaP только до 10 мг/т (кокса). Однако измерения, проведенные на дверях с самыми современными системами уплотнения, показали, что можно достичь выбросов ниже 1 мг/т (кокса) [320], [324].

ТАБЛИЦА 5.4 КОЭФФИЦИЕНТЫ РАССЕЯННЫХ ИЛИ НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ВЫБРОСОВ В ВОЗДУХ, ВЫЗЫВАЕМЫХ РАБОТОЙ БАТАРЕЙ КОКСОВЫХ ПЕЧЕЙ. ИСТОЧНИК: [200]

Операция	Выбросы						
	Пыль	CO	SO ₂	H ₂ S	NH ₃	Бензол	ВаР
	(г/т)	(г/т)	(г/т)	(г/т)	(г/т)	(мг/т)	(мг/т)
Загрузка	0,3 – 10	0,1 – 71	0,01 – 1		<0,3	10-1200	0,02-4,5
Коксование							
Двери	0,3 – 6	1,5 – 30	0,1 – 15	0,02 – 1	0,1 – 1,5	200 – 14000	5 – 45
Крышки	0,2 – 1	1,5 – 9	0,1 – 1	<0,01	0,1 – 0,3	800 – 8000	9 – 15
Подъемные трубы (отводящие)	<0,2	0,003 – 0,3	0,01 – 0,1	<0,01	<0,01	10 – 100	0,3 – 3

Неорганизованные выбросы происходят из подъемной трубы и уплотнений загрузочных окон и из дверей печи и рамных уплотнений в течение коксования. В дополнение к непосредственным измерениям неорганизованных выбросов как описано ранее, используются различные методы для оценки этих неорганизованных выбросов из коксовых печей, и все эти методы имеют одну общую черту: опытные и сертифицированные наблюдатели визуально определяют визуальные выбросы.

На основании этих результатов достигнутые уровни выбросов выражаются как частота утечки в процентах от общего количества зазоров в батарее печей, демонстрирующая видимые утечки или массу в зависимости от метода мониторинга. Например, метод ЕРА 300 дает возможность получать результаты на основании процедуры наблюдения, выраженные в процентах утечки.

Однако методология DMT (Deutsche Montan Technologie GmbH)¹, которая в значительной степени совместима с методом ЕРА, дает возможность оценить выбросы в сутки на основе базовых измерений и расчетов, приписывая четыре различные степени интенсивности выбросов и с учетом протяженности видимых выбросов в течение наблюдения. Еще один метод был разработан BCRA (Британская коксохимическая ассоциация). В отличие от метода DMT, видимым выбросам присваивается пять различных степеней интенсивности. Еще один метод, который использует компания Cogus в Эймейдене, Нидерланды, описан в п. 5.3.3.

Так как все еще имеются старые установки в Европе, которые могут находиться в неудовлетворительном состоянии, ситуация с выбросами для европейского коксохимического производства может быть описана с помощью полного диапазона коэффициентов, приведенных в табл. 5.2. В случае временных нарушений реальные выбросы могут превышать приводимый диапазон.

Значения для CO, как обычно сообщается, бывают выше, чем те, которые указаны в табл. 5.5. Концентрация выбросов в значительной степени связана с конструкцией, сроком службы и обслуживанием камер горения. Высокие значения CO указывают на неполное сжигание, результатом которого являются высокие значения выбросов CO через дымовую трубу. Обычно удельные концентрации выбросов для CO составляют около или ниже 1000 г/т кокса.

¹ Немецкие горные технологии – компания, созданная в 1990 г. в г. Эссен и оказывающая услуги в области испытаний, консультаций, планирования, измерения, развития применительно к промышленным системам, безопасности зданий и сооружений.

Перемещение и приготовление угля

Рассеянные выбросы пыли связаны с операциями перемещения материалов. Эти операции состоят из разгрузки, хранения, измельчения и грохочения угля. Не была передана информация о выбросах, вызванных этими операциями.

Загрузка угля

В течение загрузки пылевидного угля происходят не только выбросы частиц пыли, но также и выбросы органических соединений, таких как бензол и ВаР от разложения угля и SO₂, H₂S и NH₃ [223], [320], [324].

Концепция загрузки и геометрия и надлежащее уплотнение загрузочных окон и систем являются очень важными элементами в снижении выбросов при загрузке.

При загрузке следует делать различие между:

- выбросами вблизи загрузочных окон в течение самого процесса загрузки;
- удалением и очисткой горячего газа;
- выбросами из дверей выравнивателя в течение выравнивания слоя угля с планирной штангой;
- рассеянными выбросами от материалов, сбрасываемых на под печи.

Показатели для рассеянных или неорганизованных выбросов в воздух, вызванных работой батареи коксовых печей, приведены в табл. 5.4.

Нагрев и выжиг кокса в коксовой печи

Направленные выбросы из дымовых труб происходят в течение сжигания газового топлива, используемого для нагрева коксовых печей. Выбросы диоксида серы могут происходить, если не будет происходить полная десульфуризация коксового газа. В коксовом газе содержатся ароматические компоненты (главным образом как ВТХ, как показано в табл. 5.1). Если коксовый газ используется без очистки, эти ароматические соединения склонны к образованию сажи (в которой содержатся РАН) [213], [214].

Одним источником неорганизованных выбросов из коксовых печей, которые вызывают озабоченность населения, является выбросы из дымовых труб батареи коксовых печей с образованием черного дыма. Такого рода выбросы вызываются неполным сжиганием газового топлива, используемого для нагрева коксовых печей, или утечками из простенков коксовой батареи. В этом случае продукты разложения угольной мелочи и кокса могут просачиваться из коксовой печи в сжигаемые отходящие газы.

В таблице 5.2 приведены коэффициенты выбросов NO_x в диапазоне от 336 до 1783 г/т кокса. Для существующих современных печей, в которых уже внедрены технологии с низкими выбросами NO_x, такие как сжигание со ступенчатой подачей воздуха и рециркуляция дымовых газов, концентрации NO_x составляют 322 – 414 мг/нм³ при 5% O₂. Для существующих установок без систем DeNO_x, встроенных в технологический прогресс, достигаемые уровни для NO_x находятся в верхней части диапазона до 1783 г/т кокса, с концентрациями до 1700 мг/нм³ при 5% O₂.

В табл. 5.5 приведены данные по выбросам для концентраций направленных выбросов на коксогазовых заводах в Германии и Чешской Республики.

ТАБЛИЦА 5.5: КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЫБРОСОВ НА КОКСОХИМИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ В ГЕРМАНИИ И ЧЕШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Место	Пыль	CO	NOx	SOx	PCDD/F
	(мг/нм ³)				(нг I-TEQ/нм ³)
Сжигание в коксовой печи (1)	0,8 – 4,8	20	322 – 414	111 – 157(2)	0,001
Выдача кокса	0,9 30 (1)				
Установка для сортировки кокса	0,5 – 4,5 100 (3)				

(1) Данные для использования смешанного газа, коксового газа или коксового газа, подвергнутого десульфуризации на двух коксохимических заводах

(2) Значения после десульфуризации коксового газа

(3) Чешские данные [372]

Примечание: все данные являются среднегодовыми, значения концентраций для твердых частиц (пыли), оксидов азота и серы при 5% кислорода.

Выбросы от сжигания коксового газа на свече или байпасирования коксового газа.

В редких случаях производство коксового газа превышает потребность. В этих случаях и по причинам безопасности избыток коксового газа должен сжигаться на свече. При этом образуются выбросы. Оценка для одного примера представлена в табл. 5.6 [200].

ТАБЛИЦА 5.6: ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ОТ СЖИГАНИЯ КОКСОВОГО ГАЗА НА СВЕЧЕ

Параметр	Выбросы	Единица
CO	2,4	кг/т
CO ₂	390	кг/т
H ₂ S	0,05	кг/т
Тяжелые углеводороды	0,85	кг/т
SO ₂	6,5	кг/т

Подача коксового газа по байпасу также бывает необходима в связи с обслуживанием установки для производства серной кислоты. В течение таких периодов неочищенный коксовый газ используется в качестве топлива для подогрева коксовой печи, что приводит к росту выбросов SO₂.

Коксование

Процесс коксования начинается немедленно после загрузки угля. В дополнение к влажности угля образуется коксовый газ. Общее количество летучих соединений составляет около 25% [320]. Этот неочищенный коксовый газ удаляется через подъемные трубы в газоход. Вследствие положительного давления (10 – 15 мм вод. ст. для печей с высотой 5 – 7 м) в камерах коксовых печей, могут быть рассеянные и неорганизованные выбросы из загрузочных окон и подъемных труб, и кроме того, происходят трещины в стенах, выбросы от неполного сжигания коксового газа с нагретыми газами. На рис. 5.6 показаны основные источники выбросов в течение коксования. В таблице 5.4 приведены диапазоны для соответствующих коэффициентов выбросов в течение процесса коксования.

Выдача кокса

Перед выдачей двери печи автоматически убираются. В конечном итоге готовый кокс удаляется из печи с помощью коксовыталкивателя в “коксотушильный вагон”. Устройство для выталкивания кокса оснащено капотом. Выбросы в течение выдачи кокса собираются коксовыталкивателем с помощью адекватной системы отвода. Впоследствии отходящие газы очищаются от пыли в соответствующем устройстве.

В случаях, когда применяются рукавные фильтры, необходимо возникновение пробивной искры в электрофильтре перед рукавным фильтром. На одной установке наблюдали такую низкую концентрацию пыли как 1 мг/нм^3 (см. табл. 5.5) [244].

Тушение кокса

Тушение горячего кокса холодной водой создает термический удар, с выделением твердых частиц из горячего кокса. Пары воды от воды, нагретой в течение контакта с горячим коксом, поднимаются от потушенного кокса и тянут вверх пыль из массы кокса. Кроме того, растворенные твердые частицы из закалочной воды также могут удаляться из султана пара, поднимающегося из тушильной башни. Для процесса тушения основными компонентами выбросов являются пыль, CO, NH₃ и H₂S. Кроме того, могут выделяться следовые количества различных органических соединений, в особенности, когда уголь не полностью коксуется. Выбросы от тушения находятся в диапазоне, приведенном в табл. 5.7. Тушильные башни могут быть оснащены распылительной системой для подавления образования пыли.

РИСУНОК 5.7: КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЫБРОСОВ ДЛЯ НАПРАВЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ КОКСОТУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ. ИСТОЧНИКИ: [109], [200]

Место	Пыль	CO	H ₂ S	NH ₃
	(г/т кокса)			
Тушение кокса	10 – 50 (1)	100 – 2000	25 – 150	1 – 8

(1) Значения для пыли зависят в значительной степени от вида образцов самой пыли, Результатом изокINETического метода отбора проб являются повышенные значения выбросов.

Транспортирование кокса

Обычно после тушения кокс перемещается в отдельное здание для дробления и грохочения. При этом происходят выбросы твердых частиц, которые необходимо отвести, и для этого требуется дополнительная очистка. Использование циклонов может снизить выбросы до 3 г/т кокса. Концентрация выбросов пыли как среднегодовое значение после рукавного фильтра находилась в диапазоне от $0,5$ до $4,5 \text{ мг/нм}^3$, соответственно, на двух установках (см. табл. 5.5) [244]. При перемещении кокса после тушения образуется больше пыли, чем при перемещении кокса мокрого тушения [276], [320], [321].

Очистка коксового газа и переработка побочных продуктов

Выбросы от переработки побочных продуктов типа легкой фракции, смолы, нафталина, фенола и аммиака, представляют собой главным образом органи-

ческие соединения. Обычно установки коксохимического производства характеризуются замкнутыми процессами. Неорганизованные выбросы связаны с утечками, например, от насосов, запорных устройств, эжекторов, устройств сброса давления и с потерями при транспортировке. На основе измерений можно найти некоторые данные для оценки неорганизованных выбросов от коксохимического производства (см. табл. 5.8).

ТАБЛИЦА 5.8: КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЫБРОСОВ ДЛЯ СЛУЧАЯ НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ УСТАНОВОК КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА. ИСТОЧНИКИ: [200], [237]

Место	Бензол	ВaP	РАН
	(мг/т кокса)		
Коксохимическое производство	100 – 24000 (1) 4000 – 26000 (2)	0,06 – 0,09	1,5 – 4,5

(1) Более высокие значения для установок без регулирования состава коксового газа.

(2) Данные для коксохимических производств США в соответствии с табл. C54– C57 [237]

Оценки сделаны для установок с использованием максимально доступных технологий контроля выбросов (МАСТ). Примерами таких технологий являются уплотняющий газ, газовый баланс или улавливание паров. Для некоторых установок сообщаемые данные о годовых выбросах бензола находятся в диапазоне от 200 до 320 т.

Одним из методов для описания процедур измерения летучих органических соединений в случае неорганизованных выбросов является метод ЕРА 21. Полная методология для всестороннего учета утечек и дополнительного управления неорганизованными выбросами описана в работе [216].

31

5.2.2.2 Потребление воды и сточные воды

На рис. 5.9 приведен пример возможных потоков воды в коксохимическом производстве. Однако существует много других альтернативных схем.

Потребление воды [320], [325]

Используется широкий диапазон процессов и вариантов для последующей переработки коксового газа. Количество сточных вод, образующихся на установках для очистки газа, зависит от потребности в воде, например, в паре, добавок свежей воды в промывную жидкость, разбавления воды и т.д.

Существенная часть воды, которая должна отводиться из процесса коксования, это доля влаги в угле из коксовой печи. Среднее влагосодержание угля составляет от 8 до 15%, т.е. 0,08 – 0,15 м³/т угля. Таким образом, в случае репрезентативного выхода кокса 780 кг кокса/т угля будет производиться воды от 0,1 до 0,17 м³/т кокса.

При термическом разложении угля образуется дополнительная вода. В зависимости от качества угля, образуется от 3 до 5 вес.% “химически связанной воды”, что соответствует 0,03 – 0,05 м³/т угля, или 0,04 – 0,06 м³/т кокса.

Если применяется впрыск пара для аспирации (охлаждение и отсос горячей смеси газов), конденсация этого пара приведет к дополнительному образованию воды в первичных охладителях. Конденсат также является частью сточных вод коксоголового цеха.

Водяной конденсат и смола из газосборника (находящегося после изогнутой S-образной трубы), охладителей и электрофилтра поступают в сепаратор отделения воды и смолы, где отделяется “водоугольная суспензия” [21]. Она подается в бак для хранения водоаммиачного раствора. Этот бак является источником воды для опрыскивающего оборудования изогнутой S-образной трубы. Избыточная вода из этого бака хранения поступает на отпарную аммиачную колонну [320] или в устройство для промывки от H₂S [102]. Вместе с частями пара, используемого в отпарной аммиачной колонне, эта вода относится к технической воде согласно табл. 5.2.

Охлаждающая вода [320]

Охлаждение с использованием воды включает:

- непосредственное охлаждение горячего неочищенного коксового газа с использованием водоаммиачного раствора;
- дополнительное первичное охлаждение неочищенного коксового газа (косвенное или прямое);
- дополнительное охлаждение (косвенное);
- вторичное охлаждение конденсата или воды от косвенного охлаждения.

Для непосредственного охлаждения коксового газа в изогнутой S-образной трубе обычно используется от 6 до 10 м³ водоаммиачного раствора/т кокса в замкнутом цикле. В случае коксового завода с производительностью от 100 до 300 т/ч это эквивалентно 600 – 3000 м³ водоаммиачного раствора в час.

Обычно большая часть охлаждающей воды используется для косвенного охлаждения. В случае косвенного первичного охлаждения при очистке коксового газа вода рециркулирует в замкнутом контуре, и она не должна оказывать влияния на количество сточных вод. В случае непосредственного охлаждения газа охлаждающая вода должна рассматриваться как промывная жидкость, и она в конечном итоге удаляется через аммиачную колонну.

Потери воды происходят в течение вторичного охлаждения охлаждающей воды и конденсата при испарении охлаждающей воды, например, в башенных охладителях. Количество свежей воды для замещения испарения и потерями со стоком от вторичного охлаждения составляет примерно 6 – 10 м³/ч, что эквивалентно 1 – 2% потребляемой воды.

Управление охлаждающей водой на коксовом заводе зависит главным образом от местных условий, прежде всего от наличия пресной воды и от требований законодательства. Законодательные ограничения местных органов власти в некоторых странах требуют предотвращения образования факелов сточных вод или образования технического снега в течение зимнего периода от градиента для охлаждения оборотной воды, что мешает дополнительному рециклингу охлаждающей воды. В таких случаях для прамоточной системы охлаждения потребность в охлаждающей воде составит 17 м³/т кокса.

Сточные воды на коксохимическом заводе [227]

Бак для хранения водоаммиачного раствора обеспечивает поставки воды для распылительного оборудования для изогнутой S-образной трубы. Избыточная вода из этого бака направляется в аммиачную колонну [320] или в устройства

для промывки от H_2S [102]. Вместе с частями пара, используемого в отпарной аммиачной колонне, и скрубберной жидкостью эта вода соответствует сточным водам, о которых упоминается в табл. 5.2. Удельное потребление сточных вод для установки, упомянутой в табл. 5.9, составляет от 0,31 до 0,69 м³/т кокса.

После удаления аммиака с помощью дистилляции (см. “сток от отпарной колонны” на рис. 5.9) в сточных водах содержатся различные органические соединения (такие как фенолы) и неорганические соединения (такие как остаточный аммиак и цианиды). Эти соединения оказывают негативное воздействие на принимающие воды при непосредственном сбросе. Сток от отпарной колонны, поэтому, обычно очищается на установке для очистки сточных вод перед сбросом.

Данные, относящиеся к составу и количеству сточных вод перед очисткой, могут значительно различаться между установками, как с точки зрения концентрации, так и с точки зрения нагрузки на тонну производимого кокса. Основными причинами больших различий являются системы очистки газа, тип процессов загрузки и тип угля на индивидуальных коксогазовых заводах. Для углей, используемых для загрузки с трамбованием шихты, предпочтительно повышенное влагосодержание, так как они демонстрируют лучшие характеристики в течение уплотнения перед загрузкой.

В случаях, когда применяются подъемные трубы с гидравлическим уплотнением, имеет место небольшое потребление воды вследствие потерь на испарение. Для гарантии газоплотности уплотнение всегда должно быть заполнено водой. В течение заполнения уплотнения происходит небольшой перелив воды. По сравнению с водо-аммиачным раствором при непосредственном охлаждении эта вода является сравнительно чистой, и обычно она очищается отдельно. На рис. 5.9 показано, что эта вода направляется непосредственно в бак для хранения аммиачного раствора.

Дополнительные потоки сточных вод могут образовываться от пароконденсата в отпарной колонне, собранной дождевой воды и ливнестоков, слива из контуров охлаждения и вторичного охлаждения и промывочной воды от фильтров при очистке воды, что может привести к разбавлению потока избыточной водоугольной суспензии.

Таблица 5.9: ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С СИСТЕМОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕНИТРИФИКАЦИИ – НИТРИФИКАЦИИ. ИСТОЧНИКИ: [65], [88], [89], [260], [272], [320], [341], [372]

Аспект/компонент		Единица	Данные
Производство кокса		Млн. т/год	0,63 – 1,25
Расход водоугольной суспензии (избыточная вода)		м ³ /ч	16 - 80
Разбавление другими сточными водами		м ³ /ч	0 - 10
Общий сток		м ³ /ч	22 - 86
Удельный расход стоков (удельный расход сточных вод)		м ³ /т кокса	0,31 – 0,69
Втекающий поток	pH	-	8,5 – 9,5
	Взвешенные твердые	мг/л	30 - 40
	ХПК	мг/л	200 – 6500
	ТОС	мг/л	835 - 1215
	БПК ₅	мг/л	800 - 3000
	Фенол	мг/л	500 - 1500

Аспект/компонент		Единица	Данные
Втекающий поток	SCN	мг/л	150 - 380
	Азот по Кьельдалю	мг/л	300
	Аммиак	мг/л	50 - 200
	Нитриты	мг/л	NA
	Нитраты	мг/л	NA
	Масла и смолы	мг/л	40
	РАН (6 Borneff)	мкг/л	1200
Вытекающий поток	pH	-	7,6 – 8,0
	Взвешенные твердые	мг/л	142 – 75
	ХПК	мг/л	145 - 800
	ТОС	мг/л	130 – 60
	БПК5	мг/л	<20
	Фенол	мг/л	0,1 - <2
	SCN	мг/л	<4,0
	Азот по Кьельдалю	мг/л	3 - 10
	Связанный азот	мг/л	3 - 30
	Аммиак	мг/л	6 - 80
	Нитриты	мг/л	1,3
	Нитраты	мг/л	0(*) - 27
	Масла и смолы	мг/л	5 - 15
	РАН (6 Borneff)	мг/л	0,2 - <50

(*) Сообщение об этих данных поступило из металлургического завода компании Lofronte в г. Сереманж, Лотарингия, Франция, хотя это теоретически невозможно, но высокое содержание остаточного аммиака и пренебрежимо низкая концентрация нитратов указывают на ингибирование нитрификации. Примечания: диапазоны отражают максимум и минимум среднесуточных значений за два года (2004 – 2005), за исключением БПК, ВТХ и РАН, данным по которым относятся к небольшому количеству проб. NA = данные отсутствуют.

ХПК как параметр характеризуется большим разнообразием различных органических химических соединений, таких как фенол (1000 – 2000 мг/л), соединения азота (азот по Кьельдалю: 250 – 500 мг/л) и полициклические ароматические углеводороды (РАН) (до 30 мг/л). В дополнение к аммиаку, имеются также и другие соединения. Некоторые содержат неорганический азот, такие как тиоцианиды (150 – 350 мг/л) [65].

Уровни концентрации моноциклических ароматических углеводородов довольно низкие. РАН по существу находятся в адсорбированном состоянии на твердых частицах. Был обнаружен бенз-а-пирен [201], [202].

Сточные воды от процессов десульфуризации с влажным окислением

В табл. 5.10 приведен состав сточных вод для двух процессов десульфуризации с влажным окислением. Применение одной из других технологий влажного окисления может привести к сбросам в воду соединений (Thylox process¹), 1-2-нафтохинона-2-сульфоновой кислоты (Takahax process²), пикриновой кислоты и тиоцианидов (Fumaks/Rhodacs process³).

¹ Тайлокс-процесс – процесс десульфуризации газов с извлечением элементарной серы окислением H₂S щелочными растворами As (III) и As (I). ² Процесс Такахахс – процесс извлечения сероводорода из коксового газа методом очистки раствором углекислого натрия. Регенерация проводится в присутствии 1-4 нафтохиноновой-2-сульфоновой кислоты.

³ Метод Фумакс-Родакс. На стадии "Фумакс" в результате окисления сероводорода пикриновой кислотой образуется свободная сера. Далее на стадии "Родакс" осуществляется регенерация цианидов.

ТАБЛИЦА 5.10: СОСТАВ СТОЧНЫХ ВОД ДЛЯ ДВУХ ПРОЦЕССОВ МОКРОЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ. ИСТОЧНИК: [21], [320], [327]

Компонент	Десульфуризация по Стретфорду ¹ (г/л)
NH ₃ (свободный)	0,1
Na ₂ CO ₃	577 - 65
SCN	80 - 300
S ₂ O ₃ ²⁻	50
SO ₄ ²⁻	2
Ванадат	1,2
Антрахинон-дисульфоновая кислота	1,9

Сточные воды от процессов десульфуризации с влажным окислированием обычно очищаются отдельно вследствие наличия соединений, которые оказывают негативное воздействие на установки для биологической очистки сточных вод.

Мокрое тушение кокса

Обычно при мокром тушении не образуются сточные воды. Потребление охлаждающей воды зависит от самого процесса тушения, и его можно считать в диапазоне от 1 до 3 м³/т кокса. Когда тушение проводится правильно, избыточная вода собирается и повторно используется. Твердые частицы можно отделить в осадочной камере или песочном фильтре перед использованием для следующей процедуры тушения. Потери на испарение находятся в диапазоне от 0,5 до 1 м³/т кокса и могут замещаться питьевой водой.

35

5.2.2.3 Отходы производства коксохимических заводов

На коксохимических предприятиях образуются твердые отходы, иные, чем коксовая мелочь и избыточный активный ил, в количестве около 1 кг/т кокса, как показано в табл. 5.11.

ТАБЛИЦА 5.11: ОСНОВНЫЕ ОТХОДЫ/ОСТАТКИ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА. ИСТОЧНИК: [227]

Отходы/остатки	Количество (кг/т кокса)
Утилизация каменноугольной смолы	0,1
Механический осветлитель	0,2
Хранение смолы	0,4
Переработка легкой фракции	0,2
Очистка сточных вод	0,1
Сбор и утилизация нафталена	0,02
Дистилляция смолы	0,01
Шлам от биологической очистки сточных вод	-
Итого	1,03

5.2.2.4 Потребность в энергии

На рис. 5.11 приведен пример годовой потребности в энергии/баланса для коксогазового завода на металлургическом заводе с полным циклом. То, что на коксовых печах производится коксовый газ, означает, что он играет важную роль в поставке энергии и управлении ею на заводах с полным циклом (см. п. A2.1.2) [320]. Выражение “остальная часть” относится к потерям.

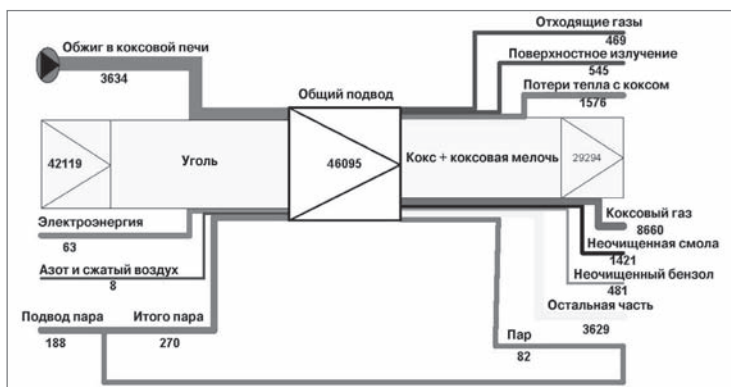


Рисунок 5.11: Пример годовой потребности в энергии/баланса коксохимического производства на заводе с полным циклом. Источники: [320], [328]

5.2.2.5 Загрязнение почвы

На установке по очистке коксового газа смола и другие органические соединения (например, ВТХ) утилизируются из коксового газа. Пролит или утечка этих соединений могут вызывать опасность загрязнения почвы, в зависимости от местных почвенных условий. Кроме того, проливы и утечки водоугольной суспензии также может вызывать опасность загрязнения почвы. Здесь будет дано только краткое описание возможных мер, которые включают:

- минимизацию количества фланцев и выступающих частей;
- поддержание трубопроводов и фланцев в состоянии, видимом для инспекции (например, размещение их выше земли или в трубах-оболочках), если только срок службы и конструкция установки это будут позволять;
- хранение и транспортирование веществ, которые являются потенциально опасными для почвы таким образом, чтобы можно было принять меры для предотвращения проливов на почву;
- осаживание в грунтовых водах, в случае необходимости, или в случае удаления загрязнений (см. табл. 5.22).

5.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ

В этом разделе описаны технологии (или их сочетания) и соответствующий мониторинг, которые считаются имеющими потенциал для достижения высокого уровня защиты окружающей среды в деятельности, охватываемой этим документом.

Он охватывает технологии, интегрированные в технологический процесс, и технологии очистки в конце производственного цикла. Рассмотрены также вопросы предотвращения образования отходов и управления ими, включая минимизацию образования отходов и процедуры рециклинга. Кроме того, охвачены также технологии для снижения потребления сырьевых материалов, воды и энергии.

В Приложении III к Директиве перечислен ряд критериев для определения BAT (НДТ), и информация в этой главе относится к данным соображениям. Насколько возможно, как показано в табл. 5.12, используется стандартная структура для отражения информации, собранной для каждой технологии, что дает возможность сравнения технологий и оценки в отношении определения BAT, приведенного в Директиве.

Этот раздел необязательно дает исчерпывающий перечень технологий, которые могут применяться в секторе, и могут иметься или могут быть разработаны другие технологии, которые можно рассматривать при определении НДТ для индивидуальной установки.

ТАБЛИЦА 5.12: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КАЖДОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ОПИСАННОЙ В ЭТОМ РАЗДЕЛЕ

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Описание	Краткое техническое описание с использованием, при возможности, рисунков, диаграмм и технологических схем
Достигаемые экологические выгоды	Основные потенциальные экологические выгоды, достигаемые с помощью внедрения технологии (включая экономию энергии, воды, сырьевых материалов, а также рост производительности, эффективности использования энергии и т.д.)
Воздействия между средами	Потенциальные побочные воздействия на окружающую среду и ущерб для других сред вследствие внедрения технологии, включая подробности воздействий этой технологии на окружающую среду, по сравнению с другими технологиями (преимущества и недостатки, подтвержденные данными, если таковые имеются), для того чтобы оценить воздействие технологии на окружающую среду в целом. Это может включать такие аспекты как: • потребление сырьевых материалов и воды • потребление энергии и вклад в изменение климата • потенциал разрушения стратосферного озона • потенциал создания фотохимического озона • подкисление в результате выбросов в воздух • твердые частицы в окружающей среде (включая микрочастицы и металлы) • эвтрофикация земли и водных объектов в результате выбросов в воздух или сбросов в воду • потенциал истощения кислорода в водных объектах • стойкие/токсичные/биоаккумулирующиеся компоненты в водных объектах или в почве (включая металлы) • образование или уменьшение (отходов) остатков • возможность повторного использования или рециклинга (отходов) остатков • шум и (или) запах • риск аварий
Эксплуатационные данные	Реальные эксплуатационные данные (включая сравнительные условия, периоды мониторинга и методы мониторинга) об уровнях выбросов, потребления (сырьевых материалов, воды, энергии) и количества образующихся отходов. Любая другая полезная информация о работе, обслуживании и контроле технологии

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Применимость	Указание о типе установок или процессов, в которых технология может или не может применяться, а также ограничениях для внедрения в некоторых случаях, с учетом, например, возраста установки (новая или существующая), факторов, связанных с модернизацией (например, наличие места), размера установки (большая или небольшая), технологии, уже используемой, и типа или качества продукта
Экономика	Информация о затратах (инвестиции и эксплуатация) и любой возможной экономии (например, снижение потребления сырьевых материалов или энергии, платежей за размещение отходов) или доходах, включая подробности о том, каким образом они были рассчитаны/оценены. Должна быть включена экономическая информация, важная для строительства новых или модернизации существующих установок. Это должно дать возможность идентификации, когда возможно, общего экономического воздействия технологии
Движущие силы для внедрения	Конкретные местные условия, требования (например, законодательство, меры безопасности) или не экологические факторы (например, рост производительности, повышение качества продукции), которые являются движущей силой или стимулируют внедрение технологии
Пример установок	Ссылка на установку (установки), на которых внедрена технология и о которых была собрана информация и использована при написании раздела. Указание о степени использования технологии в Европе или мире
Справочная литература	Литература или другой справочный материал (например, книги, отчеты, исследования, веб-сайты), которые были использованы при написании раздела и в которых содержится более подробная информация о технологии

5.3.1 Подготовка угля

Предварительные условия для надлежащей работы коксохимического производства, описанные в п. 5.3.4, относятся к оптимизированной транспортировке угля. Покупаемый уголь можно предварительно обрабатывать с помощью обогащения (предпочтительно на угольной шахте) и процессов смешивания, которые повышают качество подаваемого угля для производства кокса желаемого качества вместе со снижением выбросов оксидов серы и других загрязняющих веществ.

Оптимальные условия для работы коксохимического производства требуют смешения угля, который должен быть как можно более однородным. Современная установка для предварительной подготовки угля состоит из смесительных бункеров, установки для дробления/грохочения, оборудования для транспортирования, для обеспыливания, ленточных транспортеров в закрытом здании и возможно дополнительных процессов, таких как сушка угля или внесение добавок.

Эти процессы дробления и грохочения обычно проводятся в зданиях. Все основные элементы оборудования должны быть закрыты. Выбросы из этих элементов и пунктов перегрузки материалов должны отводиться и подавляться с использованием циклонов, Rotoclones® (центробежных устройств для обеспыливания), защитных кожухов для первичных угольных мельниц, вторичных угольных мельниц, скрубберов, мокрых электрофильтров и рукавных фильтров.

Для транспортирования угля можно при необходимости использовать герметичный или закрытый конвейер. Для хранения угля можно использовать рас-

пылителю и полимерные эмульсии для подавления образования пыли. Можно применять ветрозащитные ограждения или направленные против ветра насыпи для снижения скорости ветра. При необходимости следует применять закрытое хранение. Высота падения должна быть минимизирована в зависимости от размера установки и конструкции. При возможности она должна быть менее 0,5 м.

Достижимые экологические выгоды

Для удаляемых выбросов можно достичь значений $<10 - 12 \text{ нг/м}^3$.

Данные не передавались о воздействиях между средами, эксплуатационные данные, применимости, экономике, мотивации для внедрения, примерах установок.

Справочная литература: [21], [223], [227], [283].

5.3.2. Минимизация выбросов при загрузке печи

Загрузка печи чаще всего осуществляется с помощью загрузки самотеком с использованием загрузочной тележки. При снижении выбросов при загрузке этим способом используют три основных технологии.

1) “бездымная” загрузка. В этой системе используются газоплотные соединения между коксовой печью и загрузочной тележкой. Камеры быстро заполняются с помощью четырех или пяти загрузочных отверстий. Разрежение создается с помощью инъекции пара или воды в изогнутую S-образную часть подъемной трубы.

2) последовательная загрузка или загрузка с трамбованием шихты. В этом процессе загрузочные отверстия загружаются одно за другим. Такой тип загрузки занимает относительно много времени. Разрежение создается с обеих сторон печи, либо при использовании подъемных труб (при их наличии), или при использовании подъемной трубы и соединительной трубы с соседней печью. Соединения между загрузочной тележкой и печью не являются газоплотными, когда имеется только одно отверстие в атмосферу.

3) загрузка с помощью телескопических патрубков, которые имеют также название “японской загрузки”; этот вид загрузки осуществляется с помощью одновременной загрузки через четыре (обычно) загрузочные отверстия. Соединения между загрузочной тележкой и коксовой печью не является газоплотным, но закрывается с помощью “телескопических патрубков”, из которых газы удаляются и подаются в газопровод с помощью соединения между газопроводом и загрузочной тележкой. Удаляемые газы сжигаются и затем удаляются через устройство для улавливания пыли, которое устанавливается на земле. В некоторых случаях загрузочные тележки оснащаются пылеулавливающими устройствами для очистки удаляемых газов [227].

С помощью регулирования уровня уже в течение загрузки должно создаваться свободное газовое пространство в верхней части печи, в результате чего не нарушается отсос газа в течение загрузки и в течение коксования. Таким образом, можно снизить выбросы при загрузке. Воздействие этого способа зависит в значительной степени от конструкции печи и, следовательно, от метода регулирования уровня и загрузки.

Достигаемые экологические выгоды

Выбросы при загрузке могут быть очень низкими во всех этих системах. Основным определяющим фактором являются повышенное давление в камере печи и телескопическое загрузочное устройство.

Выбросы при загрузке трудно определить количественно, но обычно удается достичь < 30 с видимых выбросов за загрузку. Достигаются выбросы менее 10 с при оптимальных условиях. Стандарт, действующий в США в соответствии с методом EPA 303 для всех побочных продуктов в случае батарей коксовых печей составляет 12 с видимых выбросов за загрузку. Практически на 51 батарее в США были измерены значения менее 5 с [235].

Сообщаемые выбросы пыли при загрузке с телескопическими патрубками с устройством для сбора пыли на загрузочной тележке были меньше чем 5 г/т кокса (концентрация <50 мг/м³). В этом случае отбираемый газ сжигается перед выбросом.

Данные не передавались о воздействиях между средами, экономике. Мотивации для внедрения.

Эксплуатационные данные

Некоторые системы более уязвимы к эксплуатационным проблемам, чем другие.

Применимость

Можно применять как на новых, так и на существующих установках.

Пример установок

Загрузка с минимизацией выбросов применяется на многих установках во всем мире. В табл. 5.13 приведено несколько примеров.

ТАБЛИЦА 5.13: ПРИМЕРЫ УСТАНОВОК С МИНИМИЗАЦИЕЙ ВЫБРОСОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЗАГРУЗКИ КОКСОВОЙ ПЕЧИ

Способ загрузки	Примеры установок
"Бездымный"	- Пыль в коксовой печи № 2 компании Corus, г. Эймейден, Нидерланды - Коксовая печь компании ArcelorMittal, г. Гент, Бельгия - Коксовая печь компании ArcelorMittal, г. Дюнкерк, Франция - Коксовая печь компании ArcelorMittal, г. Фос-сюр-Мер, Франция - Коксовая печь компании Gijón, Испания - Компания Voestalpine Stahl GmbH, г. Линц, Австрия - Компания Rivagroup, г. Таранто, Италия
Последовательный/стадийный	- Многие установки в США - Коксовая печь компании Hüttenwerke Krupp Mannesmann, г. Дуйсбург, Германия - Коксовая печь компании Prosper, г. Ботроп, Германия
"Японский"	- Коксовая печь № 1 компании Kawasaki Steel Corporation, завод Chiba Works, Япония - Коксовая печь компании Nippon Steel Corporation, завод Kimitsu Works, Япония - Коксовая печь компании Sumitomo Metal Industries, завод Wakayama Works, Япония - Коксовая печь компании Corus, г. Эймейден, Нидерланды - Коксовый цех компании ArcelorMittal, г. Сереманж, Франция - Компания BHP Steel, Австралия

Справочная литература: [33], [215], [223], [227], [320], [337].

5.3.3 Герметизация подъемных труб и завалочных отверстий

В течение периода коксования рассеянные выбросы из открытий коксовой печи можно минимизировать с помощью эффективной герметизации открытий после операции выдачи и загрузки кокса. Однако такие меры могут быть успешными только, если они сопровождаются надлежащим обслуживанием и чисткой.

Подъемные трубы с гидравлическим уплотнением являются стандартным уплотнением на большинстве коксовых заводов (см. рис. 5.12).

Кроме того, многие старые установки также оснащены подъемными трубами с гидравлическим уплотнением. Гидравлическое уплотнение может быть очень эффективным при условии, что трубы системы водоснабжения и водостока не будут засоряться.

Наилучшим способом поддерживать загрузочные отверстия герметичными является заделка их материалом на глинистом растворе или сходным продуктом.

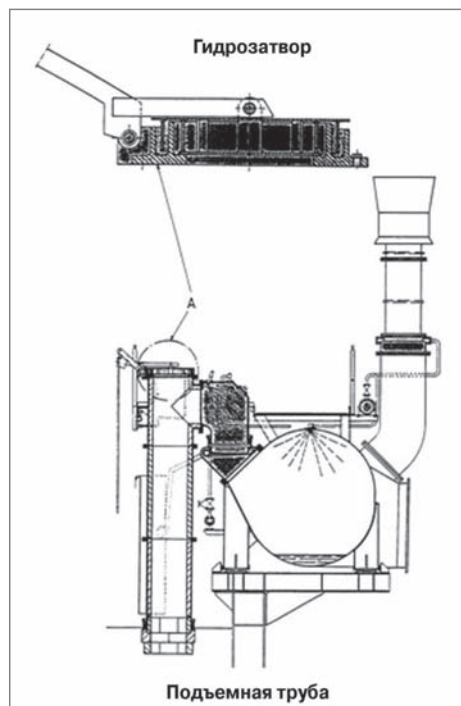


Рисунок 5.12: Подъемная труба в камере коксовой печи. Источник: [200]

Показатели работы уплотнений подъемной трубы и загрузочного отверстия должны контролироваться. Используются различные методы для оценки неорганизованных выбросов из коксовых печей. Достижимые уровни выбросов, выражаемые как частота процента утечек от общего количества подъем-

ных труб и загрузочных отверстий, показывающая видимые утечки или массы/времени, зависят от метода мониторинга. Метод ЕРА 303, например, дает возможность получать результаты из процедуры наблюдений, выражаемые в процентах утечки. Однако методология DMT (Немецкие горные технологии), которая согласно методу ЕРА, позволяет рассчитать выбросы в день на основе сделанных измерений, присваивая им четыре степени интенсивности выбросов, и определяя длительность видимых выбросов в течение наблюдения и рассмотрения.

Для примерной установки используются следующие методологии мониторинга:

- видимые утечки у подъемных труб и загрузочных отверстий определяются на поду печи на расстоянии 2 м от подъемных труб и загрузочных отверстий. Видимые утечки подъемных труб определяются также из газосборника;
- наблюдение за подъемными трубами и загрузочными отверстиями проводится раз в день (выборочная проверка);
- видимые выбросы при нормальной работе (загрузка угля, выдача кокса) не считаются как утечки;
- определяется частота утечек средняя за неделю.

Достижимые экологические выгоды

Подъемные трубы с гидравлическим уплотнением и загрузочные отверстия с заделанными крышками будут значительно снижать выбросы пыли, СО и углеводородов (см. табл. 5.2).

С заделанными крышками достигаются видимые утечки от загрузочных окон максимум в 1%. Кроме того, для приспособлений, которые обеспечивают проход от батареи коксовых печей к газосборнику, включая подъемную трубу, изогнутую S-образную трубу и стационарные соединительные трубы, достижения утечки в 1%, как было определено по частоте утечек в неделю.

Воздействия между средами

В случае подъемных труб с гидравлическим уплотнением образуется поток сточных вод. Однако эти сточные воды можно в некоторых случаях возвращать в цикл в бак с водоаммиачным раствором или можно направлять в отпарную аммиачную колонну. Для циркуляции воды насосами потребляется электроэнергия.

Не передавались эксплуатационные данные, о мотивации для внедрения.

Применимость

Этот способ применим к новым и существующим установкам. На новых установках конструкция подъемных труб и загрузочных отверстий может быть оптимизирована, для того чтобы снизить неорганизованные выбросы.

Пример установок

Многие установки в мире имеют подъемные трубы с гидравлическим уплотнением. Кроме того, почти все установки работают с заделкой загрузочных отверстий, либо автоматической, либо ручной.

Справочная литература: [33], [249], [320]

5.3.4 Ровная и бесперебойная работа коксохимического предприятия

Вместе с режимом обслуживания и операциями чистки ровная и бесперебойная работа коксовой печи является одной из важнейших мер, интегрированных в технологический процесс, для контроля выбросов. Нарушение режима работы приводит к значительным колебаниям температуры и росту возможностей для “тугого хода” кокса при выталкивании. Это может оказывать негативное воздействие на огнеупоры и на саму коксовую печь и может привести к росту утечек и возникновению ненормальных условий работы.

Предварительным условием для ровной и бесперебойной работы является высокая надежность всего производственного оборудования печи. Это также способствует повышению производительности.

Бесперебойная работа всего коксохимического предприятия также оказывает положительное влияние на выбросы от коксовых батарей.

С помощью контроля температуры поверхности нагрева (измерительный прибор в простенках камеры печи) появляется возможность определения распределения температур в камере, что позволяет сделать выводы от эффективности системы нагрева.

На основе этих результатов можно предпринимать действия по ремонту или оптимизации работы коксовой печи.

Проверка и обеспечение того, что масса кокса полностью коксуется, может предотвратить выбросы летучих органических соединений или выбросы от непроизвольного сжигания остаточных газов при коксовании при открытии дверей.

Автоматизация процесса получения кокса дает возможность работать коксохимическому производству с оптимальной эффективностью. Некоторые примеры вариантов контроля включают:

- инфракрасную измерительную систему для измерения температуры поверхности двух обогревательных простенков;
- инфракрасный пирометр с интегральной памятью данных для проведения ручных измерений в топочных каналах;
- уменьшение количества шлейфа загрязнений с помощью внедрения системы регистрации шлейфов (например, система инфракрасной термической камеры), которая позволяет регистрировать все ненормальные события. Анализируя данные регистрации и связывая их с основными идентифицированными причинами появления шлейфов, например, выдача неготового кокса, компоненты коксового пирога, механические причины (забивание) и качество системы горна, и, наконец, устранение дефектов (высота загрузки) и корректировка нагрева, изменения качества шихты, операции чистки и т.д.);
- размещение набора стратегически расположенных видеокамер для мониторинга выбросов из коксовых печей. Некоторые можно устанавливать на коксовом заводе, а другие – на некотором расстоянии, что позволяет наблюдать за операциями. Камеры передают изображения операторам диспетчерского пункта, и эти изображения можно регистрировать и сдавать в архив для аналитических целей;

- компьютерная система для расчета количества тепла, требуемого в каждой батарее;
- система для автоматического выталкивания и загрузки для оказания помощи рабочей смене;
- система для контроля газоперерабатывающей установки.

Достижимые экологические выгоды

Значительная часть выбросов коксохимического производства вызвана утечками из-за трещин между камерой нагрева и камерой печи, а также является результатом деформированных дверей, дверных рам, опорных стоек и т.д. Эти выбросы можно предотвратить, в значительной степени, за счет более ровной и бесперебойной работы коксохимического предприятия. Кроме того, это может значительно повысить срок службы такого предприятия.

Зарегистрированные изображения можно использовать для исследования и идентификации выбросов и для прояснения точно того, откуда они появляются, и что случается на установке в данный момент времени. Этот анализ дает ценную информацию для предотвращения будущих нарушений в нормальной работе.

В значительной степени предотвращаются выбросы от шлейфов загрязнений.

Воздействия между средами

Не известно о значительных воздействиях между средами.

Не передавались эксплуатационные данные, о мотивации для внедрения.

Применимость

Можно применять как на новых, так и на существующих установках. Вследствие агрегатной конструкции коксовой печи, проектирование оборудования для автоматизации процесса получения кокса позволяет принимать решения, адаптированные к специальным требованиям заказчика.

Экономика

В общем, предотвращение выхода не готового кокса повышает производительность коксохимического производства.

Пример установок

Большинство операторов в мире обучено эксплуатации коксохимического производства с максимальным обеспечением ровной и бесперебойной работы. Однако экономические стимулы могут побудить к повышению уровней производства, и это увеличит шансы на менее стабильную работу предприятия.

Одним примером для описанной технологии в третьем ключевом моменте описания, является коксохимическое производство компании ArcelorMittal в Дюнкерке, Франция.

Одним примером технологии в четвертом ключевом моменте описания является компания BHP Steel в Австралии.

Справочная литература: [65], [215], [223], [227], [252], [253], [320].

5.3.5 Обслуживание коксовых печей

Обслуживание коксовых печей является одной из важнейших мер, встроенных в технологический процесс, и решающим фактором для ровной и бесперебойной работы.

Обслуживание может выполняться в рамках кампаний или непрерывно. Не может быть фиксированный или минимальный период обслуживания. Обслуживание должно проводиться в рамках систематической программы и специально обученным обслуживающим персоналом (например, в течение двух смен).

Примером является минимальная программа обслуживания, описанная для предприятия компании ArcelorMittal в г. Генте, Бельгия. Здесь каждая печь подвергается капитальному ремонту в среднем после пяти лет работы, в зависимости от состояния печей. Это включает в себя разгрузку печи на неделю, в течение которой проводятся следующие операции:

- периодический контроль печей (например, одной печи в день);
- деграфитизация всех отложений в камере (стены, свод, подъемные трубы);
- окситермическая сварка (керамическая накладка) трещин, отверстий и поверхностных дефектов огнеупорных кирпичей;
- ремонт пола камеры печи с помощью заливки цемента;
- инъекция пыли в тонкие трещины;
- капитальный ремонт дверей; полный демонтаж всех индивидуальных частей, очистка и повторная сборка; исправление уплотняющих элементов. Замена поврежденных кирпичей двери; во многих случаях необходима полная перекладка футеровки двери.

В дополнение к этому капитальному ремонту регулярно проверяется и исправляется система связей жесткости печи (пружины, анкеровка и т.д.).

Другие программы включают, например:

- частая очистка изогнутых S-образных труб и основных газоходов для предотвращения засорений
- очистка крышек
- разработка аппаратуры для диагностики ремонта стенок камер печи.

Достижимые экологические выгоды

Надлежащее обслуживание позволяет предотвратить образование трещин в огнеупорной обмуровке и минимизировать утечки, и, следовательно, выбросы от неполного сжигания неочищенного газа. Это предотвращает появление черного дыма при выбросе отходящих газов из дымовой трубы коксовой печи при обжиге. Кроме того, обслуживание, регулирование и капитальный ремонт дверей и рам предотвращают утечки. В случае надлежащего обслуживания изогнутой S-образной трубы и газоходов предотвращаются также выбросы и при загрузке.

Воздействия между средами

Не известно о значительных воздействиях между средами.

Эксплуатационные данные

Описанная программа обслуживания в общем применяется всеми операторами (например, компания ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия с 1986 г.) с большим успехом.

Применимость

Программы непрерывного обслуживания или в рамках кампании могут применяться как на новых, так и на существующих установках.

Экономика

Расходы на зарплату квалифицированным рабочим, выполняющим программу обслуживания, являются значительными (около 2 евро/т кокса в случае компании ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия), но как часть мер по ровной и бесперебойной работе лучше обученные операторы вносят вклад в повышение производительности, благодаря чему компенсируются затраты.

Мотивация для внедрения

Намерение обеспечения ровной и бесперебойной работы с оптимизированной производительностью и минимальными выбросами является движущей силой для проведения такой деятельности.

Пример установок

Коксохимический цех компании ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия. Это обычный вид работы, осуществляемый всеми операторами коксовых печей.

Справочная литература: [200], [223], [225], [242], [253], 276], [320], [330].

5.3.6 Камеры крупных коксовых печей

Конструирование более широких и более высоких камер коксовых печей вызвано двумя основными принципами:

- повышение экологических показателей за счет снижения количества печей, выдающих кокс в день, и уменьшения длины уплотнительных поверхностей;
- уменьшение капитальных затрат и производственных затрат вследствие того, что необходим только один набор оборудования.

Основной характеристикой коксовых печей с высокой или широкой камерой является больший объем печи по сравнению с обычными печами. Таким образом, для данной производительности уплотнение двери уменьшается по длине и снижается частота выдачи кокса. Однако следует уделять особое внимание уплотнению, поскольку труднее становится поддерживать газоплотность печей, в особенности в районе свода и пода.

Достигаемые экологические выгоды

При надлежащем обслуживании и при наличии дверей с гибким подпружиненным уплотнением, используемых в сопоставимых рабочих условиях, можно ожидать, что общие (неорганизованные) выбросы на тонну кокса из дверей и рамных уплотнений будут прямо пропорциональны снижению длины уплотнения по сравнению с обычными коксовыми печами.

Снижение выбросов при операциях выдачи кокса, как можно ожидать, с учетом того, что потребуются меньше операций выдачи кокса на тонну кокса, и что выбросы прямо пропорциональны числу выдач. Тем не менее, коэффициенты

выбросов (например, выбросы на крышку, выбросы на дверь) не находятся под влиянием применения более крупных коксовых печей.

Данные не передавались о воздействиях между средами.

Эксплуатационные данные

Для более крупных дверей коксовых печей требуется большее обслуживание. В табл. 5.14 приведены характеристики нескольких типов коксовых печей.

ТАБЛИЦА 5.14: ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕСКОЛЬКИХ ТИПОВ КОКСОВЫХ ПЕЧЕЙ.
ИСТОЧНИКИ: [33], [204], [320], [335]

Аспект	Единица	Малый	Средний	Крупный		
• Размеры (используемые):						
• высота	м	4,5	6,0	7,1	7,85	8,23
• длина	м	11,7	14,2	15,9	17,2	20,8
• ширина	м	0,45	0,45	0,59	0,55	0,59
Полезный объем	м ³	22,1	36,4	62,3	70,0	93
Производительность	т кокса/печь	12,7	21,3	39,8	43,0	55
Количество печей	#	322	187	142	120	140
Общее число отверстий	#	2898	1496	1278	1080	380
Длина поверхности уплотнения	км	10,5	6,9	6,2	6,0	5,0
Выдачи из печи	#/сутки	430	257	138	128	135
Общие действия с открытиями	#/сутки	3870	2056	1242	1152	945
Длина поверхностей уплотнения, подвергаемых чистке	км/сутки	14,0	9,5	6,0	5,6	4,9

47

Не известны какие-либо проблемы с печами с широкими и высокими камерами. Больше внимание уделяется прочности стен.

Применимость

Применяются только для новых заводов. В некоторых случаях можно выбрать печи с камерой большего размера при полной реконструкции цеха на старых фундаментах.

Данные не передавались о экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок:

• батарея коксовых печей, компания Hüttenwerke Krupp Mannesmann, г. Дуйсбург, Германия;

- компания Proseger, батарея коксовых печей № 3, Ботроп, Германия;
- коксохимическое производство компании KBS в г. Дуйсбург, Германия;
- коксовый цех компании ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия.

Справочная литература: [33], [129], [204], [320], [335]

5.3.7 Усовершенствование дверей и рамных уплотнений коксовых печей

Газоплотность дверей коксовых печей является важным фактором, и ее можно достичь с помощью применения следующих способов:

- использования дверей с подпружиненными гибкими уплотнениями
- тщательной очистки дверей и рам при каждой выдаче кокса
- газовых каналов внутри дверей.

Существующие батареи коксовых печей можно оснастить дверями с подпружиненными уплотнениями, если дверные рамы и броневые плиты не будут слишком деформированы. В этом отношении прочность опорных стоек играет важную роль, поскольку броневые плиты (удерживающие футеровку на месте) предпочтительно закреплять на месте с помощью пружин, которые устанавливаются на опорных стойках.

Следует отметить, что ситуация для малых и крупных печей различается. Для печей с высотой менее 5 м двери с клиновидной опорой в сочетании с надлежащим обслуживанием могут быть достаточными для предотвращения выбросов из дверей.

Показатели работы дверей и рамных уплотнений должны контролироваться (см. п. А2.5.5.6).

Достигаемые экологические выгоды

Удельные значения выбросов при использовании дверей с гибкими уплотнениями намного ниже, чем при использовании обычных печей. При условии поддержания чистоты для дверей современной конструкции, возможно, поддерживать видимые выбросы ниже 5% для всей дверей батареи коксовых печей, как с машинной стороны коксовой батареи, так и с коксовой стороны батареи, в качестве среднего за неделю показателя. На основе определения в соответствии с методикой ЕРА 303 в среднем за 30 дней были достигнуты значения ниже 4% на батареях коксовых печей США. Однако можно найти примеры хороших результатов с традиционными печами с клиновидной опорой для хорошо обслуживаемых небольших печей и плохих результатов на дверях с гибкими уплотнениями на плохо обслуживаемых крупных печах. Но обычно гибкие уплотнения дают намного лучшие возможности для достижения газоплотности, в особенности для крупных печей.

Газовые каналы с большим поперечным сечением сзади двери или встроенные в уплотнение снижают градиент давления между внутренней и внешней гранями уплотнения.

Усовершенствования, сделанные для двери распределителя шихты, позволяют достичь снижения неорганизованных выбросов от этой двери на 93%.

Воздействия между средами

Воздействие не происходит.

Не приведены эксплуатационные данные и мотивация для внедрения.

Применимость

Применимы для новых и в некоторых случаях для существующих печей.

Экономика

Инвестиции для замены дверей для батареи коксовых печей составляют около 6 млн. евро на коксохимическом предприятии примерно с сотней печей с производительностью порядка 1,2 – 1,5 млн. т кокса/год.

Пример установок

На следующих новых и реконструированных заводах были применены двери с подпружиненным уплотнением:

- коксовая печь компании Corus в г. Эймейден, Нидерланды;
 - коксовая печь компании Hüttenwerke Krupp Mannesmann, г. Дуйсбург, Германия;
 - коксовая печь компании BHP Steel в Австралии;
 - компания ArcelorMittal, г. Фос-сюр-Мер, Франция;
 - компания ArcelorMittal, г. Дюнкерк, Франция;
 - группа компаний Riva, г. Таранто, Италия.
- Справочная литература: [161], [215], [223], [252], [320], [331].

5.3.8 Очистка дверей и рамных уплотнений коксовых печей

Многие старые европейские коксохимические предприятия все еще имеют исходные двери с клиновидной опорой, без подпружиненного уплотнения. На этих предприятиях, в особенности с печами высотой выше 5 м утечка через двери может быть серьезной проблемой. Однако при хорошем обслуживании любые видимые выбросы от существующих дверей могут быть ниже 10%. Успех плана обслуживания зависит в значительной степени от стабильности процесса коксования, постоянного обслуживающего персонала, непрерывного мониторинга и обратной связи в отношении достижений. Настоятельно рекомендуется провести на рабочем месте занятия по обслуживанию дверей.

Хорошие результаты продемонстрированы также в случае современных систем для очистки дверей с использованием шаберов при каждом цикле. Еще один метод для чистки дверей коксовых печей связан с использованием водяных струй высокого давления. Такого вида очистка, однако, не может выполняться при каждом цикле.

Программы обслуживания, применяемые для дверей коксовых печей, включают в себя, например, оборудование для чистки дверей и стратегию обслуживания дверей.

Достижимые экологические выгоды

Система очистки водяной струей с высоким давлением предоставляет возможность фактически избавиться от видимых выбросов – может быть достигнуто снижение на 95% (согласно методу ЕРА). Использование системы очистки дверей с шаберами способствует также резкому снижению видимых выбросов от дверей.

Воздействия между средами

При очистке водяной струей с высоким давлением образуется поток загрязненных сточных вод, который можно очистить вместе со сточными водами от батарей коксовых печей. На некоторых заводах проводится сброс в тушильную установку.

Не приведены эксплуатационные данные, о экономике, мотивации для внедрения

Применимость

Метод применим как к новым, так и к существующим печам.

Пример установок

Коксовая печь компании Corus, г. Эймейден, Нидерланды.

Компания BHP Steel, Австралия.

Справочная литература: [97], [161], [215], [276], [320], [332].

5.3.9 Управление свободным потоком газа в коксовой печи

Свободное пространство поддерживается в подсводовом пространстве камеры коксовой печи, которое позволяет газам и летучей золе протекать в направлении подъемной трубы, которая в зависимости от конструкции обычно располагается либо на машинной стороне коксовой батареи, либо на обеих сторонах. Поток газа может быть перекрыт загружающимся углем, достигающим верха печи, либо верхняя часть печи может быть забита графитом. Где бы ни происходило торможение потока газа, будут происходить утечки из дверей и загрузочного отверстия, поскольку будет возрастать давление после места торможения.

Эту ситуацию можно предотвратить с помощью адекватного регулирования слоя загружаемого угля. Образование слоя графита в верхней части камеры и на своде печи можно минимизировать с помощью адекватного распределения тепла вдоль стен печи и снижения температуры верхней части стен. Тем не менее, если накопление графита будет слишком большим, штанга-планир может застрять в камере коксовой печи. Для предотвращения этого выталкиватель оснащается специальным чистящим устройством для очистки свода и стен верхней части камеры при выталкивании кокса.

Достигаемые экологические выгоды

В случае правильного распределения давления в камере коксовой печи значительно снижаются рассеянные выбросы и утечки. Кроме того, снижается риск образования пробки при выталкивании коксовой завалки.

Воздействия между средами

Воздействия не происходят.

Не передавались эксплуатационные данные, о экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

На всех печах с программой надлежащего управления, которые должны иметь минимальные утечки через двери, применяется такая практика.

Справочная литература: [65], [320].

5.3.10 Регулирование давления в печах в течение процесса коксования

Для обычных коксовых печей одной из серьезнейших экологических проблем является предотвращение рассеянных газообразных выбросов, которые являются главным образом в замкнутых частях коксовой печи, таких как двери коксовых печей, крышки подъемных труб и крышки загрузочных отверстий. Основной причиной и движущей силой этих выбросов является давление в камерах печи в результате образования неочищенного газа в течение процесса коксования. Под воздействием этого давления неочищенный газ проникает через уплотнения различных закрытий коксовой печи.

Камера коксовой печи обычно поддерживается под небольшим положительным давлением в течение коксования. Отрицательное давление будет давать возможность воздуху проникать в камеру печи и частичному сжига-

нию кокса, что будет приводить к разрушению печи. Под печи должен находиться под атмосферным давлением. В качестве эмпирического правила повышенное давление (в мм вод. ст.) в газосборном трубопроводе поддерживается на уровне двойной высоты печи в метрах. Следовательно, для современной печи с высотой 7 м соответствующее повышенное давление должно составить 14 мм вод. ст. Для старых печей с высотой 4 м повышенное давление в газосборном трубопроводе должно быть 8 мм вод. ст.

В течение процесса коксования давление коксового газа достигает максимума после периода коксования в течение 2 ч. В течение времени коксования снижаются теплотворная способность неочищенного газа и давление в камере.

Обычный способ регулирования давления и снижения выбросов состоит в регулировании высокого или низкого давления. Этот способ поддержания повышенного давления в газосборном трубопроводе используется на большинстве коксогазовых установок в странах ЕС-25.

Однако как только печь будет соединена с газосборным трубопроводом, давление в нем станет определять давление в камере печи. Необходимость поддержания положительного давления в газосборном трубопроводе является основной причиной повышенных выбросов в замкнутых частях печи. Для отделения давления в газосборном трубопроводе от камеры печи был разработан новый клапан сборного коллектора (с фирменным наименованием "FixCup"), который заменил механическую заслонку на отдельных печах. Этот клапан является существенным компонентом инновационной системы регулирования давления, которая действует индивидуально для каждой печи (фирменное наименование PROven®, которое означает "печь с регулируемым давлением"). Схема системы PROven® приведена на рис. 5.13. Новый клапан дает возможность контролировать уровень воды в чашеобразном дроссельном органе, расположенным в колене подъемной трубы, как функцию давления газа в печи. Давление газа измеряется в подъемной трубе или в изогнутой S-образной трубе. Для обеспечения системы с жестким контролем, которая годится для грубых условий работы коксовой печи, клапан FixCup оснащен водяным затвором чашечного типа, который гарантирует постоянный расход воды и контролируемый сток. Тем самым уровень воды в FixCup можно изменять и давление газа можно поддерживать для каждой отдельной печи обычно на произвольно выбираемом низком уровне (типично 0 мм вод. ст.) в первые часы, постепенно повышая его приблизительно до 1,3 гПа (13 мм вод. ст.) в конце периода коксования. Таким образом, обеспечивается переменное гидравлическое сопротивление в отношении неочищенного газа, удаляемого из печи. В то время как уровень давления в печи находится в положительном диапазоне, газосборный трубопровод работает под разрежением (обычное давление от -3 до -35 мм вод. ст.) Это разрежение используется также очень эффективно для перекачки технологического газа, без какой-либо необходимости в системе аспирации с водным раствором.

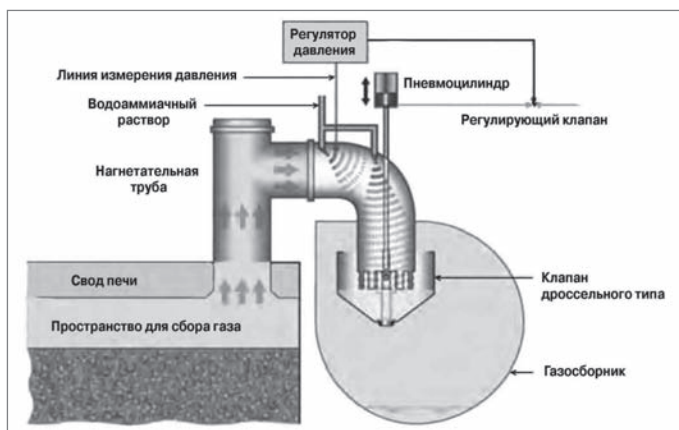


Рисунок 5.13: Схема системы PROven®

Достигаемые экологические выгоды

Количество пыли и твердых частиц кокса в коксовом газе резко снижается. В табл. 5.15 приведены результаты измерения выбросов РАН, проведенных до и после установки системы регулирования давления.

ТАБЛИЦА 5.15: ИЗМЕРЕННЫЕ ВЫБРОСЫ РАН С СИСТЕМОЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ.

Место	Период коксования после загрузки, ч	Снижение выбросов РАН (%)
Машинная сторона коксовой батареи	0 - 2	64
	2 - 5	73
Коксовая сторона коксовой батареи	0 - 2	69
	2 - 5	73

Кроме того, вследствие того, что газосборник находится под разрежением, нет необходимости в системе аспирации высокого давления.

Воздействия между средами

Не выявлены значительные воздействия между средами.

Эксплуатационные данные

Эксплуатационные данные для обычной технологии хорошо известны.

Опыт по эксплуатационным характеристикам способа переменного давления обобщается с 1999 г. Не сообщалось о каких-либо проблемах.

Применимость

Способ регулирования с переменным давлением применим к новым коксо-химическим предприятиям, и он может использоваться и для существующих предприятий. Возможность применения этого способа на существующих предприятиях должна быть тщательно определена с оценкой ситуации в каждом конкретном случае.

Данные не передавались о экономике.

Мотивация для внедрения

Снижение выбросов является движущей силой для внедрения этой технологии.

Пример установок

В 1999 г. система регулирования с переменным давлением была проверена на старом коксовом заводе в Германии (52 коксовых печи с высотой 6 м). Она работала в течение трех лет перед выводом завода из эксплуатации. Система регулирования давления была установлена в 2003 г. на новом коксовом заводе в Дуйсбурге (две батареи из 70 коксовых печей с высотой 8,4 м). После того, как система была применена на коксовых заводах в Бразилии, Китае и Южной Корее. К 2008 г. более 1200 печей с технологией PROven® уже работает или заключены контракты на их эксплуатацию.

Справочная литература: [203], [204], [225], [320], [329].

5.3.11 Утилизация тепла при коксовании

Эта система коксования часто называется также “коксованием без рекуперации тепла”, поскольку коксование происходит без рекуперации тепла и утилизации побочных продуктов. Во время написания (2010 г.), однако, термин “утилизация тепла” применялся, когда тепло отходящих газов использовалось, а сами отходящие газы подвергались десульфуризации, что было типично для нового строительства.

В процессе коксования с утилизацией тепла по существу вся смола и газы, выделяемые в процессе коксования, сжигаются в печи и подовом канале коксовой батареи. Процесс коксования с утилизацией тепла требует иной конструкции печи, чем в случае традиционной системы с горизонтальной камерой. Нет необходимости в установке для очистки коксового газа и сточных вод.

Традиционные системы с утилизацией тепла без какого-либо использования отходящих газов и (или) очистки являются “ульевыми печами” все еще находятся в эксплуатации в Китае. Основой для систем утилизации тепла является печь Джевелла-Томпсона (Jewell-Thompson oven), в которой несколько печей группируется вместе, образуя одну батарею (рис. 5.14).

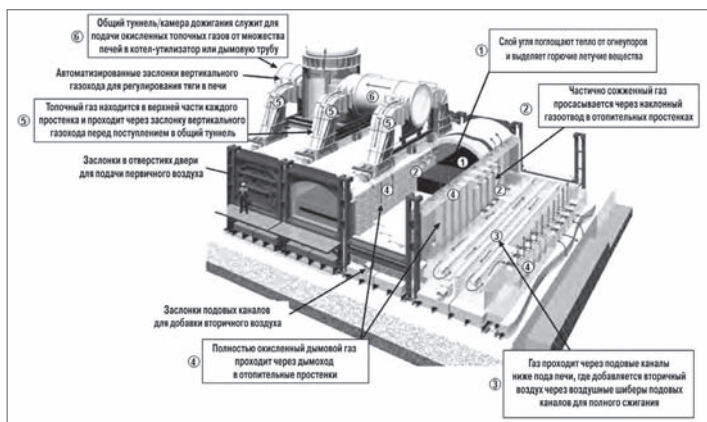


Рисунок 5.14: Печь Джевелла-Томпсона и коксовый завод с утилизацией тепла

Батарея печей на прямоугольном основании с куполообразным верхом компании Indian Harbor Coke Company в Восточном Чикаго (США) имеет размеры 14 x 3,5 x 2,4 м (длина x ширину x высоту). Огнеупорная футеровка коксовой печи состоит из динасовых (кислых) кирпичей. Загрузка углем (от 40 до 45 тонн на загрузку) печей производится через открытую дверь с машинной стороны коксовой батареи с помощью водоохлаждаемого угольного конвейера. Обычная высота загрузки составляет 1000 мм.

Процесс коксования начинается с помощью тепла, которое сохранилось от предшествующего цикла коксования. Выделяющийся коксовый газ частично сжигается в своде печи при добавке окружающего воздуха через двери печи и проходит через “наклонный газоотвод” в отопительные каналы, расположенные в поду печи. При дополнительной подаче окружающего воздуха происходит полное сжигание неочищенного газа при температуре от 1200 до 1400°C.

Таким образом, коксование подаваемого угля имеет место при непосредственном отоплении в районе свода печи и с помощью косвенного нагрева от огнеупорного пода. Вся система работает при давлении, близком к атмосферному. При утилизации тепла на современном заводе горячие отходящие газы используются для производства энергии, и в дальнейшем они подвергаются десульфуризации перед сбросом в атмосферу.

Время коксования в печах Джевелла-Томпсона составляет приблизительно 48 ч. После этого кокс выдвигается и тушится по мокрому методу. Самые важные характеристики, по которым способ утилизации тепла от обычной технологии получения кокса, приведены на рис. 5.15, и их можно подытожить следующим образом:

- получение кокса на плоском слое;
- работа печей при отрицательном давлении;
- поставка воздуха непосредственно в камеры печи;
- полное сжигание неочищенного газа в каждой единичной печи;
- отсутствие сточной воды;
- можно получать гипс в качестве побочного продукта.

Только около 6% объектов по получению кокса во всем мире (на которые приходится приблизительно 556 млн. т кокса в год), которые были введены в эксплуатацию в 2005 г., работают как объекты с утилизацией тепла. Наиболее важные системы находятся в США, Южной Америке, Азии и Австралии. Объект с утилизацией тепла компании Haverhill Ohio в США был сдан в эксплуатацию в 2005 г.

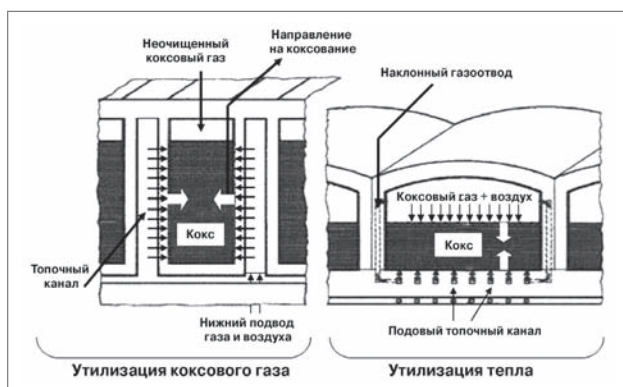


Рисунок 5.15: Самые важные характеристики способа утилизации тепла в отличие от утилизации коксового газа. Источник: [320].

Достигаемые экологические выгоды

В табл. 5.16 приведены показатели выбросов для коксового завода без утилизации тепла. Значения относятся к выбросам без применения системы снижения выбросов. В г. Ванзант, штат Вирджиния, США, часть дымовых газов подвергается очистке в термической сушилке, но остальные печи работают без устройств для очистки дымовых газов.

Поскольку коксовая печь работает при давлении, близком к атмосферному, выбросы из дверей в течение операции коксования являются пренебрежимо малыми. Выбросы при операциях загрузки и выдачи кокса на объектах без утилизации тепла без системы снижения выбросов приведены в табл. 5.16. Отметим, что две имеющиеся батареи, от которых поступила эта информация, не оснащены установками для обеспыливания в течение загрузки и выдачи кокса.

ТАБЛИЦА 5.16: ВЫБРОСЫ ПРИ ЗАГРУЗКЕ И ВЫДАЧЕ КОКСА ПРИ КОКСОВАНИИ БЕЗ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА, БЕЗ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ. ИСТОЧНИК: [74]

Компонент	Значение	Загрузка	Выдача	Единица
Пыль	1960	7,35	276	г/т кокса
SO ₂	7000			г/т кокса
NO _x	380			г/т кокса
CO				г/т кокса
Бензол – растворимая органика		Не определен	0,65	г/т кокса
Бенз-а-пирен		1,3 × 10 ⁻⁵	Не определен	г/т кокса

Примечание: На основе коэффициентов выбросов EPA США. Рассчитано как г/т угля, на основе предположения, что выход кокса из 1 т угля составит 0,78 т (см. п. 5.1.2.3).

Предварительное условие для экологически безвредной работы технологии утилизации тепла состоит в использовании тепла отходящих газов и в системе снижения выбросов (десульфуризация) от отходящих газов.

Выбросы NO_x превышают обычные выбросы при стадийном сжигании, применяемом для обычных коксовых батарей.

Вследствие того, что коксовая печь работает под отрицательным давлением, неорганизованные выбросы из дверей, вызываемые утечками в течение операции коксования, являются пренебрежимо малыми. Таким образом, выбросы канцерогенных веществ (например, бенз-а-пирен) можно почти полностью предотвратить в течение операций коксования. Выбросы твердых частиц и бенз-а-пирена могут происходить в течение загрузки угля.

Улучшенного контроля выбросов можно достичь с помощью изменения системы отсоса из печи или с помощью дополнительного отсоса на машинной стороне коксовой батареи, включая систему обеспыливания. Вообще, выбросы твердых частиц при выдаче кокса ниже, чем в случае горизонтальной камеры коксования, что связано с меньшей высотой, с которой кокс сбрасывается из плоского пода в коксотушильный вагон. Для улавливания остальных выбросов твердых частиц на коксовой стороне коксовой батареи устанавливается вытяжка в сочетании с всасывающим устройством и системой обеспыливания.

Воздействия между средами

Недостатком коксования с утилизацией тепла является большая площадь, занимаемая печами, вследствие конструкции с плоским подом, по сравнению с обычными системами приготовления кокса.

Частичное сжигание угля в течение коксования приводит к меньшему выходу кокса для доменной печи.

Технология утилизации тепла может использовать уголь пониженного качества, и это означает также, что более дешевые угли, включая слабо коксующиеся угли и вспучиваемые угли для производства кокса эквиваленты по качеству коксу, производимому на обычных заводах.

Эксплуатационные данные

Объект с утилизацией тепла компании Indiana Harbor в штате Индиана, США начал работать с 1998 г. Сообщаемые данные об опыте эксплуатации являются достаточными, и они включают соображения об аспектах, связанных с окружающей средой. Сообщалось о проблемах, связанных с отложениями сажи в котлах-утилизаторах, когда не происходит достаточного сжигания коксового газа. Вследствие отрицательного давления в течение коксования видимые выбросы от дверей являются пренебрежимо малыми.

Кокс высокого качества может производиться с помощью процесса утилизации тепла с использованием широкого набора углей, включая те, которые относятся к сильно набухающим углям. Качество кокса сопоставимо с качеством кокса, производимого с помощью технологии коксования в горизонтальной камере. Дополнительное повышение качества кокса может быть достигнуто за счет уплотнения загружаемого угля.

Применимость

Эта технология применима только как совершенно новая концепция завода в зависимости от условий на работающем объекте.

Решение о строительстве системы с утилизацией тепла зависит также от участка. Представляется трудным достижение экономически рентабельной

энергетической связи при интеграции коксового завода с утилизацией тепла с существующим металлургическим заводом. На объекте с утилизацией тепла не производится коксовый газ, который можно использовать для нагрева с тем, чтобы потребители использовали его для производства пара или электроэнергии на участке.

Экономика

На основе информации от завода с утилизацией тепла Indiana Harbor в штате Индиана, США, инвестиции для совершенно нового предприятия с утилизацией тепла, производящего 1,2 млн. т кокса в год, составляют 365 млн. долл., включая коксовые печи, систему обращения с углем и смешения и электростанцию в 1998 г. Сообщалось, что только для энергетического объекта инвестиционные затраты составили 140 млн. долл. в 1998 г.

Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты обычно ниже по сравнению с улавливанием побочных продуктов и использованием коксового газа.

Мотивация для внедрения

Основными преимуществами использования утилизации тепла при коксовании являются более низкие требования в рабочей силе и возможности использования углей с низким качеством, и это означает более дешевые угли.

Пример установок

В Европе не имеются такого рода примеров. Несколько таких объектов работает в США и Китае.

Справочная литература: [115], [117], [121], [124], [200], [320], [336].

5.3.12 Снижение выбросов из камеры обжига

Сжигание газообразного топлива в камерах нагрева обеспечивает тепло для процесса коксования. Тепло передается в камеру коксовой печи с помощью теплопроводности от огнеупорной кладки. Чем выше температура в камере печи, тем короче время коксования. Самыми важными загрязняющими веществами при обжиге в коксовой печи являются NO_x, SO₂ и пыль. Снижение выбросов при обжиге в коксовой печи связано с надлежащим обслуживанием кирпичной кладки, а также с мерами первичного и вторичного снижения выбросов для каждого загрязняющего вещества.

Минимизация утечек между камерами коксовой печи и камерами обжига

С помощью проведения систематического и непрерывного обслуживания коксовой печи в соответствии с описанием, приведенным в п. 5.3.3, утечки из кирпичной кладки можно предотвратить в значительной степени. Утечки через трещины в кирпичной кладке дают возможность, чтобы неочищенный коксовый газ достиг дымовых газов от камеры обжига. Это приводит к дополнительным выбросам SO₂, пыли и углеводородов. Наличие трещин легко определяется по видимым выбросам черного дыма из дымовой трубы коксовой печи в течение обжига. Однако трудно идентифицировать, из какой камеры коксовой печи происходит утечка. Самым обычным способом, используемым для опреде-

ления трещин, является наблюдение за двумя простенками коксовой батареи после выдачи кокса и топочными каналами непосредственно после загрузки. Расположение трещин выявляется по пламени, появляющемуся в каналах.

Вследствие трещин в простенках выбросы твердых частиц будут часто возрастать с ростом времени эксплуатации и будут превышать 10 мг/нм^3 . С помощью мониторинга количества сажи в газах, проходящих через дымовую трубу, персонал коксовой печи может идентифицировать любую тенденцию в черных выбросах из дымовых труб и связать выбросы с конкретной загрузкой печей. Они в состоянии управлять процессом производства кокса для снижения утечек между печью и простенками коксовой батареи.

Как только проблема идентифицирована, трещины, отверстия и другие виды износа поверхности огнеупорной кладки можно эффективно ремонтировать с помощью окситермической сварки, сварки кремниевыми бронзами и с помощью мокрого или сухого распыления огнеупорным цементом. В некоторых чрезвычайных случаях может возникнуть необходимость в обновлении кладки.

Достижимые экологические выгоды

Обычно выбросы твердых частиц из дымовой трубы находятся ниже 10 мг/нм^3 . Выбросы можно снизить почти до нуля, когда распыление применяется должным образом и проводится мониторинг трещин. Качество и условие огнеупорной кладки в коксовой печи также являются очень важными в этом отношении.

Данные не приведены о воздействиях между средами, эксплуатационные данные, экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

Технология может применяться только для существующих объектов.

Пример установок

Много объектов в странах ЕС.

Справочная литература: [33], [65], [130], [215], [244], [320], [338].

Снижение выбросов NOx с помощью первичных средств

Образующиеся NOx состоят почти полностью из термических NOx, которые образуются при реакции между N_2 или O_2 в факеле. Образование термических NOx в значительной степени связано с пиковыми температурами и концентрациями O_2 в факеле. Косвенно, выбросы NOx связаны также с топливом (обогащенный доменный или коксовый газ) и с типом используемого топлива, конкретным весом загрузки угля, временем коксования и размерами камеры коксовой печи.

Самым эффективным способом снижения образования NOx является снижение температуры факела в камере обжига. Поэтому цель состоит в сжигании в холодном факеле. Было доказано, что эффективными являются три метода:

- рециркуляция отходящих газов: отходящие газы из коксовой печи смешиваются с топливом и воздухом для сжигания. Пониженные концентрации O_2 и повышенные концентрации CO_2 снижают температуру факела. Однако эффект

предварительного подогрева газов для рециркуляции может противодействовать эффекту снижения температуры;

- сжигание со стадийной подачей воздуха: с помощью добавки воздуха для сжигания в несколько стадий условия сжигания становятся более умеренными, и снижается образование NO_x ;

- снижение температуры коксования: температура оказывает влияние на экономику и эффективность использования энергии в коксовых печах. Пониженные температуры коксования требуют пониженных температур в камере нагрева, а результатом является меньшее образование NO_x .

Кроме того, температура в камере нагрева (и, таким образом, образование NO_x) могут быть снижены, в то время как обычная температура коксования поддерживается с помощью снижения температурного градиента по толщине футеровки печи со стороны камеры нагрева к коксовой стороне коксовой печи. Это можно сделать с помощью использования более тонких кирпичей и огнеупоров с лучшей теплопроводностью. Раньше температура в камере нагрева 1320°C должна была привести к температуре в камере коксования 1180°C . В настоящее время достигается температура в камере коксовой печи 1200°C в той же самой камере нагреве благодаря более тонким кирпичам.

Достижимые экологические выгоды

Стадийный нагрев воздуха в сочетании с внутренней рециркуляцией отходящих газов способствует образованию длинного и “холодного” факела, что является предварительным условием минимизации концентрации NO_x в отходящих газах.

Коксовые заводы, на которых внедрены интегрированные в технологический процесс меры по снижению выбросов NO_x , характеризуются выбросами около $340 \text{ г NO}_x/\text{т кокса}$ (концентрации: $322 - 414 \text{ мг}/\text{м}^3$ при $5\% \text{ O}_2$).

Выбросы, имевшиеся на нескольких немецких законах, находятся в следующих диапазонах:

- при сжигании смешанного газа: концентрации NO_x $322 - 358 \text{ мг}/\text{м}^3$;
- при сжигании коксового газа: концентрации NO_x $332 - 414 \text{ мг}/\text{м}^3$

Воздействия между средами

Когда охлаждающая способность охладителей неочищенного газа возрастает для повышения эффективности десульфуризации, потребление энергии возрастает, и возрастают возможные термические выбросы. Не были идентифицированы воздействия между средами в результате снижения выбросов NO_x из коксовой печи.

Не приводились эксплуатационные данные, о экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

Меры по снижению выбросов NO_x , интегрированные в технологический процесс, применимы на новых объектах. Снижение температуры на существующих объектах будет приводить к увеличению времени коксования и к работе ниже номинальной производительности.

Использование более тонких кирпичей и огнеупоров с лучшей теплопроводностью может применяться только для новых объектов.

Пример установок

Вновь построенные или реконструированные цеха оснащены системами для сжигания с низкими выбросами NOx. Например:

- Коксовая печь компании Hüttenwerke Krupp Mannesmann, Дуйсбург, Германия;
- Коксовая печь компании Prosper, Ботроп, Германия;
- Коксовый цех компании KBS, Швельгерн, Германия;
- Коксовый цех ВЗ компании ArcelorMittal, Фос-сюр-Мер, Франция;
- Коксовый цех компании ArcelorMittal, Сереманж, Франция;
- Коксовый цех 2, компания Corus, Скандинавия, Соединенное королевство;
- Коксовая печь компании Riva Group, Таранто, Италия.

Снижение выбросов NOx с помощью вспомогательных средств

Выбросы NOx из коксовых печей предпочтительно минимизировать с помощью мер, интегрированных в технологический процесс, но могут также применяться технологии очистки в конце производственного цикла.

В процессе SCR NOx в дымовых газах каталитически восстанавливается с помощью аммиака (NH₃) до N₂ и H₂O. В качестве катализатора часто используют пятиоксид ванадия (V₂O₅) или оксид вольфрама (WO₃) на подложке из диоксида титана (TiO₂). Другими возможными катализаторами являются оксид железа и платина. Оптимальный диапазон рабочих температур от 300 до 400°C. Такие высокие температуры снижают утилизацию энергии в регенераторах (оптимальный диапазон от 180 до 250°C) коксовых печей, или необходим дополнительный нагрев отходящих газов.

Особое внимание следует уделять деактивации катализатора, накоплению взрывоопасного нитрата аммония (NH₄NO₃), проскоку аммиака и образованию коррозионного SO₃.

Достижимые экологические выгоды

Можно достигнуть эффективности очистки от оксидов азота 90%. Пока нет большого опыта в отношении устойчивого использования способа в коксовых цехах.

Воздействия между средами

Происходит рост потребления энергии и аммиака. Часть катализатора должна удаляться, когда он теряет свою эффективность.

Эксплуатационные данные

В 1976 г. SCR было сдано в эксплуатацию компанией Kawasaki Steel Chiba Works, Япония, для очистки отходящих газов после коксовой печи. Система имела производительность 500000 нм³/ч. Рабочая температура составляла 240°C, а восстанавливающей средой был аммиак. Эффективность очистки от оксидов азота составила 90%. Образование сульфата аммония и накопление пыли означают, что катализатор надо регенерировать раз в день с помощью нагрева отходящих газов > 260°C.

В 1992 г. SCR была выведена из эксплуатации в связи с закрытием коксовых батарей.

Применимость

SCR применяется для новых объектов.

Экономика

Сообщалось о следующих затратах для SCR: инвестиции: 47 млн. евро в 1976 г.; данные об эксплуатационных затратах отсутствуют.

Сообщалось о следующих затратах для SCR: капитальные затраты 50 евро ($\text{нм}^3/\text{ч}$) $\pm 30\%$ в 1996 г. Таким образом, для батарей коксовых печей с расходом отходящих газов $300000 \text{ нм}^3/\text{ч}$ и производительностью 1 млн. т кокса в год затраты равны:

- инвестиции: 25 млн. евро ± 5 млн. в 1996 г.
- эксплуатационные затраты: 0,17 – 0,51 евро/т кокса в 1996 г.

Пример установок

Система SCR для очистки отходящих газов коксовых печей от оксидов азота применялась на коксовых батареях 2, 3 и 6 компании Kawasaki Steel Chiba Works, Япония. Впоследствии они были выведены из эксплуатации. В настоящее время в эксплуатации в мире нет ни одной коксовой батареи с использованием SCR.

Справочная литература: [65], [276], [339].

Снижение выбросов SO₂ при десульфуризации коксового газа

Уровень выбросов SO₂ в значительной степени связан с содержанием серы в топливе. Таким образом, выбросы SO₂ можно минимизировать с помощью минимизации содержания серы в топливе. Обычно используется (обогащенный) доменный или коксовый газ для сжигания в коксовых печах. Содержание серы в коксовом газе зависит от степени десульфуризации установки для очистки коксового газа. Содержание H₂S в очищенном коксовом газе может изменяться от 1 до $1000 \text{ мг}/\text{нм}^3$, в зависимости от типа используемой десульфуризации и ее соответствующей эффективности. Если десульфуризация не применяется (что все еще встречается на некоторых заводах в ЕС), содержание H₂S может быть таким высоким как 8 – 12 г H₂S/ нм^3 . В обогащенном доменном газе содержание меры ниже.

Выбросы пыли могут значительно возрасти, и выбросы SO₂ могут также возрасти, когда неочищенный коксовый газ из утечек в камерах коксовой печи проходит через трещины в простенках коксовой батареи и сжигается вместе с топливным газом. Параллельно будет образовываться пыль вследствие неполного сжигания коксового газа, а также газа от нижнего обогрева. Если это происходит, выбросы твердых частиц (черный дым) можно наблюдать визуально из дымовой трубы коксовой батареи. Выбросы твердых частиц происходят также, когда в газе нижнего обогрева содержится пыль.

Неочищенный коксовый газ не годится для использования во многих промышленных применениях вследствие содержания H₂S. Когда, однако, газ подвергается десульфуризации, его использование для многих применений становится воз-

возможным. Многие заводы продают коксовый газ после десульфуризации, получая доход. Десульфуризация по коммерческим причинам совпадает с необходимостью защиты окружающей среды от воздействия “кислотных дождей”, поскольку в случае коксового газа, прошедшего стадию десульфуризации, снижаются выбросы SO₂ в месте сжигания коксового газа. Во многих случаях сера удаляется в течение двух стадий: на стадии низкого давления и на стадии высокого давления. Десульфуризация коксового газа становится все более частой в странах ЕС-27.

В коксовом газе содержатся также различные органические соединения серы, такие дисульфид углерода (CS₂), оксисульфид углерода (COS), меркаптаны и т.д. (приблизительно 0,5 г/нм³). Однако имеется только ограниченная информация относительно утилизируемых органических соединений серы из коксового газа.

Как описано в п. 5.1.4.4, имеется два основных типа процессов десульфуризации коксового газа: мокрый окислительный процесс и абсорбционный процесс с последующим отгоном легких фракций. Абсорбционные процессы объединяют удаление H₂S и аммиака и переработку. Удаленные сульфид водорода и аммиак утилизируются в виде паров в отпарных аммиачных колоннах. Пар для отпаривания для отпарных аммиачных колонн направляется непосредственно в колонну. Пары с высоким содержанием H₂S/NH₃ можно подавать либо в установку Клауса, где распадаются аммиак и сульфид водорода с образованием элементарной серы, либо направлять в цех для производства серной кислоты в сочетании с производством сульфата аммония.

На протяжении ряда лет процесс Клауса подвергался непрерывному развитию с повышением эффективности процесса утилизации серы. Одной из таких разработок является процесс OxyClaus®. Эта технология такая же самая, что и процесс Клауса, но вместо воздуха используется кислород. Сначала удаляется NH₃ с помощью крекинг реакции (при 1450oC). Затем удаляется H₂S с помощью очистки чистым кислородом (OxyClaus), с получением жидкой серы.

В табл. 5.17 перечислены различные процессы десульфуризации коксового газа и их характеристики.

ТАБЛИЦА 5.17: ПРОЦЕССЫ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ КОКСОВОГО ГАЗА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ.
ИСТОЧНИКИ: [21], [153], [186], [242], [252], [254]

Процессы мокрого окисления		Абсорбционные/процессы отгонки	
Название	Описание	Название	Описание
Stretford	Очистка коксового газа от H ₂ S производится с получением раствора карбоната натрия (Na ₂ CO ₃) и элементарной серы (So) при использовании ванадата (VO ₃) в качестве промежуточного катализатора. Регенерация очищающей жидкости происходит с помощью аэрации (O ₂) с использованием в качестве промежуточного соединения антрахион 2, - 6 – дисульфоновой кислоты (ADA)	Carl Still, Diamex®, Cislasuff® или ASK(*)	Очистка коксового газа от H ₂ S производится с помощью раствора NH ₃ . Раствор NH ₃ получается из аммиачного скруббера. H ₂ S и NH ₃ отгоняются из промывной жидкости с помощью отгонки паром, а пары направляются на установку Клауса или установку для получения серной кислоты

Процессы мокрого окисления		Абсорбционные/процессы отгонки	
Название	Описание	Название	Описание
Takahax®	Сходство с процессом Stretford за исключением того, что в качестве промежуточного соединения для регенерации используется 1, 4 – нафтохинон – 2 – сульфоновая кислота	Vacasuff®	Процесс применяется для коксового газа с низким содержанием аммиака. Очистка коксового газа от H ₂ S, а также HCN и CO ₂ проводится с помощью раствора карбоната натрия или карбоната калия. Вариант с карбонатом калия позволяет иметь повышенные концентрации карбоната. Промывная жидкость регенерируется в колонне, с использованием высокой температуры и низкого давления (0,12 – 0,14 бар). Кислые газы отгоняются из раствора и могут очищаться в установке Клауса или на установке для получения серной кислоты
Thylox®	Тиоарсенат натрия (Na ₂ As ₂ S ₅ O ₂) связывает H ₂ S, а регенерация происходит с помощью обработки кислородом. Получается элементарная сера	Sulfiban®	Коксовый газ очищается с помощью моноэтаноламина (MEA). NH ₃ удаляется перед удалением H ₂ S, что необходимо для предотвращения загрязнения промывной жидкости. H ₂ S очищается от раствора MEA с использованием пара, и его можно удалить в установке Клауса или на установке для получения серной кислоты. Нерастворимые органические соединения серы удаляются из раствора MEA как твердые отходы
Perox®	Очистка газа аммиачным раствором. Для окисления серы используется парабензохинон, а регенерация очищающей жидкости проводится с помощью кислорода	Desulf®	Фактически то же самое, что процесс ASK, но NH ₃ удаляется из паров NH ₃ /H ₂ S в сатураторах, с получением сульфата аммония ((NH ₄) ₂ SO ₄)
Fumaks® Rhodacs®	H ₂ S окисляется пикриновой кислотой в процессе Фумакса, получается элементарная сера. Цианиды утилизируются в процессе Родакса		

(*) ASK = процесс десульфуризации с использованием сульфата аммония.

В Европе чаще всего применяют абсорбционный процесс с использованием аммонийного раствора для очистки коксового газа от H₂S (Carl Still, Diamex, ASK или Cyclasuff процессы). На рис. 5.16 показана блок-схема установки для десульфуризации коксового газа с применением процесса ASK, внедренного в 1997 г.

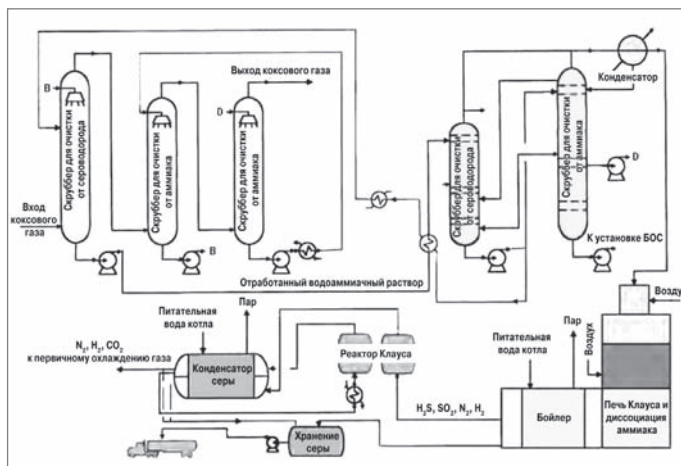


Рисунок 5.16: Блок-схема установки для очистки коксового газа с процессом ASK (аммиачная вода), установленным в 1997 г. Источник: [200]

Чаще всего применяемым процессом мокрого окисления является процесс Стретфорда. Он применяется для широкого диапазона производительностей десульфуризации. Имеющиеся в печати сведения охватывают диапазон производительностей по десульфуризации коксового газа от 400 до 110000 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Дополнительную информацию об установках для получения серной кислоты можно найти в BREF по производству больших объемов неорганических веществ [168].

Достигаемые экологические выгоды

Процессы мокрого окисления характеризуются лучшей эффективностью десульфуризации, чем абсорбционные процессы десульфуризации. Их эффективность может составлять >99,9%, с достижением такой низкой остаточной концентрации H₂S как 1 $\text{мг}/\text{м}^3$ для коксового газа. Дополнительно разработанные абсорбционные методы (методы отгонки), такие как ASK или Cyclasuff, позволяют достичь эффективности десульфуризации > 95%, при остаточных концентрациях H₂S в коксовом газе от 50 до 500 $\text{мг}/\text{м}^3$.

В условиях оптимизированного процесса ОхуClaus может быть достигнута эффективность крекинга аммиака и утилизации сероводорода 99,9%. При этой технологии значительно возрастает утилизация H₂S по сравнению с традиционными способами Клауса, но они работают при более высоких температурах.

Ни одна из имеющихся технологий не позволяет удалять соединения органической серы с высокой эффективностью. На стадии очистки газа при низком давлении удается снизить концентрации органических соединений серы только с 0,5 до 0,2-0,3 $\text{г}/\text{м}^3$.

В условиях оптимизированного процесса ОхуClaus может быть достигнута эффективность удаления NH₃ и H₂S на уровне 99,9%. При этой технологии

степень десульфуризации повышается на 50% по сравнению с традиционными способами.

На двух немецких установках с нижним подогревом абсорбционный процесс десульфуризации происходит в следующих диапазонах:

- десульфуризация при отоплении смешанным и коксовым газом: концентрация SO₂ от 111 до 157 мг/нм³
- при отоплении коксовым газом и десульфуризации коксового газа: концентрация SO₂ от 118 до 128 мг/нм³.

Воздействия между средами

При любом мокром окислительном процессе, используемом для десульфуризации коксового газа, будет удаляться большая часть цианида водорода из коксового газа, а также будет образовываться тиоцианат натрия по следующей реакции:



Тиоцианат натрия и небольшие количества сульфата натрия и тиосульфат, образующиеся при побочных реакциях, не регенерируются в процессе и собираются в циркулирующем растворе.

Поэтому необходимо очистить поток жидкости для предотвращения высаливания химических веществ. В случае процесса Стретфорда в этом сбрасываемом потоке содержатся соединения ванадия, соединения хинона и гидрохинона (от антрахинона дисульфоновой кислоты), тиоцианид и тиосульфат. Сброс этих компонентов является нежелательным с экологической и экономической точки зрения (загрязнение воды и потеря дорогих химикатов). Обычно такие вещества подвергаются рециклингу с помощью усреднения углей.

Для снижения потребления химикатов циановую кислоту (HCN) можно удалить до процесса десульфуризации в устройстве для предварительной промывки с использованием раствора полисульфида натрия или полисульфида аммония. Предварительное удаление HCN не снижает общего объема образующегося стока.

Для процесса OxyClaus энергия необходима для крекинга, но катализатор не нужен для удаления аммиака, выбросы NO_x можно снизить.

В редких случаях, например, когда производство коксового газа превышает спрос в нем, избыток коксового газа должен сжигаться на свече по причинам безопасности. При этом образуются выбросы. Оценка для одного примера приведена в табл. 5.6. Эффективность сжигания на свече должна быть > 95%.

Работа в режиме байпаса может привести к значительным выбросам. На одном из коксохимических предприятий компании Cogus в Эймеидене, Нидерланды, удаление из коксового газа проводилось с помощью абсорбционного процесса Sulfinat при использовании MEA (моноэтаноламина). Эффективность десульфуризации этого процесса составляет приблизительно 95%. H₂S, удаляемый из MEA, конвертируется в серную кислоту. Установка для производства серной кислоты, не работает в течение трех недель в год вследствие необходимости обслуживания отпарной колонны моноэтаноламина (1,5 недель)

и самой установки для производства серной кислоты (1,5 недель). В течение этого периода неочищенный коксовый газ добавляется в сеть топливного газа или используется для нагрева коксовых печей, что приводит к дополнительным выбросам SO₂ в количестве порядка 400 т.

Эксплуатационные данные

Процесс OxyClaus находится в эксплуатации на коксовом заводе компании ArcelorMittal в г. Фос-сюр-Мер с 2002 г. В течение этого времени выбросы диоксида серы снизились с 1900 до ниже чем 500 г/т кокса.

Применимость

Десульфуризация коксового газа с помощью как мокрого окисления, так и абсорбционного процесса применяется на новых и существующих объектах. Выбор зависит технических условий для очистки коксового газа, экологических соображений, интеграции в систему очистки газа и т.д.

Экономика

Типичные эксплуатационные и капитальные затраты для десульфуризации 42000 нм³/ч коксового газа, содержащего 6 г/нм³ H₂S и 6 нм³ NH₃, для двух основных типов способов десульфуризации коксового газа, используемых в Европе (ASK и Stretford) приведены в табл. 5.18. Сообщалось, что повышение эффективности десульфуризации с 95 до 99,9% в процессе Stretford привело к повышению затрат только на 10%. В этом процессе самыми важными статьями эксплуатационных затрат являются амортизационные отчисления и затраты на химикаты (см. табл. 5.18). В случае коксового газа с высокими концентрациями H₂S (> 2 г/нм³) потребляются относительно большие количества химикатов. В этом случае полезной может оказаться предварительная промывка от H₂S перед установкой Stretford.

ТАБЛИЦА 5.18: ТИПИЧНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ ДЛЯ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ 42000 НМ³/Ч КОКСОВОГО ГАЗА, СОДЕРЖАЩЕГО 6 Г/НМ³ H₂S И 6 НМ³ NH₃ ДЛЯ ДВУХ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ТЕХНОЛОГИЙ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ КОКСОВОГО ГАЗА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЕВРОПЕ (ASK И STRETFORD)

Параметр		Единица	Сульфат аммония/ процесс Стретфорда	Процесс ASK/ установка Клауса
Неочищенный коксовый газ	H ₂ S	г/нм ³	6	6
	NH ₃	г/нм ³	6	6
Чистый коксовый газ	H ₂ S	мг/нм ³	2	300
	NH ₃	мг/нм ³	30	30
Цена за расходные материалы (евро)	Расходные материалы	Единица	Сульфат аммония/ процесс Стретфорда	Процесс ASK/ установка Клауса
11,9/т	Пар	т/сутки	154	264
0,34/кВт-ч	Электроэнергия	кВт-ч/сутки	11900	6600
128/т	H ₂ SO ₄ (98%)	т/сутки	17,5	-
7,7/кг	ADA	кг/сутки	24	-
27/кг	Ванадат	кг/сутки	13	-
5,5/кг	Тартрат	кг/сутки	2,6	-
370/т	Сода	т/сутки	9,6	9,6
Продукты	Сера	т/сутки	4,8	5,4
	Сульфат аммония	т/сутки	23,5	-

Параметр		Единица	Сульфат аммония/ процесс Стретфорда	Процесс ASK/ установка Клауса
Доход	Сера	Евро/т	125 (1)	250 (1)
	Сульфат аммония	Евро/т	180(2)	-
Ежегодная уплата процентов по долгу		%	11	11
Ежегодные затраты на техническое перевооружение		%	4	4
Общие чистые расходы				
Пар по фактической стоимости		Евро/1000 нм3/ч	9,80	9,20
Пар бесплатно		Евро/1000 нм3/ч	8,00	6,10

Примечание: цены на серу и аммиак характеризуются высокими флуктуациями. Во время написания этого документа (2010 г.) цены были:

(1) 16 – 21 евро/т серы для ASK/процесса Клауса – нижнее или равное нулю значение для серы из процесса Стретфорда

(2) 50 – 70 евро/т сульфата аммония.

Затраты на внедрение технологии десульфуризации газа составляют около 30 млн. евро (капитальные затраты) для коксового цеха примерно с сотней печей (ArcelorMittal).

Затраты на переход с аммонийного процесса на процесс десульфуризации OxyClaus составили 12 млн. евро для завода производительностью 1,5 млн т/год кокса.

Данные не приведены о мотивации для внедрения.

Пример установок

В табл. 5.19 приведен обзор установок (не исчерпывающий).

ТАБЛИЦА 5.19: ТАБЛИЦА С ПРИМЕРОМ УСТАНОВОК С ПРОЦЕССОМ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ КОКСОВОГО ГАЗА. ИСТОЧНИКИ: [65], [252]

Мокрое окисление	
Стретфорд	• ArcelorMittal, Гамильтон, Канада • Metarom, Румыния • Erdemir, Турция • ArcelorMittal, Лорен, Франция • Kobe Steel, Какогава, Япония • Posco, Южная Корея
Takahax	• Nippon Steel, Явата, Япония • Nippon Steel, Нагоя, Япония • Nippon Steel, Хирохата, Япония • Nippon Steel, Оита, Япония • Nippon Steel, Муроран, Япония • Nippon Kokan, Фукуяма, Япония • Nippon Kokan, Кейхин, Япония
Fumaks Rhodacs	• Nippon Steel, Кимицу, Nippon Steel, • Sumitomo Metal Industries, Вакаяма, Япония • Sumitomo Metal Industries, Касима, Япония • Kawasaki Steel, Тиба, Япония
Thylox	• Нет данных

Абсорбционные процессы	
Vacasuff	• Maanshan Iron & Steel Company Ltd, Китай
Carl Still, Diamex, ASK или Cyslasuff	• Prosper, Ботроп, Германия • ZKS, Диллинген, Германия • KBS, Дуйсбург, Германия • Kawasaki Steel, Мидзусима, Япония • Corus, Эймейден, Нидерланды • ArcelorMittal, Гент, Бельгия • Voestalpine, Линц, Австрия • Rivagroup, Таранто, Италия • ArcelorMittal, Дюнкерк, Франция • ArcelorMittal, Фос-сюр-Мер, Франция
Sulfiban	• Corus, Эймейден, Нидерланды • Nippon Kokan, Кейхин, Япония

Справочная литература: [33], [65], [118], [223], [242], [249], [252], [254], [277], [297], [320].

5.3.13 Снижение выбросов в течение выдачи кокса

Было разработано несколько технологий для минимизации выбросов пыли с коксовой стороны коксовой батареи в течение выдачи кокса, включая:

- использование навесов с коксовой стороны коксовой батареи, включая эвакуацию и обеспыливание. Эвакуация происходит с помощью навеса, установленного с коксовой стороны коксовой батареи, и обеспыливания в рукавном фильтре;
- использование контейнерного вагона. Кокс выгружается непосредственно из камеры коксовой печи в контейнерный вагон. Кокс не вступает в контакт с кислородом, и образуется только небольшое количество пыли. Обычно этот прием применяется в сочетании с сухим тушением кокса;
- использование машины для транспортирования кокса при его выдаче с интегрированной вытяжкой, стационарным газоходом и стационарной очисткой газа, предпочтительно с использованием рукавного фильтра, так называемой “Minister Stein System” (название металлургического завода в Дортмунде, Германия). На протяжении всего процесса выдачи кокса коксотушильный вагон располагается в районе охвата системы обеспыливания (использование стационарного или мобильного коксотушильного вагона с встроенной вытяжкой на машине для транспортирования кокса). Пример системы обеспыливания для сбора пыли от выдачи кокса приведен на рис. 5.17;
- поддержание достаточного времени коксования, равномерного нагрева и его оптимизации, что является важным для предотвращения выдачи неготового кокса.

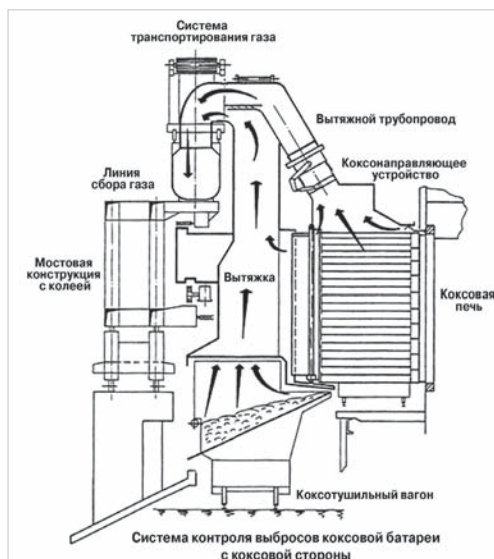


Рисунок 5.17: Пример системы обеспыливания при выдаче кокса. Источник: [200]

Достигаемые экологические выгоды

Без системы обеспыливания выбросы пыли составляют около 500 г/т кокса. Из четырех технологий, упомянутых выше, наилучшими характеристиками обладает система “Minister Stein” в отношении эффективности сбора, в сочетании с хорошими условиями работы для операторов (в отличие от навеса с коксовой стороны). На существующих заводах достигается степень удаления пыли >99%. Система основана также на эвакуации с помощью стационарного газохода.

Производительность по вытяжке воздуха часто составляет порядка 200000 $\text{м}^3/\text{ч}$ на заводах с использованием системы “Minister Stein”, но она зависит от размера камеры. На заводе компании Thyssen Krupp Stahl AG в Дуйсбурге, Германия производительность по вытяжке составляет примерно 400000 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Часто для минимизации выбросов твердых частиц используют рукавные фильтры. В одном случае для рукавного фильтра при выдаче кокса сообщалось, что выбросы пыли составили 0,9 $\text{мг}/\text{м}^3$ как среднегодовое значение и 1,5 $\text{мг}/\text{м}^3$ для 95-го перцентиля (в качестве сравнительного периода времени использовали получасовые средние значения). В общем, сообщалось, что концентрации пыли в выбросах были <30 $\text{мг}/\text{м}^3$ с указанием соответствующей применяемой технологии. Системы мокрой газоочистки, которые все еще применяются, достигают значений концентрации пыли <20 $\text{мг}/\text{м}^3$.

В общем, коэффициенты выбросов (из дымовой трубы) могут быть достигнуты ниже 5 г пыли/т кокса. При вышеупомянутых объемах газа удельный объем вытяжки можно оценить в 500 – 1000 $\text{м}^3/\text{т}$ кокса. При такой величине и коэффициенте выбросов 5г/т кокса можно рассчитать концентрацию выбросов в 5 – 10 $\text{мг}/\text{м}^3$ при использовании эффективных методов газоочистки.

Воздействия между средами

Для работы системы обеспыливания требуется энергия для привода вентиляторов системы вытяжки. Собранные твердые частицы могут быть возвращены в процесс.

Не приводились эксплуатационные данные, о экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

Обеспыливание с коксовой стороны коксовой печи применимо как для новых, так и для существующих заводов. На существующих заводах должны приниматься решения, соответствующие имеющимся условиям. Ограничением иногда является недостаток места.

Примеры установок

- US Steel Clariton Works, Питтсбург, США
- ArcelorMittal, Гент, Бельгия
- ArcelorMittal, Дюнкерк, Франция
- ArcelorMittal, Фос-сюр-Мер, Франция
- ArcelorMittal, Серманж, Франция
- Mannesmann Htttenwerke Ktupp, Дуйсбург, Германия
- Prosper, Ботроп, Германия
- Corus, Эймейден, Нидерланды
- Kansai Coke and Chemicals, Какогава, Япония
- Voestalpine, Линц, Австрия
- Rivagroup, Таранто, Италия

Справочная литература: [33], [65], [223], [227], [244], [253], [276], [320].

5.3.14 Сухое тушение кокса

На рис. 5.18 представлена схема установки сухого тушения кокса (CDQ), состоящая из охлаждающей установки шахтного типа, котла-утилизатора и системы рециклинга газа.

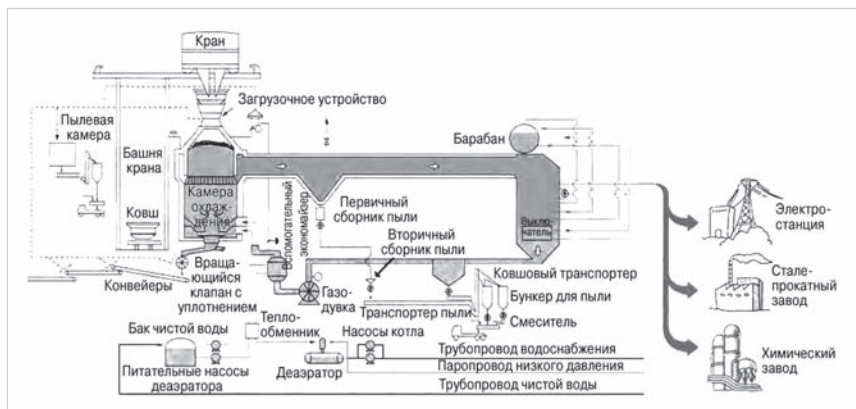


Рисунок 5.18: Схема установки сухого тушения кокса. Источник: [290]

Установка CDQ состоит из двух или более охлаждающих камер и соединенных с ними котлов-утилизаторов и погрузочных кранов как единых установок. Кокс охлаждается в этих камерах с помощью циркуляции газа. Циркулирующий газ представляет собой смесь, смесь, состоящую главным образом из азота и других инертных газов. Эта смесь образуется, когда кислород выгорает в течение стадии пуска цикла. Температура циркулирующего газа после камеры составляет около 780°C, а после котла-утилизатора 150°C. Температура кокса, выгружаемого в камеру сухого тушения, составляет 1050°C, а после камеры около 180°C. Кокс выходит из камеры около 5 ч. Минимальная производительность типичной установки CDQ составляет менее 100 т/ч/камеру. Установка, работающая с номинальной производительностью, производит около 25 т/ч пара высокого давления (93 бар). Кокс транспортируется по ленточному конвейеру с установки CDQ на станцию сортировки кокса для доменной печи.

Достижимые экологические выгоды

Современная CDQ оснащена системами загрузки и выгрузки пыли и котлами-утилизаторами с первичными и вторичными пылесборниками. В течение заключительного сбора рукавными фильтрами достигаются коэффициенты выбросов пыли менее 3 г/т кокса, что соответствует менее чем 20 мг/нм³. Выбросы SO₂ находятся на уровне 200 мг/нм³. Сбросы в поверхностные воды близки к нулю. Собранная коксовая пыль поставляется как топливо на агломерационную установку.

С использованием CDQ можно утилизировать около 0,5 т пара/т кокса и использовать для производства электроэнергии. Выбросы пыли из системы транспортирования и просеивания могут вызвать необходимость в установке дополнительной стадии охлаждения или в использовании воды для получения влажностного содержания 1%. Производство пара (с давлением 93 бар) составляет приблизительно 470000 т/год, а производства пара (с давлением 8 бар) составляет приблизительно 50000 т/год. Пар с давлением 93 бар используется главным образом на электростанции компании Raahе Steel Works, в г. Раахе, губерния Оулу, на берегу Ботнического залива, Финляндия, мощность которой по электроэнергии составляет примерно 15 МВт.

Сбросы в воду близки к нулю. Значения РАН и ЛОС крайней малы. В атмосферу не выделялись пыльные облака.

Содержание влаги в коксе меньше по сравнению с мокрым тушением, что может быть полезным в доменной печи.

Воздействия между средами

Обращение с коксом сухого тушения может стать причиной большего уровня выбросов пыли, чем при обращении с коксом мокрого тушения. Потребление электроэнергии вентиляторами, работа различных устройств для обеспыливания также требует электроэнергии. Однако баланс электроэнергии будет довольно позитивным вследствие утилизации вторичного тепла, которое обычно передается для выработки электроэнергии.

Эксплуатационные данные

Согласно официальным данным о регистрации времени работы в Японии, эта система имеет коэффициент использования приблизительно в 97%. Обслуживание обычно проводится в течение периодов обслуживания коксовых печей. Требуется только небольшое дополнительное время обслуживания.

Влагосодержание кокса составляет приблизительно 0,05%, по сравнению с коксом мокрого тушения, которое находится в диапазоне от 2 до 5%. Поэтому кокс такого качества в большей степени применим для доменных печей, а затраты на транспортирование и подготовку сухого кокса ниже, в особенности в зимних условиях. Кроме того, прочность кося на 1,5 – 2 балла выше с точки зрения показателя прочности кокса в барабане 150/25, чем кокс мокрого тушения вследствие того факта, что не происходят усталостные трещины, поскольку кокс не охлаждается так быстро, как при мокром тушении. Это приводит к повышению расхода кокса, степени пылеугольного вдувания и повышению производительности доменных печей.

Применимость

CDQ можно применять на новых и существующих заводах. Для непрерывной работы установок CDQ имеется два варианта. В одном случае в установке CDQ имеется от двух до четырех камер. Одна установка всегда находится в резерве. Следовательно, нет необходимости в мокром тушении, но для установки CDQ необходима избыточная мощность с повышенными затратами. В другом случае необходима дополнительная система мокрого тушения. Для модернизации существующих установок для тушения можно использовать существующую систему мокрого тушения. Такая установка CDQ не имеет избыточной мощности.

Экономика

Инвестиции в установку CDQ с годовой производительностью 2 млн. т кокса составляют приблизительно 100 млн. евро (из которых ожидается, что 70 млн. евро будут затраты на оборудование), хотя они зависят от условий на производственном участке, масштаба, технических условий и рыночных условий для материалов и т.д. На основе самых последних технологий CDQ, недавно построенных в Азии для эффективного производства электроэнергии, CDQ с годовой производительностью 2 млн. т может генерировать ежегодно 320000 МВт·ч со 100% использованием пара. С учетом ставки кредитования 5% и средних цен на электроэнергию в странах ЕС-27 для промышленных потребителей [http://www.veoe.at/fileadmin/0711107_Stormpreise_Eurostat_2007.pdf], это означает, что срок окупаемости инвестиций составит 4,4 года. Однако срок окупаемости очень чувствителен к ценам на электроэнергию и может варьироваться в странах ЕС-27 от 3 до 8 лет. Кроме того, с учетом некоторых европейских схем экономии энергии, таких как “Tradable Certificate for Energy savings¹⁾” (или “белые сертификаты”), которые реализуются в некоторых европейских странах, можно ожидать, что срок окупаемости заметно сократится.

¹⁾ Торговля сертификатами за экономию энергии – рыночный механизм в ряде стран ЕС для стимулирования мер энергоэффективности. Это документ, подтверждающий определенное сокращение энергопотребления, который вручается компаниям (поставщикам энергии или дистрибьюторам) на энергетическом рынке.

Мотивация для внедрения

Экологические причины, повышение стабильности качества кокса по сравнению с обычным мокрым тушением (что связано главным образом с влажностью) и эффективность использования энергии являются движущими силами для внедрения CDQ.

Пример установок

К марту 2008 г. количество находившихся в эксплуатации установок CDQ (камер) составляло: 104 в странах Юго-Восточной Азии, 12 в странах Центральной Азии, 5 в странах Южной Америки и 21 в Европе. В Европе 5 находятся в Венгрии, 3 в Финляндии, 4 в Польше, 4 в Румынии и 5 в Турции [290].

Справочная литература: [207], [208], [227], [276], [277], [290], [320], [334].

5.3.15 Тушение кокса мокрым способом

Кокс мокрого тушения (CWQ) может производиться с помощью обычного мокрого тушения или более современного стабилизационного тушения кокса.

5.3.15.1 Обычное мокрое тушение

Когда кокс тушится водой в башне тушения кокса, пыль и вода должны образовываться за счет испарения охлаждающей воды из раскаленного кокса и выделяться из шлейфа выбросов. Количество уносимой пыли зависит от рабочих условий, свойства кокса и типа добавляемой воды. Были сделаны попытки снизить выбросы пыли и паров воды с помощью конструктивных и других мер; например, с помощью опрыскивания шлейфа водой.

Оптимальные решения для снижения выбросов включают использование отражающих пластин в дымовой трубе и благоприятные конструкции башни тушения кокса (рис. 5.19).

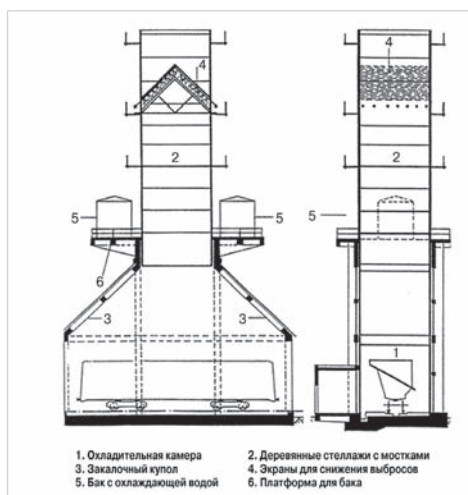


Рисунок 5.19: Схема башни тушения кокса с экранами для снижения выбросов. Источник: [200].

Кроме того, может применяться тушение методом затопления и с подачей охлаждающей воды сверху. Вода частично инжектируется через систему трубопроводов у дна коксотушильного вагона (затопление кокса) и частично впрыскивается сверху кокса (в то время как в большинстве систем мокрого тушения вода впрыскивается только на верхнюю часть кокса). Тем не менее, сама башня тушения кокса является системой охлаждения сверху, с тем же самым устройством улавливания пыли (см. рис. 5.19). Одним недостатком системы затопления являются выбросы частиц кокса из коксотушильного вагона вследствие мгновенного образования пара под массой кокса и внутри нее в коксотушильном вагоне, в особенности работа происходит с высокими уровнями кокса. Закалочная вода повторно используются.

Пылеулавливающее оборудование состоит из индивидуальных рам, в которые вставлены пластиковые пластины в форме жалюзи. Башни тушения кокса изготовляют из воды и бетона.

Башни тушения кокса находятся в работе, например, каждые 15 мин. Для снижения выбросов планируется ограниченное число часов в месяц (например, 4 ч) для обслуживания. Еще одним способом снижения этих выбросов является резервная (вторая) башня тушения кокса.

Достижимые экологические выгоды

Выбросы пыли в течение мокрого тушения без мер подавления составляют около 200 – 400 г/т кокса. При использовании описанной системы эти выбросы можно снизить, по крайней мере, до 50 г/т кокса (с коэффициентами выбросов до их подавления максимум 250 г/т кокса и содержанием твердых частиц в охлаждающей воде ниже 50 мг/л).

На практике обычно достигаются выбросы ниже 25 г/т кокса. Следует отметить, что выбросы в значительной степени зависят от используемого метода измерения. Коэффициенты выбросов, на которые давались ссылки, были определены с помощью метода VDI (“Руководства для отбора проб и измерений выбросов пыли при мокром тушении”). В этих руководствах описан метод отбора проб, который известен так же, как “метод Радмахера и Морхауэра”, и который корректируется в зависимости от условий в башне тушения кокса.

Воздействия между средами

Потребляется дополнительная энергия для впрыска воды, хотя и не значительных количествах.

Эксплуатационные данные

Во всем мире имеется много башен тушения кокса, оснащенных экранами для снижения выбросов. Сообщается о хороших эксплуатационных характеристиках.

Применимость

Технологии мокрого тушения кокса применимы как для новых, так и для существующих заводов. Существующие башни тушения кокса могут быть оснащены экранами для снижения выбросов. Необходима минимальная высота башни, по крайней мере, в 30 м для обеспечения достаточных условий тяги.

Экономика

Затраты на модернизацию существующей башни тушения кокса с экранами для снижения выбросов находятся в диапазоне 200000 евро. Однако модернизация возможна только, если башня тушения кокса является подходящей. В противном случае должна быть установлена новая башня, и затраты будут намного выше.

Мотивация для внедрения

Обычно законодательные требования и правоприменительные действия местных органов власти инициируют модернизацию существующих башен тушения кокса.

Пример установок

Примеры построенных или модернизированных башен тушения кокса с экранами для снижения выбросов:

- ArcelorMittal, Гент, Бельгия
- H ttenwerke Krupp Mannesmann, Дуйсбург, Германия
- ArcelorMittal Atlantique, Дюнкерк, Франция
- Saltzgitte Frachstahl GmbH, Германия
- Port Talbot, Соединенное Королевство.

На всех установках достигнуты удельные выбросы пыли меньше чем 25 г/т кокса.

Справочная литература: [100], [223], [227], [242], [320], [334].

75

5.3.15.2 Стабилизационное тушение кокса

В приведенном примере установки для стабилизационного тушения кокса (CSQ) система тушения спроектирована для шести выдач кокса в час и на количество кокса 54 т за выдачу. Эта система состоит из башни тушения кокса, отстойника охлаждающей воды и коксотушильного вагона. Эти башни более крупные, чем обычные башни для тушения кокса (например, 16 16 70 м – высота). Две стадии контроля выбросов состоят из отражательных пластин и распылителей воды для охлаждающих паров, которые снижают выбросы пыли. Особенностью этой технологии является одновременное применение впрыска и погружного тушения.

Достигаемые экологические выгоды

Выбросы пыли составляют от 6 до 12 г/т кокса (табл 5.20).

ТАБЛИЦА 5.20: ВЫБРОСЫ ПЫЛИ ОТ СТАБИЛИЗАЦИОННОГО ТУШЕНИЯ КОКСА. ИСТОЧНИК: [264]

	Значения	Единицы
Характеристики батарей коксовых печей		
Количество коксовых печей	140	
Температура нагрева коксовой печи	1300	оС
Длительность коксования	25	ч
Объем камеры коксовой печи	93	м3
Масса выдаваемого кокса (средняя)	56,6	т кокса на печь

	Значения	Единицы
Характеристики батарей коксовых печей		
Количество выдач кокса в сутки	135	
Суточное производство кокса	7600	Т
Характеристики тушильной башни CSQ		
Метод тушения: CSQ		
Площадь газоотвода	256 (16 м × 16 м)	м ²
Высота башни	70	м
Качество охлаждающей воды: рециклинг воды в тушильной башне		
Потребление воды на загрузку	Итого 98	м ³
Измерения по всей измерительной сетке		
Измерения концентрации пыли с марта по апрель 2004 г.	6, 8, 9 и 12	г/т кокса
Среднее значение	9	г/т кокса
Максимальное значение	12	г/т кокса

Высокая скорость тушения является важным аспектом процесса. Он обеспечивает возможность быстрого снижения температуры кокса, снижения времени реакции, меньшего образования водяного газа и сульфида водорода, а также высокого механического воздействия и стабилизации охлаждаемого кокса, однородного распределения зерен, и, тем самым, лучшего качества кокса.

Следует отметить, что выбросы зависят в значительной степени от используемого метода измерения. Коэффициенты выбросов для пыли даются на основе изокINETических измерений в соответствии с предварительным условием VDI 2066, которые означают, что отбор проб проводился изокINETически, а это обычно дает повышенные значения выбросов.

Данные не передавались о воздействиях между средами и экономике.

Эксплуатационные данные

Количество коксовой мелочи, производимой с помощью этой системы, выше, чем при обычном тушении кокса. Удельная потребность в охлаждающей воде составляет 2 м³/т кокса, из которых 1,5 м³ направляется в осадительный бассейн как оборотная вода.

Применимость

Так как система больше, чем необходимо для обычного тушения кокса, требуется больше места.

Мотивация для внедрения

С системой CSQ могут быть достигнуты более низкие уровни пыли.

Пример установок

Коксовый завод компании KBS, Дуйсбург, Германия

Справочная литература: [204], [207], [253], [264]

5.3.16 Снижение выбросов при транспортировании кокса

Процесс рассева кокса по фракциям состоит из дробления, измельчения и просеивания и связан с образованием выбросов твердых частиц, которые должны удаляться, и это требует дополнительной очистки. Сообщалось, что концентрации вы-

бросов пыли как среднегодовое значение после рукавного фильтра на двух заводах составляли 0,5 и 4,5 мг/нм³. При транспортировании кокса сухого тушения происходит больше выбросов пыли, чем при транспортировании кокса мокрого тушения. Здание установки для рассева кокса по фракциям должно быть закрытым.

Для транспортирования кокса используются закрытые конвейеры или конвейеры с покрытием. При хранении кокса можно использовать оросительные устройство для увлажнения поверхности и для подавления образования пыли. Высота свободного падения материалов должна быть ниже 0,5 м.

Достижимые экологические выгоды

При использовании рукавных фильтров можно достичь концентрации выбросов твердых частиц в диапазоне от 0,5 до 4,5 мг/нм³ (среднегодовые значения).

Данные не приводились о воздействиях между средами, эксплуатационные данные, применимости, экономике, мотивации для внедрения, примерах установок.

Справочная литература: [227], [244]

5.3.17 Ленточный конвейер закрытого типа

Средством для транспортирования таких материалов как мелкозернистый уголь или кокс является закрытый ленточный конвейер или трубчатый конвейер, которые служат для защиты окружающей среды от выбросов всех видов загрязняющих веществ. Трубчатые конвейеры состоят из гибкой конвейерной ленты, которая формируется с помощью специальных устройств в герметичной трубе. В начале, в месте загрузки материала, лента открывается, и поставляется уголь или кокс, как и в случае обычного ленточного конвейера. Эта площадь загрузки удлинится до 12 м, и лента закрывается и формируется труба на протяжении всего транспортируемого расстояния. В конце, около 12 м до места выгрузки, лента снова открывается. После разгрузки лента снова закрывается, как можно видеть на рис. 5.20.

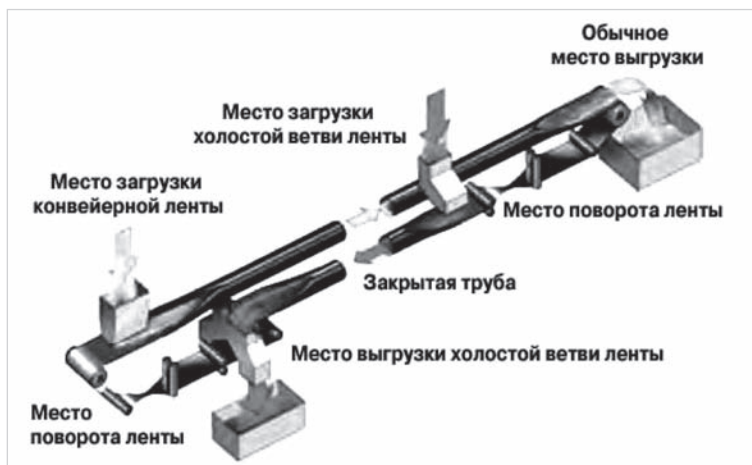


Рисунок 5.20: Пример системы трубчатого конвейера

Достижимые экологические выгоды

Закрытая конструкция конвейерной ленты позволяет предотвратить рассеянные и неорганизованные выбросы угля/кокса в течение транспортирования.

Данные не передавались о воздействиях между средами.

Эксплуатационные данные

Технические данные для трубчатого конвейера в коксовом цехе в Германии приведены в табл. 5.21

**ТАБЛИЦА 5.21: ТИПИЧНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ТРУБЧАТОГО КОНВЕЙЕРА
ДЛЯ КОКСОВОГО ЦЕХА В ГЕРМАНИИ**

Параметр	Величина	Единица
Диаметр	500	мм
Ширина ленты	1900	мм
Максимальная производительность	800	т/ч
Скорость	209	м/с
Длина	736	м

Применимость

Трубчатые конвейеры обычно применимы для новых и существующих цехов при транспортировании материалов с образованием пыли, таких как коксы, мелкозернистый уголь или губчатое железо (прямого восстановления).

Данные не передавались о экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

Один коксовый цех в Германии

Справочная литература: [260], [269], [273], [283]

5.3.18 Герметичная система газоочистки коксовой печи

На установке газоочистки неочищенный коксовый газ очищается в течение нескольких стадий для последующего использования в качестве топлива. Относительно летучий характер компонентов неочищенного коксового газа означает, что могут происходить выбросы со стороны фланцев, запорных клапанов, насосов и т.д. В определенной степени при рассмотрении негативных воздействий на окружающую среду, безопасные условия труда важным фактором является также то, что некоторые соединения коксового газа являются канцерогенными (например, РАН и бензол). В этом отношении особенно важным моментом является наличие установки для переработки фракции ВТХ (бензол-толуол-ксилол) коксового газа как составной части системы очистки. На таких установках очистка фракции ВТХ коксового газа осуществляется с помощью очищающей жидкости. Затем заправленная скрубберная жидкость регенерируется, а ВТХ утилизируется и может продаваться.

Работа системы очистки коксового газа в условиях герметичности связана главным образом с проблемами здоровья и безопасности.

Должны быть рассмотрены все меры, обеспечивающие герметичность системы газоочистки, которые включают следующие соображения:

- минимизацию количества фланцев с помощью сварки трубопроводов, когда это возможно;
- использование герметичных насосов (например, насосов с магнитным приводом или насосов с двойным уплотнением);
- предотвращение выбросов из запорных клапанов в баках хранения. Это обычно достигается с помощью соединения выпуска клапана с газосборником (может также использоваться сбор газов и последующее сжигание или применение газовой подушки, либо скруббер отходящих газов);
- использование специальных уплотнений для фланцев и клапанов для предотвращения загрязнения воздуха, а также закрытых процессов без выбросов, таких как процесс Клауса с рециклингом остаточных газов или очистка смолы и жидкости с рециклингом смолистого остатка;
- ограждение системы со смолистым остатком. Твердые частицы отделяются от неочищенной смолы, поступающей из механического осветлителя в герметичную центрифугу. Смола после центрифуги подается через приемное устройство в баки для хранения смолы. Отделенный смолистый остаток из выхода твердых частиц центрифуги собирается в емкости, перед откачкой его насосом для сыпучих тел высокого давления в весовой бункер в расходной башне. Загрузка соединяется с потоком угля таким образом, что обеспечивается качественная смесь смолистого остатка с углем. В случае необходимости возможно удаление смолистого остатка в мобильный контейнер.

Данные не передавались о достигаемых экологических выгодах, эксплуатационные данные, экономике, мотивации для внедрения.

Воздействия между средами

Не происходит воздействий между средами.

Применимость

Применимо как для новых, так и для существующих коксовых производств. На новых производствах герметичные конструкции будут, вероятно, легче обеспечиваться, чем на существующих производствах.

Пример установок

Voestalpine, Линц, Австрия; Corus, Эймейден, Нидерланды и ArcelorMittal, Гент, Бельгия – все работают с герметичными установками для очистки коксового газа.

Справочная литература: [65], [204], [216], [320].

5.3.19 Удаление смолы (и РАН) из стоков отпарных колонн

Сток аммиачной колонны обычно не содержит смолы, но когда имеется смола, это оказывает негативное воздействие на работу установки для биологической очистки сточных вод. В частности, наличие полициклических ароматических углеводородов (РАН) может оказывать токсическое воздействие на микроорганизмы в активном иле. РАН относительно трудно разлагаются. Поэтому целесообразно удалять смолу из водоугольной суспензии перед биологической очисткой воды.

Смолу можно удалить с помощью добавки коагулянтов и последующего разделения с использованием таких способов, как:

- гравитационное осаждение иногда с последующей фильтрацией;
- центрифугирование водоугольной суспензии;
- флотация;
- песчаная фильтрация.

При такой очистке удаляется большая часть смолы из сточных вод в виде фильтр-кека с высокой концентрацией или шлама, который следует подвергать дополнительной обработке, например, с помощью рециклинга в коксовых печах.

Достижимые экологические выгоды

При использовании песчаной фильтрации может быть достигнута концентрация в стоках меньше чем 700 – 800 мкг/л (ЕРА-РАН), при эффективности очистки 99%.

Воздействия между средами

При всех этих способах удаления смолы образуются отходы. Однако эти отходы со смолой, включая шламы после механического осветлителя, можно повторно использовать в коксовых печах.

Не передавались эксплуатационные данные, о экономике, мотивации для внедрения.

80

Применимость

Удаление смолы перед очисткой сточных вод применимо как на новых, так и на существующих заводах.

Пример установок

Осаждение и фильтрация: коксовая печь, компания Cogus, Эймейден, Нидерланды.

Справочная литература: [65], [320], [340].

5.3.20 Отгонка аммиака из сточных вод

Поддержание низкой концентрации аммиака в стоках отпарных колонн полезно для работы установки для биологической очистки сточных вод. Эффективность удаления в значительной степени зависит от добавки щелочи и пара и от конструкции отпарной колонны (например, число стадий). Большая доза NaOH и увеличение числа стадий могут значительно снизить концентрацию аммиака в стоках.

Когда установка для очистки стоков использует нитрификацию с последующей денитрификацией, отгонка аммиака в стоках является не столь критичной. В этом случае следует найти экономический и экологический оптимум между отгонкой аммиака и удалением аммиака на установке для биологической очистки сточных вод.

Достижимые экологические выгоды

Концентрации аммиака в стоках могут варьироваться от 20 до 150 мг/л в зависимости от дозы пара и щелочи и конструкции отпарной колонны. Достижа-

ются значения от 20 до 40 мг/л, но этого может и не потребоваться вследствие корректировки надлежащего баланса между БПК₅ и отношением Р/Н в сточных водах перед биологической очисткой.

Воздействия между средами

Отпарные колонны потребляют энергию в виде пара (0,1 – 0,2 т пара/м³ сточных вод) и потребляют щелочи (NaOH; 6 – 22 л/м³). В прошлом использовали известь вместо NaOH. Повышенные дозы пара и щелочи приводят к снижению концентраций NH₃ в стоках. Кроме того, образуется пар, содержащий аммиак и H₂S, который необходимо очищать, например, на установке для получения серной кислоты, на установке Клауса или на установках с кристаллизацией сульфата аммония.

Не передавались эксплуатационные данные, о мотивации для внедрения.

Применимость

Применяется как на новых, так и на существующих заводах.

Экономика

Для отпарной аммиачной колонны в случае очистки 150 м³ стоков в час требовалось:

- инвестиции: 0,75 – 0,79 млн. евро в 1993 г. для колонны
- эксплуатационные затраты: 0,18 евро/м³ в 1993 г.

Для отпарной аммиачной колонны при очистке 120 м³ стоков в час применительно к установке в Испании в 2005 г. требовались инвестиции в размере 0,8 млн. евро (компания ArcelorMittal (г. Авилес).

Пример установок

Почти во всех коксовых цехах мира используют отпарные аммиачные колонны.

Справочная литература: [65], [276], [320].

5.3.21 Очистка сточных вод

Сточные воды коксового производства содержат смесь углеводородов, соединений цианидов и азота при относительно высоких концентрациях. Имеется несколько методов для очистки сточных вод. Во всех случаях сточные воды проходят через отпарную аммиачную колонну перед дальнейшей очисткой.

Сточные воды можно очищать биологическими и химическими способами. Когда применяется биологическая очистка, смола удаляется с помощью физико-химического процесса, а сточные воды часто разбавляют, для того чтобы избежать появления втекающих потоков, оказывающих токсическое воздействие на микроорганизмы, в особенности вызывающие ингибирование нитрифицирующих бактерий.

Чаще всего применяемым биологическим способом для очистки сточных вод коксохимического производства является аэробная биологическая система с активным илом. В некоторых случаях особое внимание уделяется нитрификации и денитрификации. В других случаях для очистки сточных вод используют биологическую систему на основе псевдоожиженного слоя.

Включенные технологии, которые далее описываются в этом разделе:

- (а) аэробная система с активным илом;
- (b) нитрификация;
- (с) нитрификация – денитрификация.

Технология (а) – аэробная система с активным илом

В аэробной системе с активным илом биологически разлагаемые загрязняющие вещества разлагаются в основном до CO_2 , H_2O и минералы, а не разлагаемые, неполярные компоненты (типа большинства ПАУ и тяжелых металлов) удаляются из водной фазы за счет частичной адсорбции к активному илу. На практике большая часть потенциально опасных загрязняющих веществ, таких как фенолы, цианиды и ароматические углеводороды разлагаются биологически, а тяжелые металлы частично удаляются за счет адсорбции к активному илу.

Системы активного ила с низким отношением количества питательных веществ к массе микроорганизмов (F/M) являются предпочтительными с экологической точки зрения. При низком отношении F/M создается также возможность биологического разложения тяжело разлагаемых органических соединений. Отношение F/M является отношением органического вещества к активному илу как взвешенные вещества в смеси сточных вод с активным илом (MLSS), и оно выражается как кг ХПК/кг MLSS.

При аэрации можно использовать кислород вместо воздуха из окружающей среды. Это повышает возможность контроля процесса и снижает возможность попадания летучих компонентов в сточные воды. Например, аэрация воздухом, обогащенным кислородом, используется на заводе компании ArcelorMittal в Генте, Бельгия.

Технология (b) – нитрификация

Некоторые установки для очистки сточных вод проектируются для эффективного удаления аммиака (NH_4^+) с помощью нитрификации. Традиционная конструкция аэробной системы с активированным углем может быть использована в качестве отправной точки для такого вида установок. Система должна иметь очень низкое отношение F/M и высокий уровень рециркуляции для предотвращения замедления роста нитрификационных бактерий вследствие их вымывания. Нитрификационные бактерии преобразуют аммиак в нитрат (NO_3^-). При таких условиях трудно биоразлагаемые органические соединения могут также подвергаться минерализации с высокой эффективностью удаления.

Технология (с) нитрификация – денитрификация

В некоторых случаях местные органы власти требуют низкого уровня сбросов всех азотных соединений (включая нитраты) от стоков. Это требует дополнительной бескислородной очистки сточных вод. Возможны некоторые варианты планировки, но хорошие результаты были получены на установках для очистки сточных вод с концепцией предварительной нитрификации – нитрификации (pre-DN/N). Два примера представлены ниже на рис. 5.21 и 5.22.

В концепции предварительная денитрификация/нитрификация использует-

ся также система аэробного активного ила в начальном периоде. Однако перед аэрацией сточных вод добавляется вода со стадии нитрификации с высоким содержанием нитратов. В бескислородных условиях бактерии используют нитраты как конечные акцепторы электронов вместо молекулярного кислорода (O₂). Азот выделяется как молекулярный азот (N₂). Общая реакция такова:

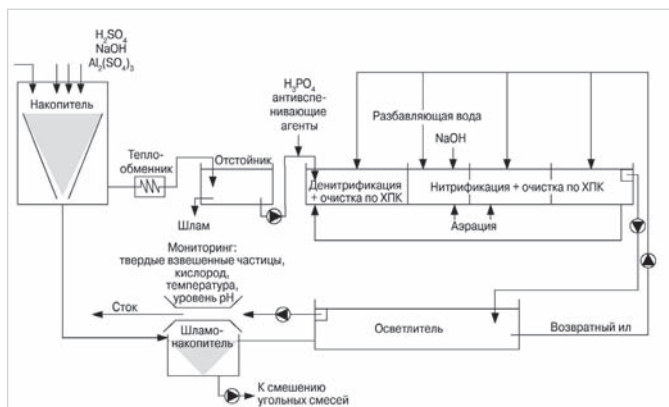
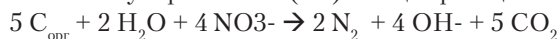


Рисунок 5.21: Пример типичной биологической очистки сточных вод со стадиями нитрификации – денитрификации. Источники: [320], [341]

83

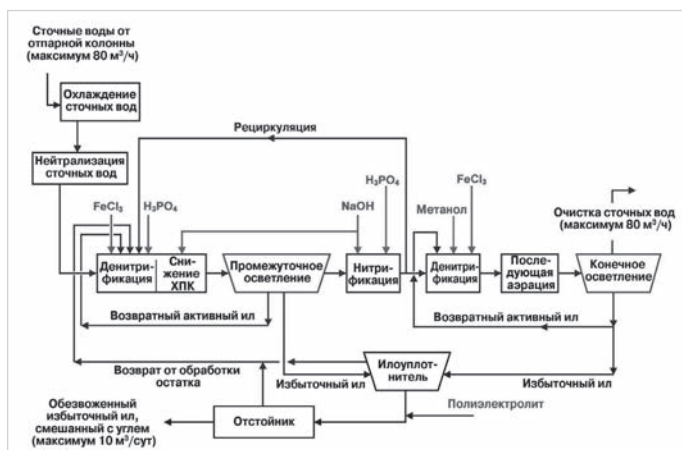


Рисунок 5.22: Пример установки биологической очистки с предварительной денитрификацией – нитрификацией – денитрификацией. Источник: [272]

Установка для очистки сточных вод (WWTP) компании H. Teten Werke Krupp Mannesmann в Дуйсбурге, Германия, спроектирована как многостадийная биологическая система, которая состоит (в соответствии с потоками воды) из:

- теплообменника для охлаждения сточных вод из отгоночной колонны H_2S/NH_3 ;
- усреднительного бассейна;
- аэрационного бассейна (процесс с активным илом для разложения органики) с заранее установленной стадией денитрификации как первой стадии денитрификации;
- промежуточного осветлителя;
- бассейна нитрификации, спроектированного как носитель биологического ила;
- второй стадии нитрификации, с подачей метанола как внешнего источника углерода;
- бассейна последующей аэрации для повторного насыщения активным илом;
- конечного осветлителя.

Для мониторинга качества сточных вод с биологической очисткой оборудование мониторинга и контроля включает мониторинг в реальном масштабе времени, для того чтобы операторы могли на ранней стадии вмешаться в процесс.

Такая установка демонстрирует очень хорошие результаты по очистке сточных вод после коксовой печи с очень низкими выбросами соединений азота, серы и цианидов. Концентрации в притоке и стоке приведены в табл. 5.22.

ТАБЛИЦА 5.22: СОСТАВ РАЗЛИЧНЫХ ПОТОКОВ СТОЧНЫХ ВОД КОМПАНИИ CORUS В ЭЙМЕЙДЕНЕ, НИДЕРЛАНДЫ (2007 Г.)

Параметр	Единица	Доменная печь	Агломерационная установка	Коксовое производство	Грунтовые воды (1)	Итого
Расход	м ³ /ч	140 - 150	50 - 55	80 - 90	35 - 49	320
Температура	оС	40 - 44	35 - 40	30 - 35	10 - 12	33
Взвешенные твердые частицы	мг/л	25 - 35	10 - 25	20 - 50	<10 - 25	
ХПК	мг/л	65 - 120	250 - 450	3000 - 3500	150 - 350	1100
Азот по Кьельдалю	мг/л	130 - 150	200 - 300	200 - 300	100 - 200	180
Общие CN-	мг/л	5 - 20		20 - 60	20 - 50	15
Цинк	мг/л	2 - 4	-	-	-	-
Металлы	мг/л	1 - 3	1 - 3	-	-	-
Фенолы	мг/л	-	-	500 - 700	-	-
SCN	мг/л	-	-	200 - 500		

(1) Загрязненные грунтовые воды от коксового завода.

Еще одним примером концепции предварительной денитрификации/нитрификации является успешная эксплуатация установки с 2000 г. в компании Corus в Эймейдене, Нидерланды.

Она получила название BIO 2000 и объединяет очистку сточных вод с коксовых печей, доменных печей и агломерационных установок с системой активного ила, с предварительной нитрификацией и нитрификацией для минимизации ХПК и выбросов соединений азота.

Нитрификация и снижение ХПК имеют место одновременно в аэробной части установки. Конечными продуктами этой конверсии являются CO_2 , вода и нитраты, NO_3^- .

Денитрификация является биологическим процессом, при котором нитраты преобразуются бактериями в газообразный азот. Этот процесс происходит при анаэробных или бескислородных условиях. Поэтому должна быть специальная часть установки, в которой концентрации растворенного кислорода будут более или менее равны нулю. Однако в случае денитрифицирующих бактерий необходима некоторая ХПК в качестве питательной среды. Поскольку денитрификации имеет место в первой части установки, этот процесс называется предварительной денитрификацией.

Основным элементом новой конфигурации очистки воды компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, является установка биологической очистки, установка карусельного типа, которая была построена в 1999-2000 г. (см. рис. 5.23 и рис. 5.24). Установка карусельного типа является обычной для стран Западной Европы, где такого рода установки применяются довольно часто для очистки бытовых сточных вод.

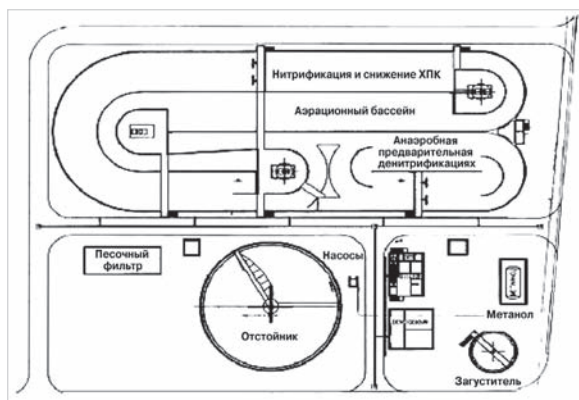


Рисунок 5.23: Поэтажный план установки для биологической очистки сточных вод компании Corus, Эймейден, Нидерланды

Большие бассейны с поверхностными аэраторами и относительно высокими скоростями делают установку более сложной, чем в случае поршневого движения жидкости. Аэраторы контролируются с помощью непрерывного измерения растворенного кислорода и сравнения его с установленным значением $1,5 - 2 \text{ мг/л}$. Кроме того, контролируется рН с помощью добавки каустической соды, когда рН ниже 6,8, или с помощью добавки серной кислоты, когда рН в бассейне выше чем 7,4.

Помимо биологической очистки, были установлены песочные фильтры с промывкой обратной струей. Несмотря на тот факт, что можно легко очищать объединенные сточные воды, иногда присутствуют очень мелкие биологические хлопья в сливе конечного отстойника.

Избыточный шлам откачивается сначала в загуститель. Затем шлам обезвоживается и смешивается с углем, и используется как часть шихты для печей.

Систему карусельного типа с поверхностными аэраторами, установленную в голубых боксах, можно видеть на рис. 5.24. Эти боксы изолированы, для того чтобы не было проблем шума в непосредственной близости от установки.



Рисунок 5.24: Вид сверху установки для биологической очистки сточных вод компании Corus, Эймейден, Нидерланды

86

Размеры карусельной установки следующие: объем аэрации составляет 15000 м³; это означает, что гидравлическое время выдержки составляет 33 ч. Объем отстоя составляет 1500 м³. Диаметр отстойного бассейна равен 29 м. Поверхностная нагрузка составляет 5м³/м²/ч.

Шламоотстойник представляет собой бассейн с диаметром 9,5 м и объемом 250 м³. Средний выход шламов составляет 45 м³/сутки с 3% сухого твердого вещества. Максимальный расход рециркуляции шлама составляет 640 м³/ч (двойное количество притока). Дозирование фосфорной кислоты основано на величине 2 мг/л фосфата в стоке. Это означает добавку приблизительно 5 л/ч 75%-ной фосфорной кислоты [379].

Другие технологии для удаления взвешенных твердых частиц типа флотации и песчаных фильтров или очистки сточных вод вместе с бытовыми сточными водами могут быть альтернативными, если будут установлены предварительные условия.

Достигаемые экологические выгоды

Технология (а) аэробная система с активным илом

В табл. 5.23 приведены показатели работы для аэробных систем с активным илом от европейских коксохимических производств.

ТАБЛИЦА 5.23: КОНЦЕНТРАЦИЯ В СТОКАХ И УДЕЛЬНЫЕ СБРОСЫ ОТ ЕВРОПЕЙСКИХ КОКСОВЫХ ПЕЧЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ОЧИСТКУ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ АЭРОБНЫХ СИСТЕМ С АКТИВНЫМ ИЛОМ. ИСТОЧНИКИ: [200], [208]

Компонент	Концентрация	Единица	Удельные сбросы	Единица
ХПК	140 - 700	мг/л	0,2 - 1	(кг/т кокса)
ТОС	37	мг/л		
Азот по Кьельдалю	20 - 120	мг/л	0,01 - 0,1	(кг/т кокса)
NH ₃	<1 - 100	мг/л	0 - 0,1	(кг/т кокса)
SCN-	<0,1 - 35	мг/л	0 - 0,05	(кг/т кокса)
Цианиды, легко выделяемые	<0,1	г/л		
Фенол	<0,1 - 10	мг/л	0 - 0,005	(кг/т кокса)
РАН	0,003 - 0,2	мг/л	0 - 0,001	(кг/т кокса)

Технология (b) нитрификация

Вообще говоря, системы с низкой удельной нагрузкой характеризуются лучшими показателями и дают возможность разлагать аммиак с помощью нитрификации. Низкая удельная нагрузка также повышает степень разложения органических соединений с низким уровнем разложения. Если применяется нитрификация, концентрации нитрата (NO₃-) в стоках будет относительно высокой порядка (200 мг/л).

Технология (c) нитрификация – денитрификация

Системы нитрификации – денитрификации отличаются очень низким отношением F/M (0,05 – 0, 2 кг ХПК/кг MESS/сутки) и позволяют достичь очень хороших результатов при очистке сточных вод коксовых производств. Выбросы азота от этих систем являются особенно низкими по сравнению с системами с высокими отношениями F/M только с одной нитрификацией. Концентрации на приеме и в стоках на четырех подобных заводах приведены в табл. 5.24.

ТАБЛИЦА 5.24: КОНЦЕНТРАЦИИ ВО ВХОДЯЩЕМ И ВЫХОДЯЩЕМ ПОТОКЕ СТОЧНЫХ ВОД И НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С СИСТЕМОЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ДЕНИТРИФИКАЦИИ – НИТРИФИКАЦИИ НА ЧЕТЫРЕХ УСТАНОВКАХ. ИСТОЧНИКИ: [65], [88], [89], [173], [196], [197], [260], [272], [320], [341]

Аспект/параметр	Единица	Установка А	Установка В(1)	Установка С	Установка D(2)
Производство кокса	млн. т/год	1,25	0,60	1,03	1,08
Расход водоугольной суспензии (избыток воды)	м ³ /ч	42	22	65	80
Разбавление другими сточными водами (см. Раздел 5.2.2.2)	м ³ /ч	40	5 - 10	20	--
Общий расход	м ³ /ч	86	30±3,5	85	80
Удельный расход стоков (удельный расход сточных вод)	м ³ /т кокса	0,59	0,44	0,69	0,65
Отношение F/M	кг ХПК/кг MLSS/сутки	≤0,15	NA	0,5(3)	NA

Аспект/параметр		Единица	Установка А	Установка В(1)	Установка С	Установка D(2)
Вход:	pH	-	NA	9,2±0,33	9,0 – 9,5	8,5
	Взвешенные твердые частицы	мг/л	30 - 40	NA	NA	NA
	ХПК	мг/л	3650±310	3161±1269	3220±590	200 - 2000
	ТОС	г/л	NA	NA	1025±190	NA
	БПК5	мг/л	0	NA	NA	800 - 3000
	Фенол	г/л	964	705±276	650	500 - 1500
	SCN-	мг/л	355	NA	350	150 - 200
	Азот по Кьельдалю	г/л	NA	NA	300	NA
	Аммонийный азот	г/л	125±25	NA	50±15	150±200
	Нитритный азот	мг/л	NA	NA	NA	NA
	Нитратный азот	мг/л	NA	NA	NA	NA
	Масло и смола	мг/л	40	NA	NA	NA
	РАН (6 Borneff)	мкг/л	200	NA	NA	NA
Выход:	pH	-	7,7	8	7,6	8,1±0,3
	Взвешенные твердые частицы	мг/л	42	33±21	75	NA
	ХПК	мг/л	189±30	137±43	213±70	74±10
	ТОС	мг/л	NA	NA	45±16	NA
	БПК5	мг/л	1±2,3	NA	15±5	NA
	Фенол	мг/л	0,06	0,02±0,03	<0,1	0,02±0,01
	SCN-	мг/л		NA	1,3	0,87±0,46
	CN-, легко выделяемый	мг/л				
	Сульфиды, легко выделяемые	мг/л	NA	NA	NA	0,03±0,02
	Азот по Кьельдалю	г/л		NA	NA	10,67±7,04
	Связанный азот	г/л	NA	NA	13	
	Аммонийный азот	г/л	3±3(4)	0,28±0,56	<1	<1
	Нитритный азот	г/л	0,9±1,5(4)	0	1,3	0,01±0,07
	Нитратный азот	г/л	22±6,6(4)	8,2±6,92	1,1	6,1±6,68
	Масло и смола	мг/л	5	NA	NA	<5(5)
	РАН (6 Borneff)	мг/л	50	NA	<20	1,06±1,12
	Фосфор	мг/л	NA	0,4±0,29	NA	1,3±0,4

(1) Диапазоны отражают средние ежегодные значения для стоков в 2009 г. (2) Диапазоны отражают среднесуточные значения для стоков в 2005 г., за исключением SCN, где использованы значения за 2004 г. (3) В первой из трех стадий (4) Диапазоны отражают средние ежегодные значения для стоков в 2006, 2008 и 2009 г. (5) ВТХ Все значения являются среднеарифметическими $\pm$ стандартные отклонения (при наличии данных) NA – данные отсутствуют.

Достижимые концентрации в сбросах для установки по очистке сточных вод компании Corus, в Эймейдене, Нидерланды (2007 г.) после общей очистки сточных вод после коксового завода, доменных печей и от агломерационной установки показаны в табл. 5.25.

ТАБЛИЦА 5.25. КОНЦЕНТРАЦИИ В СБРОСАХ ДЛЯ УСТАНОВКИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ КОМПАНИИ CORUS В ЭЙМЕЙДЕНЕ, НИДЕРЛАНДЫ (2007 Г.) ПОСЛЕ СОВМЕСТНОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С КОКСОВОЙ ПЕЧИ, ДОМЕННОЙ ПЕЧИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ СПЕКАНИЯ.
ИСТОЧНИК: [379]

Параметр	Единица	Среднее	Максимальное
Расход	м ³ /ч	340	400
Взвешенные твердые	мг/л	60	80
ХПК	мг/л	135	150
Азот по Кьельдалю	мг/л	15	30
Фосфаты	мг/л	5	10
CN- общие	мг/л	11	13
CN- легко выделяемые	мг/л	0,35	0,45
SCN-	мг/л	2,0	4,0
Фенолы	мг/л	<0,5	1,0
Сумма Cr, Cu, Pb, Ni и Zn	мгг/л		0,011 – 0,013
Cd	мгг/л		10
Hg	мгг/л		5
As	мгг/л		2,5

Среднемесячные значения

Воздействия между средами

Активный ил образуется на установке для очистки сточных вод. Избыточный активный ил можно добавлять в угольную шихту коксовой печи.

Эксплуатационные данные

Технология (а) Аэробная система с активным илом

Добавляются фосфаты и каустическая сода. Каустическая сода используется для регулирования pH. Осаждение увеличивается при добавке FeCl₃ и полимера. При этом на некоторых заводах достигаются хорошие результаты и без этих добавок.

Применимость

Для получения оптимальных результатов следует должным образом проводить предварительную денитрификацию/нитрификацию как описано выше в пункте (с).

Экономика

Технология (с) нитрификация – денитрификация

- инвестиции: 0,6 млн. евро в 1994 г. для расширения системы нитрификации для предварительной денитрификации/нитрификации. Общие инвестиции составили 4,6 млн. евро;

- эксплуатационные затраты: 345000 евро в год, включая платежи за сточные воды, рассчитанные в 1996 г. (0,57 евро/т кокса).

Мотивация для внедрения

Потребность в низких сбросах соединений азота требуют подходящей системы очистки сточных вод.

Пример установок

Технология (а) Аэробная система с активным илом
SSAB Tundpl t AB, Lule Works, Швеция.

Технология (с) нитрификация – денитрификация

Установки для очистки сточных вод коксохимического производства с использованием концепции предварительная денитрификация/нитрификация были внедрены компанией ArcelorMittal в Генте, Бельгии, Сереманж, Франция, компанией ZKS в Диллингене, Германия, компанией H ttenwerke Krupp Mannesmann в Дуйсбурге, Германия (см. табл. 5.24).

Справочная литература: [21], [65], [88], [89], [201], [208], [260], [272], [320], [341]

6. ДОМЕННЫЕ ПЕЧИ

90

6.1 Применяемые процессы

Первая настоящая доменная печь на основе кокса была внедрена в 1735 г. [152]. Доменная печь остается вне всяких сомнений самым важным процессом для производства жидкого металла (чугуна). Технология, вероятно, будет продолжать доминировать в производстве жидкого металла в среднесрочной перспективе. На рис. 6.1 показан общий вид двух доменных печей [344].



Рисунок 6.1: Общий вид двух доменных печей с тремя воздухонагревателями для каждой и дымовой трубой для отходящих газов из воздухонагревателей

Доменная печь представляет собой закрытую систему, в которой железосодержащие материалы (крупнокусковая железная руда, агломерат и (или) окатыши), добавки (шлакообразователи, такие как известняк) и восстановители (т.е. кокс) непрерывно подаются сверху шахты печи через загрузочную систему, которая предотвращает выброс доменного газа. На рис. 6.2 показана упрощенная схема доменной печи, состоящей из собственно печи, литейного двора, воздухонагревателей и двухстадийной очистки доменного газа.

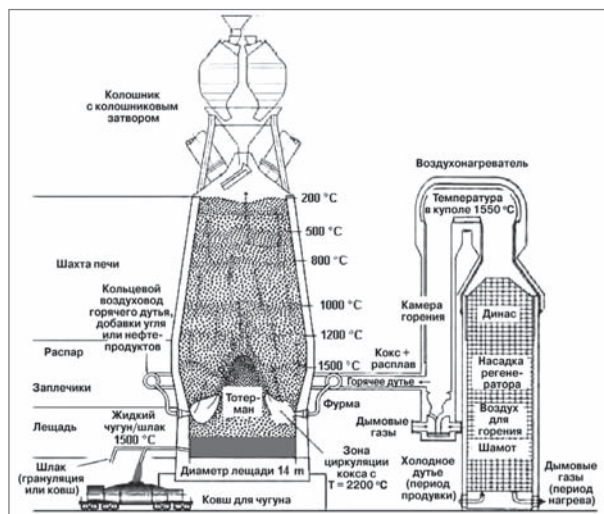


Рисунок 6.2: Упрощенная схема доменной печи. Источник: [312]

Горячее дутье, обогащенное кислородом, и вспомогательные восстанавливающие агенты инжектируются на уровне фурм, обеспечивая противоточное движение восстановительных газов. Воздушное дутье реагирует с восстановительными агентами с образованием главным образом монооксида углерода (CO), который, в свою очередь, восстанавливает оксиды железа до металлического чугуна. Жидкий чугун собирается на лещади вместе со шлаком, и регулярно происходит выпуск чугуна и шлака. Жидкий чугун транспортируется в ковше сигарообразной формы в сталеплавильный цех, а шлак перерабатывается для производства заполнителя, гранулята или брикетов для дорожного строительства и производства цемента. Доменный газ собирается на ковшнике доменной печи. Он очищается и распределяется по цехам для использования в качестве топлива для нагрева или для производства электроэнергии.

Имеются различные восстанавливающие агенты. Углерод/углеводороды в виде зернистого или пылевидного угля, мазут, остатков нефтепродуктов, отработанных масел, жиров и эмульсий, животных жиров, eco-oil , природного газа, коксового, конвертерного, доменного газа, отходов пластмасс, каменноугольной смолы и т.д. обычно имеются в наличии в достаточном количестве при небольшой цене. Однако выбор между некоторыми восстанавливающими агентами не определяется одной це-

ной. Помимо того, что он восстанавливающий агент, кокс также разрыхляет столб основных шихтовых материалов и обеспечивает прохождение газовых потоков в шихте доменной печи. Без этой второй функции (несущей способности) работа доменной печи была бы невозможна.

Железные руды, перерабатываемые в настоящее время, характеризуются большим содержанием гематита (Fe_2O_3) и иногда небольшим количеством магнетита (Fe_3O_4). В доменной печи эти компоненты постепенно восстанавливаются с образованием оксида железа (FeO), а затем частично восстанавливаются и науглероживаются с образованием чугуна. В конечном итоге металлическая часть шихты плавится, реакции завершаются, и жидкий горячий чугун и шлак скапливаются в лещади. Восстанавливающий углерод кокса реагирует с образованием CO и CO_2 . Добавляются флюсы и добавки для снижения температуры плавления пустой породы, повышения усваивания серы шлаком, обеспечивая требуемое качество жидкого чугуна и дальнейшую переработку шлака.

Так как в доменной печи шихта движется вниз, температура возрастает, таким образом, облегчаются реакции восстановления оксидов и образования шлаков. Шихта подвергается серии изменений состава следующего типа:

- оксиды железа в шихте постепенно восстанавливаются (с образованием губчатого железа и в конечном итоге расплавленного чугуна)
- кислород железной руды реагирует с коксом или монооксидом углерода, таким образом, образуя монооксид углерода или диоксид углерода, которые собираются у колошника
- компоненты пустой породы объединяются с флюсами с образованием шлака. Этот шлак является сложной смесью силикатов с меньшей плотностью, чем расплавленный чугун
- кокс выполняет главным образом функцию восстанавливающего агента, но также и топлива. Он покидает печь в виде монооксида углерода, диоксида углерода или углерода в расплавленном чугуне
- любой имеющийся водород также действует как восстанавливающий агент, реагируя с кислородом с образованием воды.

Происходят следующие операции:

- подготовка шихты
- загрузка и транспортирование сырьевых материалов
- технологический процесс в доменной печи
- подготовка горячего дутья
- непосредственная инъекция восстанавливающих агентов
- разливка
- охлаждение и переработка шлака.

6.1.1 Приготовление шихты

Для получения горячего чугуна требуются большие количества сыпучих материалов типа кусковой руды, смеси агломерата из кусковой руды и окатышей, агломерата и вспомогательных веществ.

Чрезмерно большие куски руды должны быть раздроблены, измельчены и просеяны для получения частиц требуемого размера. Руда обычно подвергается определенным стадиям подготовки.

Обычно предварительно подготовленные руды и другие материалы поставляются судами, по железной дороге и иногда грузовиками и разгружаются с помощью соответствующих разгрузочных устройств. В зависимости от предварительных условий и их свойств, например, изменения их реакционной способности и их смачивающей способности, они подвергаются хранению на открытом воздухе, под крышей, в бункере, емкости или в уплотненном виде, промежуточному или долговременному хранению. Неравномерности в рудах различного происхождения балансируются с помощью смешивания. Этот процесс усреднения происходит на рудоусреднительных складах.

Что касается вопроса, какая должна происходить точно подготовка шихты, то можно обнаружить различные точки зрения. Обычно приготовление шихты включает в себя процессы приготовления, смешивания перед агломерационной установкой на рудоусреднительных складах, транспортировании агломерата, кокса и возможного непосредственного транспортирования кусковой руды и все процессы дозирования до загрузки через колошник доменной печи. Иногда включается разгрузка, транспортирование и хранение руд и кокса, а иногда рассматриваются только операции с рудами.

Система дозирования включает грохоты (для железной руды и кокса), вибропитатели (для флюсов) и дозирующие бункеры. Из дозирующих бункеров сырьевые материалы транспортируются к скиповым тележкам или к колоснику доменной печи с помощью ленточного транспортера. В случае использования агломерата и (или) окатышей в дополнение к кусковой руде к эстакадному бункеру доменного цеха добавляются соответствующие системы хранения и дозирования.

Для большинства доменных печей дозировка сырьевых материалов и загрузка через колосник доменной печи осуществляется автоматически с помощью системы телемеханики с диспетчерского пункта и системы подготовки шихты, подвергаемой полному обеспыливанию посредством системы с рукавным фильтром.

6.1.2 Транспортирование и загрузка сырья

Смесь железосодержащих материалов (куски железной руды, агломерата и (или) окатышей) и добавок (флюсы) вместе называется “шихтой”. Шихта и сопутствующий ей кокс загружаются в колошник доменной печи либо с помощью скиповых тележек, либо с помощью механических конвейерных лент. Они поступают в печь с помощью герметичной системы загрузки, которая отделяет печные газы от атмосферного воздуха. Эта система необходима, поскольку давление в доменной печи превышает атмосферное давление (0,25 – 2,5 бар) [1 атм = 1 кг/см² = 0,98 бар]. В то время как многие новые крупные доменные печи имеют высокое давление под колошником (до 2,5 бар), современные печи работают при намного меньшем давлении. Оно может быть всего 0,25 бар, в зависимости от срока службы печи и других ограничивающих факторов, таких как давление дутья, и ограниче-

ния, связанные с конструкцией системы очистки газа.

Герметичная система загрузки может быть с конусным и бесконусным загрузочным устройством. В течение загрузки могут происходить выбросы пыли и доменного газа. Удаление газов с колошника печи и соединение с системой очистки доменного газа можно использовать для контроля выбросов на этой стадии процесса.

6.1.3 Работа доменной печи

6.1.3.1 Применение восстанавливающих агентов

В доменной печи сырьевые материалы поступают на колошник, в то время как продукты (расплавленный чугун и шлак) разливаются из нижней части (лещади). Твердая шихта движется вниз, встречаясь с потоком горячего восстанавливающего газа. Доменный газ с остаточной теплотворной способностью собирается под колошником печи для очистки.

Доменную печь можно разделить на шесть температурных зон:

- колошник: под колошником происходит загрузка шихты и удаление доменного газа
- шахта: в шахте горячий доменный газ отдает свое тепло твердой шихте. Температура шихты возрастает от температуры окружающего воздуха приблизительно до 950оС, а оксиды железа частично восстанавливаются в этой зоне
- распар: распар соединяет шахту с заплечиками. В этой части температура повышается дополнительно с 950оС приблизительно до 1250оС. Имеет место дальнейшее восстановление оксидов железа, и начинаются реакции кокса
- заплечики: продолжают реакции кокса в зоне заплечиков. Расплавляет-ся чугун и образуется шлак
- фурмы: в этой зоне горячее дутье вдувается в печь с помощью серии фурм (до 42 штук). Фурмы расположены по верхнему периметру лещади и оснащены большой трубой (кольцевым воздухопроводом), окружающей печь на высоте заплечиков. Температура здесь может превышать 2000оС, и оксиды полностью восстанавливаются
- лещадь: на лещади собирается расплавленный чугун и шлак. Вокруг лещади имеется от одной до четырех леток, и в любой момент времени в работе находятся одна или две летки.

Шахта печи, распар, заплечики и фурменный пояс обычно охлаждаются водой, а лещадь охлаждается водой, маслом или воздухом. Печь облицована огнеупорным материалом (толщина лещади составляет, по крайней мере, 1,5 м).

Производительность по горячему чугуну находится в диапазоне приблизительно от 0,5 млн. т/год для малых доменных печей до 5,5 млн. т/год для крупных доменных печей.

Технология доменного процесса использует высококачественную руду. Любые элементы, сопутствующие железу, перераспределяются между фазой жидкого чугуна и шлаком. В фазу жидкого чугуна попадают фосфор, сера, марганец

и кремний. Титан, алюминий, кальций, магний и большая часть кремния и серы попадают в шлак в виде оксидов или металлоидов. Имеется также возможность того, что некоторые элементы улетучиваются и отлагаются на различных частях доменной печи. Это особенно относится к цинку и свинцу, которые попадают в доменную печь с железными рудами и становятся побочными продуктами на агломерационной установке.

Общее удельное количество цинка в шихте обычно изменяется от 100 до 250 г/т производимого чугуна. Как правило, на большинстве современных печей удельная доля цинка ограничивается величиной 100 – 150 г/т чугуна. Пыли и шламы с высоким содержанием цинка или свинца обычно не принимаются как возврат на агломерационную установку, или же они используются только в ограниченном количестве [344].

Удаление цинка и свинца из печи производится при эксплуатации доменной печи таким образом, что температура в центре печи поддерживается выше 400°C. Цинк тогда с большей вероятностью будет удаляться с доменным газом в виде мелких частиц ZnO, которые почти полностью остаются при очистке (колошниковом) доменного газа [105].

Доменный газ

Доменный газ состоит из 20 – 28% CO, 1 – 5% H₂, инертных соединений (50 – 55% N₂, 17 – 25% CO₂), некоторых соединений серы и цианидов и большого количества пыли от шихты. Доменные печи с вдуванием природного и коксового газа имеют более высокое содержание водорода (до 10%) в колошниковом газе. Количество цианидов может быть особенно высоким в течение операций продувки доменной печи; но это происходит только случайно, и затем делаются добавки в систему для минимизации образования цианидов. Теплотворная способность доменного газа составляет приблизительно 2,7 – 4,0 МДж/нм³. Производство доменного газа составляет приблизительно 1200 – 2000 нм³/т чугуна.

После очистки доменный газ часто используется в качестве топлива после обогащения коксовым газом, конвертерным или природным газом, которые имеют более высокую теплотворную способность. Доменный газ можно также использовать без улучшения качества (например, в воздухонагревателях), если применяются современные горелки и (или) подогрев воздуха для горения и если принимаются соответствующие меры безопасности [145].

Восстанавливающими агентами, используемыми для переработки оксидов железа в доменной печи, являются кокс, уголь, нефтяной газ и другие источники углеводородов. Они используются главным образом для получения восстановительного газа, и, таким образом, для содействия восстановления оксидов железа до металлического железа, а затем для науглероживания железа. Самым важным восстанавливающим агентом является кокс, производимый с помощью процесса коксования (см. Главу 5).

Часть кокса в доменной печи может быть замещена углем, нефтепродуктами или газом, инжектируемыми на уровне фурм, и это называется также прямой инжекцией.

На рис. 6.3 показано среднее потребление восстанавливающих агентов в доменных печах Германии и изменение потребности в восстанавливающих агентах и их типов с 1950 г. Из этого рисунка можно видеть, что общая потребность резко снижалась в течение последующего времени за счет применения упомянутых мер. Применение нефтепродуктов началось в конце 1960-х годов, в то время как инжекция угля появилась в 1985 г., и она возрастала.

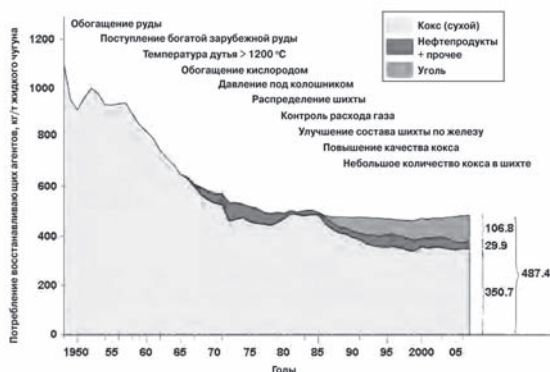


Рисунок 6.3: Среднее потребление восстанавливающих агентов доменными печами в Германии. Источник: [158]

Инжекция угля или нефтепродуктов в доменные печи является технологией, которая в настоящее время широко применяется в Европе и во всем мире. На рис. 6.4 даются уровни потребления восстанавливающих агентов для различных стран или регионов в 2006 г. Можно видеть, что во всем мире кокс и уголь являются основными используемыми восстанавливающими агентами. Применение замещения кокса углем с помощью инжекции последнего зависит от ряда факторов, таких как производительность, свойства кокса, желаемое качество чугуна, типа угля (например, антрацит) и условий (влажность) угля и т.д. [11], [65].

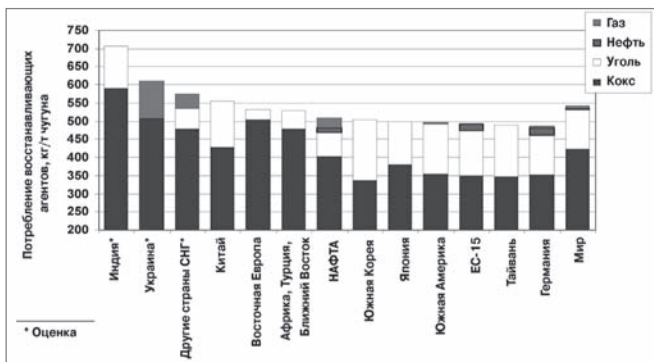


Рисунок 6.4: Потребление восстанавливающих агентов в доменных печах в мире в 2006 г. Источник: [159]

Следует подчеркнуть, однако, что некоторое количество кокса все еще необходимо в доменной печи, для того чтобы была возможность надлежащей работы печи. Теоретический максимум для инъекции угля на уровне фурмы, как полагают, составляет 270 кг/т горячего чугуна. Это предельное значение установлено газопроницаемостью кокса и термохимическими условиями в печи. Кокс обеспечивает требуемую несущую способность для поддержания шихты доменной печи и обеспечивает достаточную газопроницаемость.

Непосредственная инъекция восстанавливающих агентов означает замену части кокса другим источником углеводородов, который инжектируется в печь на уровне фурм (см. также Раздел 6.2.2.4). Как было упомянуто выше, уголь и нефтепродукты являются чаще всего используемыми рабочими агентами. Могут использоваться и другие углеводороды, такие как мазут, остатки нефтепродуктов, утилизируемые отработанные масла, каменноугольная смола, гранулированные материалы или, чаще пылевидный уголь, природный или коксовый газ и пластик. При снижении потребления кокса возрастают общий уровень загрязнений и потребление энергии.

Инъекция пылевидного угля (PCI) или инъекция нефтепродуктов дают важные экономические и эксплуатационные выгоды:

- меньшее потребление дорогих коксующихся углей и более широкий диапазон используемых углей
- продление срока службы коксовых печей
- повышение производительности доменных печей
- большая гибкость в работе доменных печей (регулирование вводимых веществ в фурме намного легче, корректировка шихты)
- повышение стабильности качества чугуна и содержания кремния
- снижение общих выбросов от сталеплавильных цехов вследствие снижения выбросов при получении кокса.

Недостатками PCI являются:

- дополнительные затраты на обогащение. Необходимость поставок большого количества кислорода требует кислородной станции
- дополнительная потребность в распылителях на существующих заводах и дополнительные требования для обслуживания установок для инъекции.

Инъекция дополнительных количеств угля и нефтепродуктов снижает температуры в зоне циркуляции кокса, что оказывает влияние на эффективность работы доменной печи. Это означает, что в доменных печах с обычной восстановительной плавкой допустимая инъекция угля ограничивается до 150 кг/т чугуна. Для поддержания устойчивых условий циркуляции и в то же самое время для достижения повышенных уровней ввода угля и (или) нефтепродуктов (до 260 кг/т чугуна) имеются различные варианты. Обычным вариантом является использование кислорода для обогащения дутья или инъекция угля и нефтепродуктов вместе с кислородом на уровне фурмы. Последний вариант называется оху-coal (вдувание кислорода с пылеугольным топливом) и оху-oil (вдувание кислорода с нефтепродуктами) (см. Раздел 6.3.12).

Во время написания этого справочного документа (2010 г.) новые доменные печи или существующие системы инъекции проектировались для уровней PCI 200 кг/т чугуна или более.

Справочная литература: [158], [160], [208], [211], [277]

6.1.4 Работа воздухонагревателей

Горячее дутье для работы доменной печи обеспечивается с помощью воздухонагревателей (иногда называемых “кауперами доменной печи”) Воздухонагреватели являются вспомогательными установками, используемыми для подогрева дутья. Возрастающая температура дутья приводит к снижению потребностей в углероде. Основной функцией воздухонагревателя является поставка кислорода, необходимого для газификации кокса, и, таким образом, поставка газа, который при контакте с шихтой восстанавливает оксиды железа.

Воздухонагреватели работают в циклическом режиме. Они нагреваются с помощью горючих газов (обычно обогащенный доменный газ) до тех пор, пока в куполе воздухонагревателя не будет достигнута необходимая температура (приблизительно 1100 – 1500оС). Горючий газ затем отключается, и холодный окружающий воздух продувается через воздухонагреватели в противоположном направлении. Холодный воздух нагревается горячими кирпичами, и, таким образом, получается горячее дутье (900 – 1350оС), которое направляется в доменную печь. Процесс продолжается до тех пор, пока воздухонагреватель не сможет больше обеспечивать надлежащую температуру дутьевого газа, после чего снова начинается начальный цикл нагрева. Продолжительность каждого цикла зависит от условий в конкретном доменном цехе, таких как источник энергии, характеристики системы и меры экономии энергии.

В принципе, воздухонагреватели можно классифицировать как камеры внутреннего или внешнего сгорания (см. рис. 6.5). Это различие является важным для выбросов CO.

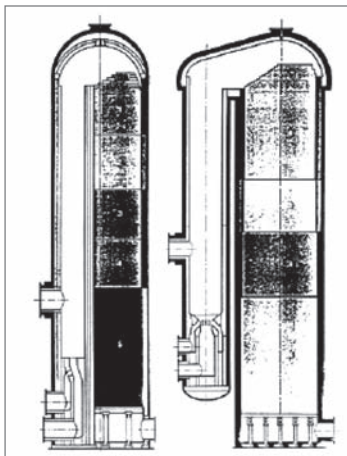


Рисунок 6.5: Воздухонагреватели (кауперы) в разрезе с камерами внутреннего и внешнего горения. Источник: [29]

Для каждой доменной печи необходимо три или четыре воздухонагревателя. Выбросы в воздух происходят в течение стадии нагрева воздухонагревателя.

6.1.5 Разливка

В доменной печи периодически происходит разливка для удаления чугуна и шлака с лещади. Для этой цели одна из леток открывается в боковой стенке лещади с помощью бура для вскрытия летки или буром с нагревательным элементом. В некоторых случаях для открытия летки используют кислородную фурму. Обычно доменная печь имеет от одной до четырех леток. Количество леток определяется производительностью доменной печи.

В современных доменных печах чугун и шлак сливаются вместе (обычно начинается спуск шлака, а затем чугуна). Шлак и чугун впоследствии разделяются с помощью скиммерного устройства на литейном дворе, после чего каждый продолжает течь по отдельному желобу.

Чугун, разливаемый из доменной печи, протекает по огнеупорному желобу или желобу с низкоцементным покрытием, футерованному теплоустойчивой смесью оксида алюминия и углерода или кремнезема и карбида, и разливается в ковши (непосредственно или по наклонному желобу). Эти ковши могут быть закрытого или открытого типа, или сигарообразного вида. В расплавленном состоянии чугун имеет температуру приблизительно 1440-1500°C.

Шлак, разливаемый из печи, стекает по желобам на установку для грануляции в шлаковые ковши или в открытую канаву.

В конце цикла разливки летка заделывается механически с помощью вдувания специальной теплоустойчивой глиняной смеси, с использованием пушки для забивки летки.

6.1.6 Охлаждение и переработка шлака [174], [347]

6.1.6.1 Процесс грануляции шлака [241], [347], [392]

Количество образующегося шлака зависит от содержания пустой породы в шихте доменной печи, черных металлов в шихте, коксовой золы и золы от инжектируемых материалов, например, угля и количества флюса, требующегося для достижения необходимого качества жидкого чугуна. Для того чтобы шлак доменной печи был приемлемым для использования за пределами металлургических заводов, необходимо принять дополнительные меры для обеспечения того, чтобы шлак соответствовал требуемым химическими и (или) физическим свойствам. Шлак может быть направлен на различные виды использования, включая материал для дорожного строительства, в качестве инертных составляющих бетона, тепловой изоляции (минерального утеплителя) и в качестве замены клинкера в производстве цемента. Общее использование шлака доменных печей является целью, которая во многих случаях уже выполнена [347].

Во время написания (2010 г.) использовалось три основных процесса для обработки жидкого шлака доменных печей:

- процесс грануляции шлака с водой (75%)
- процесс брикетирования шлака (2%)
- процесс в шлаковой траншее (называемый также охлаждением на воздухе) (23%).

При всех этих процессах охлаждения шлака может образовываться сульфид водорода, обладающий характерным запахом.

Грануляция шлака с использованием воздуха в настоящее время используется для переработки шлаков доменных печей в промышленном масштабе. Во всех таких процессах шлак диспергируется, а частицы охлаждаются окружающим воздухом. Часто применяется дополнительное опрыскивание водой для ускорения охлаждения. Вследствие некоторых недостатков (например, значительные требования к месту, шум, неконтролируемые выбросы газообразных соединений серы, выбросы мелкодисперсных частиц), этот вид грануляции практикуется очень редко.

Другие процессы, такие как продувка для получения минеральной ваты и вспенивание для получения пенистого доменного шлака, используются не так часто. Возможные направления использования жидкого шлака, разливаемого из доменной печи, и меры влияния на его качество, приведены на рис. 6.6.

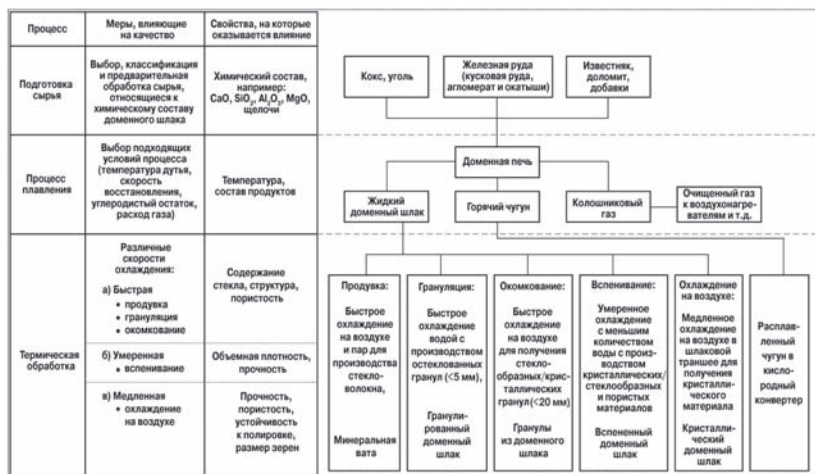


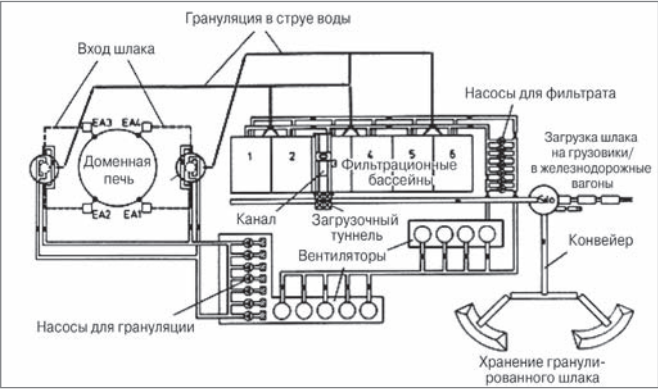
Рисунок 6.6: Резюме методов контроля и технологических схем для жидких доменных шлаков. Источники: [174], [344], [347]

Грануляция являлась самым распространенным процессом, используемым во время написания документа (2010 г.) в странах ЕС для переработки доменного шлака. Процесс связан с разливкой расплавленного шлака через струю воды высокого давления в грануляционную насадку (иногда в грануляционную камеру), расположенную в непосредственной близости от доменной печи. Для грануляции шлака используется в некоторых случаях пресная вода в открытой/закрытой системе (иногда используется морская вода).

После грануляции суспензия из шлака и воды обычно транспортируется в водосточную систему, состоящую из горизонтального отстойника (например, ОСР – процесс с открытым циклом), вертикальной фильтрующей воронки или

вращающегося обезвоживающего барабана (например, процесс INBA®¹ и процесс RASA®²). В некоторых случаях суспензия из шлака и воды транспортируется в отстойник перед отводом воды. В некоторых случаях собираются водяные пары и конденсируются.

После обезвоживания остаточная влажность гранулированного шлака обычно составляет около 10%. Фильтрующий слой периодически промывается водой и продувается воздухом для удаления тонкодисперсных частиц. На рис. 6.7 и 6.8 показано два примера технологий грануляции: процессы ОСР и процесс INBA).



101

Рисунок 6.7: Пример грануляции доменного шлака с открытым циклом. Источник: [111]

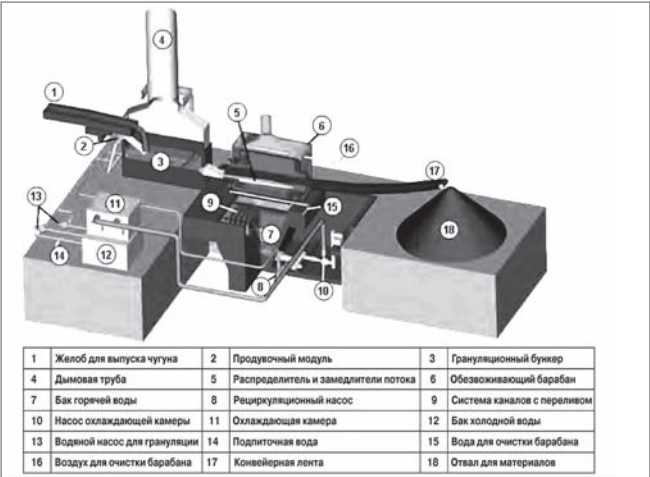


Рисунок 6.8: Грануляция доменного шлака в процессе INBA. Источник: [140]

¹ Процесс грануляции шлака для крупных доменных печей с использованием обезвоживающего барабана, разработанный японской корпорацией RASA.

² Процесс мокрой грануляции доменного шлака, разработанный в начале 1980-х годов компаниями SIDMAR и Paul Wurth.

6.1.6.2 Процесс брикетирования шлака

Процесс брикетирования используется только на нескольких заводах в ЕС и на нескольких заводах в Канаде. Расплавленный шлак распределяется в слое на пластине, которая действует как отражатель. Полоса шлака рассекается струями воды, которые инициируют разбухание и охлаждение шлака. Затем шлак выбрасывается с помощью центрифуги в воздух на вращающийся барабан для завершения продувки и охлаждения. Частицы шлака следуют по различным траекториям в соответствии с их размерами, которые варьируются от измельченного песка до увеличенных гранул [347].

При надлежащем исполнении техническая вода полностью расходуется при испарении и в виде влажности продукта. Удельное потребление воды меньше, чем требуется для мокрой грануляции.

Подобно гранулированному шлаку, брикетированный шлак используется в качестве замены клинкера в производстве цемента.

6.1.6.3 Переработка шлака в шлаковой траншее [392]

Процесс в шлаковой траншее (который называется также охлаждением на воздухе) связан с разливкой тонкими слоями расплавленного шлака непосредственно в шлаковые траншеи рядом с печами. Или же после сбора шлака в ковшах расплавленный шлак медленно охлаждается и кристаллизуется на открытом воздухе. Траншеи поочередно заполняются и опорожняются, и кусковый шлак разрушается и дробится для использования в качестве крупного заполнителя. На практике время охлаждения может быть снижено с помощью опрыскивания горячего шлака контролируемым количеством воды, хотя при этом возрастает возможность эмиссии запахов. При надлежащем исполнении охлаждающая вода полностью расходуется при испарении.

В процессе в шлаковой траншее получается кусковой кристаллический шлак, который является желательным наполнителем в строительстве (например, сырье для дорожного строительства). Время охлаждения оказывает сильное влияние на качество получаемого кускового шлака. Охлаждение водой улучшает также микроструктуру, достигаются лучшие механические свойства.

Некоторыми идентифицированными недостатками этого процесса является то, что качество продукта может оказаться под очень сильным влиянием охлаждения, что приводит к ограниченным применениям продукта, а также то, что обращение с жидким шлаком и дробление твердого шлака требуют гораздо больших затрат работы по сравнению с грануляцией и брикетированием.

6.2 Нынешние уровни выбросов и потребления

6.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления и производства

На рис. 6.9 представлен обзор входных и выходных массовых потоков для доменной печи. Этот обзор можно использовать для сбора данных от одной доменной печи.

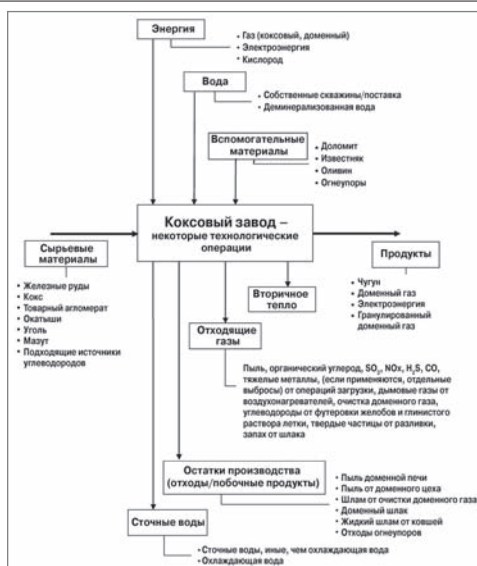


Рисунок 6.9: Общее представление о массовом потоке в доменной печи. Источник: [200]

На рис. 6.10 приведен пример общей схемы процесса в доменной печи вместе с входными и выходными массовыми потоками.

Удельные факторы производства и удельные коэффициенты выбросов были определены для доменных печей. В табл. 6.1, 6.2 и 6.3 приведены данные для этих показателей, полученные для многих доменных печей, и, таким образом дается репрезентативная картина современных заводов.

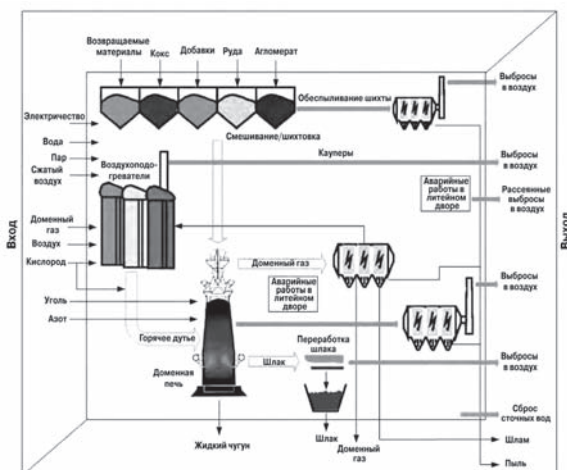


Рисунок 6.10: Общая схема процесса в доменной печи с указанием индивидуальных операций и входных и выходных массовых потоков. Источник: [200]

ТАБЛИЦА 6.1: ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ В РАЗЛИЧНЫХ ГОСУДАРСТВАХ-ЧЛЕНАХ ЕС. ИСТОЧНИКИ: [140], [24], [346]

Входные данные		Единицы	Максимум	Минимум	Средне-взвешенное значение
Сырьевые материалы					
Агломерат		кг/т чугуна	1621	116	1088
Железная руда		кг/т чугуна	684	0	180
Окатыши		кг/т чугуна	972	0	358
Кокс		кг/т чугуна	515	282	359
Возврат		кг/т чугуна	106	0	20,1
Известняк/известь		кг/т чугуна	80	0	25,7
Инжекция в фурму					
Жидкое топливо		кг/т чугуна	116	0	30,1
Уголь		кг/т чугуна	232	0	162
Коксовый газ		кг/т чугуна	46,9	0	1,1
Природный газ		кг/т чугуна	5,6	0	2,2
Кислород		кг/т чугуна	85,1	0	54,4
Прочее(1)		кг/т чугуна	73,5	0	3,6
К воздухонагревателям					
Доменный газ		МДж/т чугуна	2287	1,2	1536
Коксовый газ		МДж/т чугуна	817	0,024	284
Природный газ		МДж/т чугуна	819	0	168
Доменный газ		МДж/т чугуна	259	0,124	213
Энергия					
Электроэнергия		МДж/т чугуна	850	107	268
Прочее					
Кислород		м3/т чугуна	67	4,6	43
Азот		м3/т чугуна	59	33	46
Пар		м3/т чугуна	435	14,8	48
Сжатый воздух		м3/т чугуна	35	0,008	9,1
Охлаждающая вода (2)		м3/т чугуна	22,9(4)	0,37(4)	-
Техническая вода (3)		м3/т чугуна	13	0,28	3,4

(1) Прочее включает пластмассы, утилизируемые масла, жиры, эмульсии и т.д.

(2) Вода, которая не имеет непосредственного контакта в процессе

(3) Техническая вода является составной частью процесса и не содержится в определенной системе охлаждения, например, вода в шлаковой траншее

(4) Различия отражают прямоточную и замкнутую систему. Средневзвешенные значения не рассчитан, так как прямоточная система не должна сравниваться с замкнутой системой.

Входные данные для доменной печи за 2004 г., на основе производства 73,4 млн. т чугуна.

ТАБЛИЦА 6.2: ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ ЗА 2004 Г. ДЛЯ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ.
ИСТОЧНИКИ: [140], [208], [234], [346]

Выход	Единицы	Максимум	Минимум	Количество	Тонн чугуна
Энергия					
Доменный газ	МДж/т чугуна	6061	3377	16	62956753
Электроэнергия	МДж/т чугуна	91	40	6	31160302
Остатки производства (отходы/побочная продукция)					
Шлак	кг/т чугуна	346,6	150,0	18	69223393
Пыль колошникового газа	кг/т чугуна	18,0	3,4	13	61044562
Шлам колошникового газа	кг/т чугуна	22,3	2,0	15	66268056
Пыль от обеспыливания литейного двора	кг/т чугуна	5,1	0,6	8	41197012
Использованные огнеупоры	кг/т чугуна	5,9	0,3	8	48063570
Сточные воды	м3/т чугуна	13,736(*)	0,0096(*)	12	54428253

Данные основаны:

- Произведено чугуна 73459787 т. Не было данных для отдельных доменных печей

- Произведено доменного шлака 19562299 т

(*) Отражены различия прямоточной и замкнутой системы

Количество обозначает количество доменных печей

105

В следующих таблицах 6.3 – 6.6 приведена дополнительная информация с большими подробностями о коэффициентах выбросов в воздух (после газоочистки) для зоны загрузки, литейного двора и основных отдельных операций, связанных с работой доменной печи.

ТАБЛИЦА 6.3: ВЫБРОСЫ ОТ ПОДГОТОВКИ УГЛЯ ДЛЯ ВДУВАНИЯ. ИСТОЧНИК: [200]

Операция/источник выбросов Подготовка угля для вдувания	Пыль (г/т чугуна)
Количество данных	15
Диапазон (минимум – максимум)	2 – 54
$\bar{x} \pm s$	12 ± 16

$\bar{x} \pm s$ = среднее значение и стандартное отклонение
(рассчитано только, если имеется достаточно данных).

ТАБЛИЦА 6.4: ВЫБРОСЫ ИЗ ЗОНЫ ЗАГРУЗКИ. ИСТОЧНИК: [200]

Параметр	Единицы	Диапазон
Пыль	г/т чугуна	2,7 – 81,4
PM10	г/т чугуна	0,2 – 11,0

Высокие значения для выбросов пыли из зоны загрузки сообщались в зависимости от типа распыления воды и наличия или отсутствия системы отвода, направляющей газ из воздушного шлюза в систему очистки доменного газа (см. п. 6.3.5). При отсутствии последней системы коэффициенты выбросов для зоны загрузки, судя по сообщениям, очень высокие и составляют 400 и 850 г пыли/т чугуна на двух бельгийских заводах [170].

ТАБЛИЦА 6.5: ВЫБРОСЫ В ВОЗДУХ С ЛИТЕЙНОГО ДВОРА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ (НА КОНЦЕ ТРУБЫ). ИСТОЧНИКИ: [140], [346]

Параметр	Единицы	Максимум	Минимум
Пыль	г/т чугуна	41,95	0,42
PM10	г/т чугуна	25,92	0,26
SO ₂	г/т чугуна	193,80	7,34
NO _x	г/т чугуна	2,08	2,08
CO	г/т чугуна	35,63	21,52
Cr	г/т чугуна	10,41	2,76
Mn	мг/т чугуна	53,02	45,12
Ni	мг/т чугуна	10,61	1,99
Pb	мг/т чугуна	24,33	2,19
Zn	мг/т чугуна	12,9	3,81
Hg	мкг/т чугуна	200,3	55,50
As	мкг/т чугуна	299,8	205,69
Cd	мкг/т чугуна	223,3	65,3

Примечание: твердые частицы образуются в воздухе в течение разливки вследствие окисления: два места вызывают проблему: (а) летка; (б) миксерный ковш. Для снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от этого незначительного окисления расплавленного чугуна желоба футеруют и применяется отсос как в районе летки, так и при заливке в миксерный ковш. Воздух из этих мест очищается в электрофильтрах или в рукавных фильтрах перед выбросом в атмосферу. Представленные данные относятся к сбросу после очистного оборудования.

Твердые частицы выбрасываются в воздух в течение разливки вследствие окисления. Два места вызывают опасение; там, где находится летка, и место размещения миксерного ковша.

ТАБЛИЦА 6.6: ВЫБРОСЫ В ВОЗДУХ ОТ ГРАНУЛЯЦИИ ДОМЕННОГО ШЛАКА. ИСТОЧНИК: [200]

Операция/источник выбросов	Пыль (г/т чугуна)	H ₂ S (г/т чугуна)	SO ₂ (г/т чугуна)	NO _x (г/т чугуна)	CO (г/т чугуна)
Грануляция шлака NR	NA	14/1 – 300(1)	13/1 – 142(1)	LS	LS
x±s		63±95	31±42		

(1) Низкие значения (около 1 г/т чугуна) относятся к установкам для гранулирования шлака с конденсацией дыма

x±s = среднее значение и стандартное отклонение (рассчитывается только, если имеется достаточное количество данных)

LS = малозначительно

NA = нет данных.

6.2.2 Экологические проблемы для процесса доменного производства

6.2.2.1 Выбросы в воздух [145], [247]

Доменная печь является главным образом источником выбросов пыли и газообразных веществ. В случае применения технологий снижения загрязнений происходят взаимодействия между средами.

В общем, п.п. 6.2.2.1 – 6.2.2.5 ниже описывают самые важные экологические проблемы в процессе в доменной печи:

- Выбросы в воздух от:
 - приготовления шихты
 - загрузки и транспортировки
 - доменного газа (как косвенные выбросы от сжигания)
 - воздухонагревателей
 - литейного двора
 - переработки шлака
- Сточных вод от:
 - перелива воды от очистки доменного газа
 - сточных вод от грануляции шлака
 - продувки систем охлаждения
- Остатков производства, таких как отходы и побочные продукты от:
 - пыли от разливы
 - пыли и шлама от очистки доменного газа
 - шлака из доменной печи
- Остатков производства, таких как отходы и побочные продукты от:
 - прямого дувания восстанавливающих агентов
 - потребности в восстанавливающих агентах
- Шум.

Подготовка шихты

Важными могут быть выбросы от сушки/дробления угля. Имеющиеся данные с одной бельгийской доменной печи показывают, что выбросы пыли находятся в диапазоне от 54 до 139 мг/нм³, СО от 292 до 383 мг/нм³, СН₄ – 1250 мг/нм³. Все значения относятся к содержанию кислорода 3% [171].

Угольная пыль для непосредственного дувания обычно хранится в бункерах и емкостях. Выбросы в воздух могут происходить также при вытеснении воздуха в течение загрузки. По этой причине воздух, содержащий пыль, обычно собирается и впоследствии подвергается сухому обеспыливанию.

Загрузка и транспортирование

Так как давление в печи выше атмосферного давления, используется герметичная система загрузки конусного или бесконусного типа.

Могут быть выбросы всех составляющих доменного газа, но основными являются монооксид углерода (СО) и пыль. При использовании системы с утилизацией газа возможны намного меньшие выбросы при загрузке и транспортировании.

Доменный газ

В неочищенном доменном газе содержится пыль (включая тяжелые металлы и углерод), монооксид углерода, диоксид углерода, соединения серы, аммиака, цианидов, углеводороды и РАН. Доменный газ используется в качестве источника энергии. Газ подвергается очистке, для того чтобы он соответствовал техническим условиям и использовался для различных процессов сжигания, таких как подогрев дутья в воздухонагревателях (см. п. 6.1.4) или нагрева в коксовой печи (см. п. 5.1.2.2). Таким образом, происходят (косвенные) выбросы при сжигании доменного газа.

Очистка доменного газа обычно состоит из предварительной очистки для удаления грубой пыли и последующей мокрой очистки для удаления тонкодисперсной пыли (и, таким образом, тяжелых металлов), SO₂ и соединений цианидов. На некоторых доменных печах применяются электрофилтры.

Содержание пыли в неочищенном доменном газе значительно различается от одной печи к другой, а также в большой степени зависит от условий технологического процесса, изменяясь от 5,5 до 40 кг/т выплавленного чугуна. После очистки в доменном газе обычно содержится менее 10 мг/нм³ пыли. Эти выбросы происходят в месте сжигания. В табл. 6.7 приведены данные о нескольких составляющих доменного газа.

ТАБЛИЦА 6.7: СОСТАВ НЕОЧИЩЕННОГО ДОМЕННОГО ГАЗА (ПЕРЕД ОЧИСТКОЙ). ИСТОЧНИКИ: [65], [344]

Компонент неочищенного доменного газа	Значение	Единица	Удельные выбросы	Единица
Производство доменного газа	1,0 – 7,0	1×10 ⁵ нм ³ /ч	1200 – 2000	нм ³ /т чугуна
Пыль	3500 – 30000	мг/нм ³	7000 – 40000	г/т чугуна
Углеводороды	67 – 250	мг/нм ³	130 – 300	г/т чугуна
Соединения цианидов (как CN-)	0,26 – 1,0 (1)	мг/нм ³	0,5 – 1,3	г/т чугуна
Аммиак	10 – 40	мг/нм ³	20 – 50	г/т чугуна
РАН(2)				
Бенз-а-пирен	0,08 – 0,28	мг/нм ³	0,15 – 0,36	г/т чугуна
Флуорантен	0,15 – 0,56	мг/нм ³	0,30 – 0,72	г/т чугуна
Монооксид углерода	20 – 28	об. %	300 – 700	кг/т чугуна
Диоксид углерода	17 – 25	об. %	400 – 900	кг/т чугуна
Водород	1 – 5	об. %	1 – 7,5	кг/т чугуна

(1) Выбросы в течение продувки могут быть значительно выше

(2) Имеются также многие другие полициклические ароматические соединения (РАН).

В течение двухстадийной очистки доменного газа пыль удаляется с высокой степенью эффективности, что также относится и к соединениям, связанным с пылью, таким как большинство тяжелых металлов и РАН. В табл. 6.8 показан состав доменного газа после очистки. В газе все еще содержатся некоторые тяжелые металлы, но по сравнению с установками для агломерации (см. п. 4.2.1) нагрузка по ним значительно ниже.

**ТАБЛИЦА 6.8: СОСТАВ ДОМЕННОГО ГАЗА (ПОСЛЕ ДВУХСТАДИЙНОЙ ОЧИСТКИ).
ИСТОЧНИКИ: [65], [344]**

Компонент очищенного доменного газа	Концентрация	Единица	Удельные выбросы	Единица
Производство доменного газа	1,0 – 7,0	1×10 ⁵ нм ³ /ч	1200 – 2000	нм ³ /т чугуна
Пыль	1 – 10	мг/нм ³	1 – 20	г/т чугуна
Углеводороды	NA	мг/нм ³	NA	г/т чугуна
H ₂ S	14	мг/нм ³	17 – 26	г/т чугуна
Соединения цианидов (как CN-)	NA	мг/нм ³	NA	г/т чугуна
Аммиак	NA	мг/нм ³	NA	г/т чугуна
Металлы				
Mn	0,10 – 0,29	мг/нм ³	0,2 – 0,37	г/т чугуна
Pb	0,01 – 0,05	мг/нм ³	0,02 – 0,07	г/т чугуна
Zn	0,03 – 0,17	мг/нм ³	0,07 – 0,22	г/т чугуна
Монооксид углерода	20 – 28	об. %	300 – 700	кг/т чугуна
Диоксид углерода	17 – 25	об. %	400 – 900	кг/т чугуна
Водород	1 – 5	об. %	1 – 7,5	кг/т чугуна

NA = нет данных.

В ЕС мокрая газоочистка является чаще всего применяемой технологией в качестве второй стадии очистки доменного газа. При этом образуется поток загрязненных сточных вод, в котором содержатся взвешенные твердые вещества (например, углерод и тяжелые металлы), соединения цианидов, азота и т.д. Сепарированные твердые частицы создают проблему отходов вследствие наличия тяжелых металлов, в особенности цинка. В то время как крупные частицы пыли обычно возвращаются в цикл на агломерационную установку, шлам от газоочистки обычно обезвоживается и либо возвращается на агломерационную установку (обычно с помощью гидроциклона, который отделяет фракции с низкими и высокими концентрациями тяжелых металлов), или они направляются на безопасный полигон [247], [248].

Воздухонагреватели

Воздухонагреватели обогреваются с помощью газа. В зависимости от конкретной ситуации имеются такие сочетания:

- доменный газ + коксовый газ
- доменный газ + природный газ
- доменный газ + конвертерный газ
- любые другие сочетания четырех используемых газов (доменный, коксовый, природный, конвертерный газ) или моногаз.

В коксовом газе содержатся соединения серы, которые выбрасываются в виде SO₂ в воздухонагревателях, когда этот газ используется для нагрева воздуха. В работе [145] сообщается, что несколько воздухонагревателей с современными горелками и с подогревом воздуха для горения работают с использованием доменного газа без обогащения [344].

В табл. 6.9 приведены измеренные концентрации выбросов для основных загрязняющих веществ от воздухонагревателей.

**ТАБЛИЦА 6.9: КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫБРОСОВ ОТ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ.
ИСТОЧНИКИ: [171], [200], [244], [346]**

Параметр	Диапазон (мг/нм ³) среднегодовая	Диапазон (мг/нм ³) получасовая средняя
Пыль	<0,1 – 12	
CO	4,11 - 2891	20
NO _x	19 - 115	20 - 120
SO _x	4 - 154	60 - 210
Hg	0,003	
Cd, Tl	0,0057(1)	
Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,24 (1)	
HF	0,08	
HCl	3 (1)	
PCDD/F	0,002 – 0,004 (нг/нм ³)	

(1) Значения соответствуют максимальным величинам, но не являются среднегодовыми.

Примечания: значения получены из семи установок в ЕС и соответствуют среднегодовым значениям и из трех немецких установок дополнительно для получасовых средних.

Расход дымовых газов из воздухонагревателей составляет приблизительно от 100 тыс. до 500 тыс. нм³/ч т чугуна. Удельный расход отходящих газов составляет 400 – 1500 нм³/ч чугуна. Концентрации выбросов SO₂ находятся в диапазоне от 4 до 154 мг/нм³ в зависимости от применяемого газа (на среднегодовой основе, см. табл. 6.9), что соответствует 1,6 – 154 г/т чугуна. В случае смеси доменного газа и не подвергнутого десульфуризации коксового газа удельные выбросы могут дойти до 400 г SO₂/т чугуна, что соответствует 267 – 1000 мг/нм³.

Воздухонагреватели являются основным источником выбросов NO_x в доменном процессе. NO_x образуются в результате высоких температур в воздухонагревателе. Концентрации выбросов находятся в диапазоне от 19 до 115 мг/нм³ (на среднегодовой основе, см. табл. 6.9), что соответствует 6 – 173 г/т выплавленного чугуна [344].

Выбросы пыли из воздухонагревателей обычно находятся от 1 до 12 мг/нм³, что соответствует 0,4 – 18 г/т выплавленного чугуна [344].

Выбросы CO значительные в случае камер внутреннего горения (см. рис. 6.5). Трещины в кирпичной кладке, которых очень трудно избежать, означают, что доменный газ может без сжигания переходить в отходящие газ и может удаляться при концентрациях до 2891 мг CO/нм³. В случае внешней камеры сгорания с контролируемым сжиганием концентрация будет <50 мг CO/нм³ [171], [344].

Литейный двор

Разливка чугуна связана с образованием выбросов пыли. В среднем при отсутствии очистки выбросы находятся в диапазоне от 400 до 1500 г/т выплавленного чугуна. Эти выбросы возникают главным образом вследствие контакта между расплавленным чугуном и шлаком и окружающим воздухом. Для того чтобы уловить пыль, образующуюся при разливке во многих доменных печах

в ЕС, используются системы обеспыливания на литейном дворе (улавливание пыли в летке, отделение шлака и заливка жидкого чугуна в миксерный ковш) с расходом от 200 тыс. до 700 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$. Выбросы пыли зависят от применяемого метода очистки (в некоторых случаях их все еще нет) и эффективности удаления пыли. Во многих случаях применяются рукавные фильтры, с помощью которых можно достичь уровня выбросов меньше чем $10 \text{ мг пыли}/\text{м}^3$. Удельные выбросы пыли варьируются от 0,5 до 45 г/т выплавленного чугуна, при среднем значении 32 г/т выплавленного чугуна. Кроме того, имеет место выброс некоторого количества SO_2 из жидкого шлака и чугуна в течение разливки (7 – 195 г/т выплавленного чугуна) [344]. Концентрации выбросов с литейного двора доменной печи и обеспыливания шихты приведены в табл. 6.10.

ТАБЛИЦА 6.10: КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫБРОСОВ С ЛИТЕЙНОГО ДВОРА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ И ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ШИХТЫ. ИСТОЧНИКИ: [200], [244], [346]

Параметр	Диапазон (мг/м ³) среднегодовое значение	Сравнительный период времени
Пыль	0,3 – 10,4 0,38 – 0,49	AAV DAV
SO_x	12	AAV
Hg	<0,0001	AAV
Cd, Tl	0,00004	AAV
As, Co, Ni, Se, Te	<0,003	AAV
Pb, Co, Ni, Se, Te	<0,5	AAV
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,004 – 0,014	AAV
Sb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Sn	<1	AAV
HCl	10,7	AAV
H_2S	1,2	AAV

Примечания: значения находятся в диапазоне, полученном на четырех установках в ЕС, и они соответствуют ежегодным средним значениям и соответствуют среднесуточным значениям для пыли для одной немецкой установки.

AAV = среднечасовое значение

DAV = среднесуточное значение.

Переработка шлака

При реакции воды с расплавленным шлаком, в особенности с соединениями серы (в основном CaS и MnS) образуется пар и происходят выбросы H_2S и SO_2 . Эти выбросы являются потенциальными источниками запаха и вызывают проблемы коррозии оборудования. Их важность изменяется в соответствии с используемой технологией переработки шлака. Доменный шлак, текущий по шлаковому желобу, имеет содержание серы около 1 – 2 вес. %. Основным соединением серы в шлаке является CaS [392].

Выбросы могут изменяться в значительной степени от одной доменной печи до другой, от одного цикла переработки шлака до другого и в пределах одного цикла переработки шлака. Диапазон наблюдаемых удельных выбросов широкий. Имеющиеся данные варьируются от 1 до 320 г H_2S /т жидкого чугуна и от 1 до 150 г SO_2 /т жидкого чугуна для грануляции шлака. Для промышленной

установки INBA со средним расходом шлака 3,5 т/мин и при предполагаем расходе выбрасываемого воздуха/пара через дымовую трубу 10000 $\text{м}^3/\text{ч}$ итоговые концентрации H_2S и SO_2 будут находиться в диапазоне от 50 до 28000 $\text{мг}/\text{м}^3$ для H_2S и 135 – 15600 $\text{мг}/\text{м}^3$ для SO_2 . С точки зрения устранения вредностей это следует рассматривать как преимущество [344], [392].

Выбросы H_2S и SO_2 являются потенциальными причинами появления запахов и коррозии оборудования. Выбросы газообразных соединений серы в значительной степени зависят от вида системы грануляции, расхода шлака, отношения шлака к воде и температуры воды при грануляции. Так как растворимость H_2S и SO_2 снижается с повышением температуры воды, в системах грануляции холодной водой наблюдаются пониженные выбросы газообразных соединений серы, чем в системах грануляции горячей водой [242], [392].

Для снижения выбросов некоторые установки работают с конденсацией дыма. Конденсат и вода от обезвоживания шлака циркулируют после охлаждения, когда используется пресная вода. Повторное использование воды не проводится, когда для грануляции шлака используется морская вода и конденсация дыма. С использованием этой технологии выбросы H_2S находятся в диапазоне от 1 до 10 г/тонну чугуна.

Вода, используемая в процессе грануляции и брикетирования, может в значительной степени собираться и повторно использоваться при использовании пресной воды. Эти системы могут работать таким образом, что будут образовываться небольшие количества сточных вод. Пар, образующийся в течение этого процесса, содержит пыль, H_2S и SO_2 , которые обычно выбрасываются в атмосферу. Были проведены испытания в отношении повторного использования физического тепла шлака, но в настоящее время нет системы, работающей в промышленном масштабе. Потенциал по утилизации энергии составляет приблизительно 0,35 ГДж/т расплавленного чугуна.

Производство кускового шлака из траншей обычно приводит к большим выбросам H_2S и SO_2 , которые труднее контролировать. Улучшение физических свойств с помощью воды обычно имеет место в радиальных отстойниках.

6.2.2.2 Сточные воды

Сточные воды от очистки доменного газа

Вода после мокрой очистки доменного газа обычно очищается, охлаждается и возвращается в скруббер (рис. 6.11). Очистка обычно происходит в радиальных отстойниках.

Подпитка отстойника обычно составляет 0,1 – 0,35 $\text{м}^3/\text{т}$ жидкого чугуна в зависимости от качества сырьевых материалов/технических условий и наличия воды, что оказывает влияние на меры, принимаемые для оптимизации повторно используемой воды. В частности, для сырьевых материалов с высоким содержанием соли могут потребоваться значительно большие объемы промывных вод.

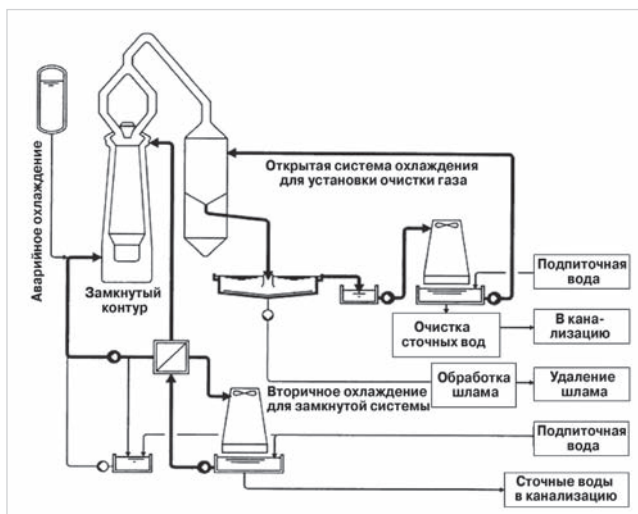


Рисунок 6.11: Схема управления водой в доменной печи. [200]

В табл. 6.11 приведены некоторые данные о составе сточных вод от мокрой очистки доменного газа перед очисткой [232], [233]

ТАБЛИЦА 6.11: СОСТАВ СТОЧНЫХ ВОД ОТ МОКРОЙ ОЧИСТКИ ГАЗА ПОСЛЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ [232], [233]

Параметр	Концентрация (мг/л)
CN-	0,1 - 50
Cl	73,6(1)
F	1,74 (1)
SO42-	42 (1)
NH4+	2,0 - 200
S	0 - 5
Fe	6,77 (1)
Mn	0,48 (1)
Zn	0,1 - 29,36
Pb	0,01 - 5
Na	19,19 (1)
Фенолы	0,1 - 5

(1) Средние значения

Примечание: данные исследования, проведенного в 1990 и 1992 гг. Шесть доменных печей (с объемом 837 – 1680 м³) производили от 280 до 400 кг шлака/т жидкого чугуна. Средняя основность шлака (CaO/SiO₂) составляла 0,9 – 1,1. Подача щелочей 1,4 – 4,8 кг/т жидкого чугуна.

Было продемонстрировано, что содержание цианидов возрастало в течение опускания шихты в доменной печи и в течение переходных периодов (останов, повторный пуск), что чаще было в конце кампании доменной печи. В этих условиях образование цианидов в доменной печи было связано с наличием щелочных металлов [232], [233].

Сточные воды от грануляции шлака

Подпитка воды от системы грануляции шлака зависит главным образом от наличия воды и находится в диапазоне от 0,125 до 10 м³/т производимого чугуна. Информация о концентрациях загрязняющих веществ и удельных выбросах для сточных вод от грануляции доменного шлака пресной водой представлена в табл. 6.12. Удельные выбросы основаны на потреблении пресной воды в количестве 7921113 м³ и выплавке чугуна 2221686 т, что соответствует удельному потреблению пресной воды 3,57 м³/т жидкого чугуна.

Продувка охлаждающей воды замкнутого контура

Имеет место продувка охлаждающей воды замкнутого контура (см. рис. 6.11). Информация о представительных количествах и химическом составе не имеется.

ТАБЛИЦА 6.12: КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И УДЕЛЬНЫЕ ВЫБРОСЫ ДЛЯ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ГРАНУЛЯЦИИ ДОМЕННОГО ШЛАКА

Параметр	Единица	Среднее	Медиана	Диапазон (минимум-максимум)	Стандартное отклонение	Удельные выбросы	Единица
Расход воды	мкг/л					3,57	м ³ /т чугуна
Pb	мкг/л	252	2,00	<2,00 – 6,40	1,10	7,13	мг/т чугуна
Cr	мкг/л	241	2,00	<2,00 – 6,90	1,08	7,13	мг/т чугуна
Cu	мкг/л	406	3,80	<2,00 – 9,50	2,05	13,55	мг/т чугуна
Zn	мкг/л	20,92	20,00	<20,00 – 38,00	3,62	71,31	мг/т чугуна
Cd	мкг/л	0,20	0,20	<0,20 – 0,23	0,01	0,71	мг/т чугуна
Ni	мкг/л	74	3,15	<2,00 – 10,00	1,98	11,23	мг/т чугуна
Fe	мкг/л	0,44	0,18	0,03 – 2,60	0,61	0,64	г/т чугуна
Cl	мкг/л	262,96	264,00	140 – 402	57,60	944,26	г/т чугуна
AOX	мкг/л	21,63	16,50	<10,00 – 66,0	13,18	58,83	г/т чугуна
SS	мкг/л	27,11	5,90	0,6 – 145,0	42,68	21,04	г/т чугуна
DOC	мг/л	4,70	4,00	3,10 – 8,70	1,46	14,26	г/т чугуна
TOC	мг/л	5,51	5,00	3,10 – 11,3	2,06	17,83	г/т чугуна
ХПК	мг/л	22,17	22,50	14,00 – 27,00	4,22	80,22	г/т чугуна
НС	мг/л	0,15	0,10	<0,10 – 0,25	0,05	0,36	г/т чугуна

Примечания:

SS – взвешенные твердые вещества

НС – углеводороды нефтепродуктов

AOX – адсорбируемые органические галогенопроизводные

DOC – содержание растворенного кислорода

TOC – общий органический углерод

- Данные основаны на медианном значении 24 измерений (для ХПК на шести измерениях)

- Данные от компании Stahlwerke, Бремен, Германия, измерения методом случайной выборки для состава сточных вод от грануляции шлака с марта 2000 по ноябрь 2006 г.

- Численные значения, указанные курсивом, указывают, что измеренные значения ниже предела определения, рассчитанного как предел детектирования.

6.2.2.3 Остатки производства, такие как отходы и побочные продукты

Пыль при разливке

От 0,6 до 5,1 кг пыли может выделяться на литейном дворе на тонну жидкого чугуна (см. табл. 6.2). Обычной практикой является сепарация этой пыли в рукавном фильтре с тем, чтобы ее можно было легко повторно использовать, например, на агломерационной ленте или путем возврата в доменную печь после холодного брикетирования (см. п. А2.5.4.4) или когда используется прямое дувание [344].

Пыль и шлам от очистки доменного газа

Доменный газ обычно очищается в две стадии: отделение крупных частиц, т.е. с помощью пылесборников или циклонов, с последующим отделением мелкодисперсной пыли в мокром электроfiltре или скруббере. При этом образуется от 3,5 до 18 кг сухой пыли/т жидкого чугуна и от 2 до 22 кг шламов/т жидкого чугуна (см. табл. 6.2).

В табл. 6.13 приведен типичный состав сухой крупной пыли. Эта пыль состоит главным образом из углерода и железа от истирания кокса и агломерата, соответственно. Крупная пыль обычно возвращается на агломерационную линию. Это намного труднее для шлама из-за того, что содержание цинка в нем больше в 10-20 раз, а содержание свинца в 20-30 раз выше.

ТАБЛИЦА 6.13: ТИПИЧНЫЙ СОСТАВ (ВЕС. %) СУХОЙ КРУПНОЙ ПЫЛИ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ ДОМЕННОГО ГАЗА [64], [95]

Параметр	Концентрация (вес.%)	Параметр	Концентрация (вес.%)
C	25 – 40	S	0,2 – 1,3
Fe	15 – 40	SiO ₂	4 – 8
Pb	0,02 – 0,7	P ₂ O ₅	0,04 – 0,26
Zn	0,1 – 0,5	CaO	2 – 8
Mn	0,1 – 0,5	MgO	0,3 – 2
Al ₂ O ₃	0,2 – 3,7	Na ₂ O	0,03 – 0,64
TiO ₂	0,02 – 0,2	K ₂ O	0,24 – 0,96

Соединения цинка и свинца удаляются главным образом из доменного газа на стадии мокрой очистки. Большая часть частиц, относящихся к соединениям цинка и свинца или к самим этим тяжелым металлам, имеет размеры зерен меньше чем 25 мкм, и они концентрируются в этой фракции шлама. Они могут отделяться от фракции, богатой черными металлами и углеродом, в гидроциклоне [344].

Состав шлама от очистки доменного газа приведен в табл. 6.14.

ТАБЛИЦА 6.14: ТИПИЧНЫЙ СОСТАВ (ВЕС. %) ШЛАМА ОТ ОЧИСТКИ ДОМЕННОГО ГАЗА [64], [95]

Параметр	Концентрация (вес.%)	Параметр	Концентрация (вес.%)
C	15 – 47	S	2,4 – 2,5
Fe	7 – 35	SiO ₂	3 – 9
Pb	0,8 – 2,0	P ₂ O ₅	0,1 – 0,44
Zn	1 – 10	CaO	3,5 – 18

Параметр	Концентрация (вес.%)	Параметр	Концентрация (вес.%)
Mn	0,12 – 0,14	MgO	3,5 – 17
Al ₂ O ₃	0,8 – 4,6	Na ₂ O	0,15 – 0,24
		K ₂ O	0,08 – 0,36

На рис. 6.12 показаны пути использования пыли и шлама от очистки доменного газа без различия их.

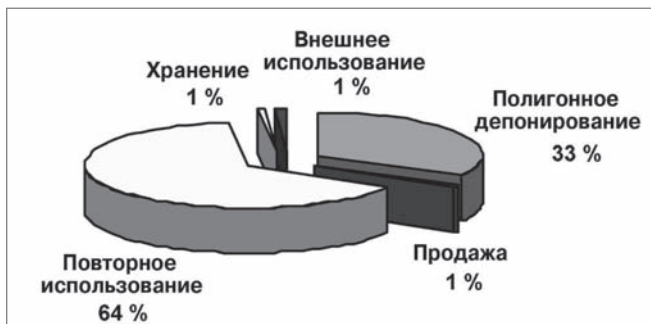


РИС. 6.12: СПОСОБЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЫЛИ И ШЛАМА ОТ ОЧИСТКИ ДОМЕННОГО ГАЗА В ЕС. [30]

Удельные количества шлака зависят главным образом от используемого сырья, но обычно они составляют от 175 до 350 кг/т жидкого чугуна. Состав различных видов доменного шлака приведен в табл. 6.15 [344]

Шлак используется для различных целей (см. рис. 6.13).

ТАБЛИЦА 6.15: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ДОМЕННОГО ШЛАКА (ВЕС.%) ДЛЯ ОСНОВНОСТИ НИЖЕ И ВЫШЕ 1,0 И ДРУГИЕ ПРИМЕРЫ [47], [270], [385], [392], [394]

Классификация CaO/SiO ₂	>1,0 средняя	<1,0 высокая	Доменная печь 1	Доменная печь 2	Доменная печь 3
Fe общее	0,2 – 0,6	0,4			
FeO			0,49	0,24	0,80
Mn общий	0,2 – 0,7	0,3			
MnO			0,48	0,66	1,00
TiO ₂	0,5 – 2,7	0,7		0,77	
Al ₂ O ₃	9,0 – 24,0	9,2	13,09	12,63	10,90
Собщая главным образом CaS	0,8 – 2,0	1,6		1,12	1,15
SiO ₂	33,2 – 37,0	38,4	32,88	36,78	36,90
CaO	38,1 – 41,7	35,6	33,76	36,64	35,80
MgO	7,0 – 11,0	18,0	15,96	11,19	10,70
Na ₂ O	0,3 – 0,6	0,5		0,35	0,35
K ₂ O	0,6 – 0,8	0,8		0,54	0,40
CaO/SiO ₂	1,1 – 1,2	0,9			
(CaO+MgO)/SiO ₂	1,3 – 1,5	1,3			
TiO ₂			2,05		

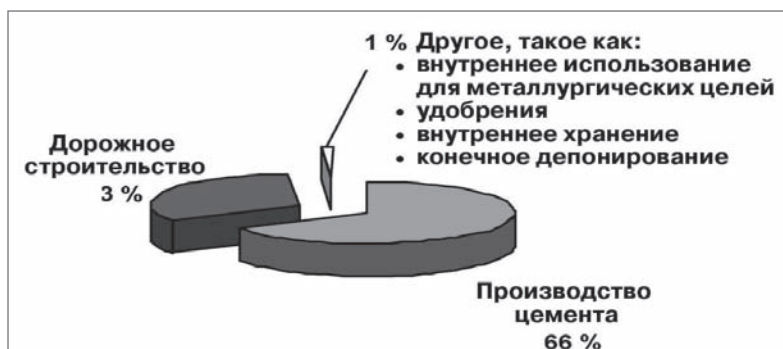


Рисунок 6.13: Конечное использование доменного шлака в ЕС [174]

6.2.2.4 Потребность в энергии и восстанавливающих агентах

Основным параметром для определения потребления энергии является использование восстанавливающих агентов (например, кокса, угля, нефтепродуктов), которое определяет также выбросы от доменного процесса в значительной степени. Подача восстанавливающих агентов находится под влиянием некоторых рабочих параметров, таких как температура горячего дутья, количество и качество агломерата и окатышей, качество кокса (содержание золы, серы, значение CSR – горячая прочность кокса [реакционная способность кокса]), поступление щелочей, количество шлака, ильменита, Pb/Zn и Si. Так, средняя потребность в восстанавливающем агенте в различных странах ЕС в 2002 г. демонстрировала широкое разнообразие – с 453 до 514 кг/т жидкого чугуна, при средней потребности в странах ЕС-15 486 кг/т жидкого чугуна.

С специальным доменным процессе, когда перерабатывается железо, которое содержит материалы отходов, которые перерабатываются на агломерационной ленте, с производством литейного чугуна, потребление восстанавливающих агентов значительно выше, чем в обычной доменной печи вследствие более высокого поступления шихтовых материалов, оказывающих влияние, как было упомянуто выше (см. п. 2.5.4.4).

Доменный процесс является процессом со значительным потреблением энергии, и, таким образом, со значительными выбросами CO₂ (вследствие высокой доли потребления восстанавливающих агентов), самыми высокими в черной металлургии (см. рис. 2.1 и 2.2). В табл. 6.16 приведен пример потребления/производства энергии в доменной печи с повышенным давлением на колошнике, с использованием вдувания угля и с утилизацией высокого давления колошникового газа в 1986 г. для производства электроэнергии без учета энергосодержания расплавленного чугуна.

ТАБЛИЦА 6.16: ПРИМЕР ПОТРЕБЛЕНИЯ/ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ С ПОВЫШЕННЫМ ДАВЛЕНИЕМ НА КОЛОШНИКЕ, С ВДУВАНИЕМ УГЛЯ И УТИЛИЗАЦИЕЙ ДАВЛЕНИЯ КОЛОШНИКОВОГО ГАЗА В 1986 Г. [65]

	Энергоноситель	Удельная энергия (ГДж/т чугуна)
Потребление	Кокс	12,4
	Угольная пыль	1,63
	Горячее дутье (от кауперов)	4,52
	Электроэнергия	0,12
	Итого (валовое значение)	18,67
Производство	Электроэнергия	0,35
	Доменный газ	5,15

Многие заводы с соответствующим давлением на колошнике ($>1,5$ бар) и достаточным падением давления являются подходящими для установки дросселирующих турбин для утилизации энергии давления колошниково-го газа.

Тенденция непосредственного вдувания восстанавливающего агента будет, вероятно, приводить к дальнейшему снижению удельного потребления кокса, что, следовательно, будет способствовать экономии энергии при производстве кокса. В большинстве доменных печей вдувание восстанавливающих агентов происходит на уровне фурм. При этом частично замещается кокс в колошниковом слое загружаемой шихты. Это дает возможность оператору оптимизировать использование восстанавливающих агентов. Другими преимуществами являются уменьшенное производство кокса, тем самым, снижение удельных выбросов от коксовых печей на тонну выплавляемой стали. На многих заводах вдувают угольную пыль или гранулированный уголь, либо нефтепродукты. Некоторые операторы доменных печей в настоящее время вдувают коксовый или природный газ. Две компании вдувают отходы пластмасс в свои печи для использования материалов с высоким содержанием углеводородов для восстановительных процессов в течение нескольких лет [145], и, по крайней мере, в ЕС с 2001 г. внедрена одна такая установка. При возможности, получают внимание другие материалы, которые классифицируются как *есо-oil* (см. сноску 51), утилизированные или отработанные масла, жиры, смола, животные жиры и эмульсии [344].

6.2.2.5 Шумовое загрязнение

Шумовое загрязнение может происходить от фурм доменных печей, в особенности когда они не установлены соосно [242].

6.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ

6.3.1 Пылеудаление с литейного двора (летка, выпускные желоба, ложки для скачивания шлака, места загрузки миксеровозов)

В этом разделе описаны технологии (или их сочетания) и соответствующий мониторинг, которые считаются имеющими потенциал для достижения высокого уровня защиты окружающей среды в деятельности, охватываемой этим документом.

Он охватывает технологии, интегрированные в технологический процесс, и технологии очистки в конце производственного цикла. Рассмотрены также вопросы предотвращения образования отходов и управления ими, включая минимизацию образования отходов и процедуры рециклинга. Кроме того, охвачены также технологии для снижения потребления сырьевых материалов, воды и энергии.

В Приложении III к Директиве перечислен ряд критериев для определения БАТ (НДТ), и информация в этой главе относится к данным соображениям. Насколько возможно, как показано в табл. 6.17, используется стандартная структура для отражения информации, собранной для каждой технологии, что дает возможность сравнения технологий и оценки в отношении определения БАТ, приведенного в Директиве.

Этот раздел необязательно дает исчерпывающий перечень технологий, которые могут применяться в секторе, и могут иметься или могут быть разработаны другие технологии, которые можно рассматривать при определении НДТ для индивидуальной установки.

ТАБЛИЦА 6.17: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КАЖДОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ОПИСАННОЙ В ЭТОМ РАЗДЕЛЕ

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Описание	Краткое техническое описание с использованием, при возможности, рисунков, диаграмм и технологических схем
Достигаемые экологические выгоды	Основные потенциальные экологические выгоды, достигаемые с помощью внедрения технологии (включая экономию энергии, воды, сырьевых материалов, а также рост производительности, эффективности использования энергии и т.д.)
Воздействия между средами	Потенциальные побочные воздействия на окружающую среду и ущерб для других сред вследствие внедрения технологии, включая подробности воздействий этой технологии на окружающую среду, по сравнению с другими технологиями (преимущества и недостатки, поддерживаемые данными, если таковые имеются), для того чтобы оценить воздействие технологии на окружающую среду в целом. Это может включать такие аспекты как: • потребление сырьевых материалов и воды • потребление энергии и вклад в изменение климата • потенциал разрушения стратосферного озона • потенциал создания фотохимического озона • подкисление в результате выбросов в воздух • твердые частицы в окружающей среде (включая микрочастицы и металлы) • эвтрофикация земли и водных объектов в результате выбросов в воздух или сбросов в воду • потенциал истощения кислорода в водных объектах • стойкие/токсичные/биоаккумулирующиеся компоненты в водных объектах или в почве (включая металлы) • образование или уменьшение (отходов) остатков • возможность повторного использования или рециклинга (отходов) остатков • шум и (или) запах • риск аварий

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Эксплуатационные данные	Реальные эксплуатационные данные (включая сравнительные условия, периоды мониторинга и методы мониторинга) об уровнях выбросов, потребления (сырьевых материалов, воды, энергии) и количеств образующихся отходов. Любая другая полезная информация о работе, обслуживании и контроле технологии
Применимость	Указание о типе установок или процессов, в которых технология может или не может применяться, а также ограничения для внедрения в некоторых случаях, с учетом, например, возраста установки (новая или существующая), факторов, связанных с модернизацией (например, наличие места), размера установки (большая или небольшая), технологии, уже используемой, и типа или качества продукта
Экономика	Информация о затратах (инвестиции и эксплуатация) и любой возможной экономии (например, снижение потребления сырьевых материалов или энергии, платежей за размещение отходов) или доходах, включая подробности о том, каким образом они были рассчитаны/оценены. Должна быть включена экономическая информация, важная для строительства новых или модернизации существующих установок. Это должно дать возможность идентификации, когда возможно, общего экономического воздействия технологии
Движущие силы для внедрения	Конкретные местные условия, требования (например, законодательство, меры безопасности) или не экологические факторы (например, рост производительности, повышение качества продукции), которые являются движущей силой или стимулируют внедрение технологии
Пример установок	Ссылка на установку (установки), на которых внедрена технология и о которых была собрана информация и использована при написании раздела. Указание о степени использования технологии в Европе или мире
Справочная литература	Литература или другой справочный материал (например, книги, отчеты, исследования, веб-сайты), которые были использованы при написании раздела и в которых содержится более подробная информация о технологии

Расплавленный чугун и шлак разливаются из доменной печи и стекают по желобам в ковш и на установку для переработки шлака, соответственно. В течение выпуска плавки/разливки жидкий чугун вступает в контакт с атмосферным кислородом, когда он течет по желобам. В результате высокой температуры чугуна (1300 – 1500°C) он реагирует с кислородом с образованием оксидов железа (например, Fe_2O_3) и с появлением “бурого дыма”. Шлак не реагирует с атмосферным кислородом, поскольку большинство его компонентов уже окислено. Однако оксиды щелочных металлов (например, Na_2O и K_2O) могут испаряться из шлака с появлением выбросов твердых частиц.

Первые измерения дымовых газов при обеспыливании на литейном дворе указывают на выбросы пыли без применения мер подавления, находящиеся в диапазоне от 100 до 400 мг/нм³ (единичные измерения).

Обычно применяется два типа мер для снижения выбросов пыли при разливке:

- покрытие желобов мобильными крышками
- рассеивание кислорода при разливке жидкого чугуна с помощью покрывающего слоя из азота. Таким образом, предотвращается образование оксидов железа (см. п. 6.3.2).

Достигаемые экологические выгоды

В течение разливки образуется приблизительно 400 – 1500 г пыли на тонну выплавляемого чугуна, когда не применяются меры улавливания пыли. Удаление воздуха из зоны расположения желобов по существу приводит к большему образованию пыли, вследствие возрастания имеющегося кислорода.

В случаях, когда желоба покрыты крышками и пыль удаляется и очищается, самым важным параметром является эффективность удаления. Особое внимание следует уделять покрытию желобов. Покрытия желобов должны быть плотно соединены с целью создания системы без утечек. В районе летки трудно обеспечить эффективность удаления образующейся пыли вследствие необходимости площади для операций для вскрытия летки буром и пушки для заделки летки и вследствие наличия кольцевого воздухопровода, который обслуживает фурмы и окружает доменную печь на высоте заплечиков. Обычно необходим очень большой поток для удаления пыли, образующейся вблизи летки.

Основными пунктами удаления пыли на литейном дворе являются:

- летка
- скиммерное устройство
- наклонный желоб (загрузка в миксерный ковш).

Удельный расход удаляемого газа (отходящего газа) составляет 1200 – 3300 нм³/т жидкого чугуна. При наличии эффективной системы сбора и удаления пыли (например, рукавного фильтра) удельные выбросы пыли будут меньше чем 10 г/т жидкого чугуна [65]. Эффективность удаления пыли может превышать 99%, а эффективность очистки от пыли с помощью рукавных фильтров также может превышать 99% [65].

На доменной печи А компании Voestalpine в г. Линц, Австрия (выплавка около 3,5 млн. т чугуна/год), система обеспыливания литейного двора имеет рукавные фильтры, очищающие 700000 м³/час газов. Выбросы пыли измеряются непрерывно. Среднее ежегодное значение составляло 110 мг/нм³ (2004 г.) после замены футеровки доменной печи и установки системы обеспыливания на литейном дворе, что произошло в конце 2004 г. Недавно среднесуточные значения выбросов находились в диапазоне от 3 до 10 мг/нм³.

На литейном дворе доменной печи компании Voestalpine система обеспыливания с рукавными фильтрами, очищающая 355000 м³/ч была установлена для доменных печей 5 и 6 в конце 2005 г. Выбросы пыли измеряются непрерывно. Недавние значения выбросов пыли на основе ежесуточных средних значений составили около 1 мг/нм³ (см. п. 2.5.5).

В Германии достигнутые значения выбросов пыли с применением рукавных фильтров составили 0,3 – 1 мг/нм³ (среднегодовые значения) и 0,38 – 0,49 мг/нм³ (среднесуточные значения). Значения концентрации пыли в выбросах с литейного двора представлены в табл. 6.18.

ТАБЛИЦА 6.18: КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫБРОСОВ С ЛИТЕЙНОГО ДВОРА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ И ОБЕСПЫЛИВАНИЕ ШИХТЫ [244]

Параметр	Электрофильтр	Рукавный фильтр
Пыль	10,4	0,3 – 1 0,38 – 0,49(1)
Hg		<0,0001
Hg, Tl		<0,0005
Cd, Tl	0,00004	<0,0018
As, Co, Ni, Se, Te	0,003	
As, Co, Ni		<0,003
Pb, Co, Ni, Se, Te		<0,5
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,0014	
Pb, Cr, Mn		0,00434
Sb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Sn	<1	

(1) Средние суточные

Примечание: данные после очистки газов на литейном дворе с обеспыливанием шихты, средние годовые значения в мг/нм³.

На рис. 6.14 показаны ежесуточные средние выбросы в течение трех месяцев с литейного двора от трех доменных печей.

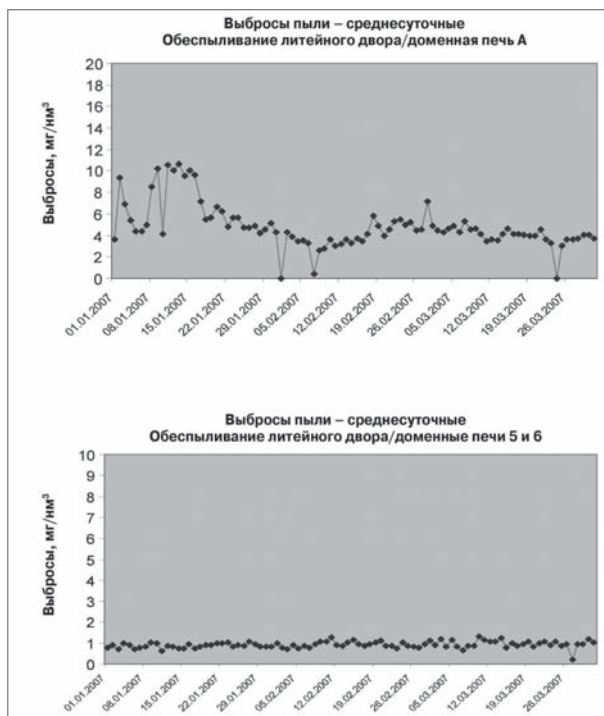


Рисунок 6.14: Среднесуточные значения выбросов для систем обеспыливания в литейном дворе в летках и выпускных желобах доменных печей компании Voestalpine в г. Линц, Австрия [277]

Взаимодействия между средами

Применение удаления и очистки газов требует дополнительной энергии для питания мощных вентиляторов. Из данных работы [65] можно рассчитать потребление электроэнергии, составляющее приблизительно 0,007 ГДж/т чугуна, на основе ежегодной выплавки чугуна в 3 млн. т на доменной печи №7 при 8640 рабочих часах.

В улавливаемой пыли имеется высокое содержание железа, и ее можно повторно использовать на агломерационной ленте или возвратить в доменную печь после холодного брикетирования (см. п. A2.5.4.4) или при возможности вдувать непосредственно на уровне фурмы [344].

Эксплуатационные данные

Описанная технология работает без значительных проблем.

Применимость

Покрытие желобов и последующее удаление запыленного воздуха и его очистка могут быть применены на новых и старых заводах.

Экономика

Инвестиции компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, в систему с рукавными фильтрами для очистки 690000 нм³/ч находились в диапазоне 1 – 2,3 млн. евро. Сюда включено только оборудование с рукавными фильтрами. Эта сумма не охватывает вложения в схему покрытия и удаления.

Рассчитанные эксплуатационные затраты составили 0,5 – 2,8 евро/т жидкого чугуна, на основе ежегодной выплавки 3 млн. т чугуна в год на доменной печи 3? И при 8640 рабочих часах в год [65].

Капитальные затраты для системы обеспыливания литейного двора на доменной печи А компании Voestalpine в г. Линц, Австрия, при номинальной производительности 3 млн. т чугуна в год составили приблизительно 14,5 млн. евро в год. Эксплуатационные затраты (без учета потребления энергии) составили около 0,42 млн. евро в год.

На заводе компании Corus в г. Скандторп, Соединенное Королевство, капитальные затраты на систему обеспыливания литейного двора для доменной печи с номинальной производительностью 1 млн. чугуна в год составили в 1997 г. примерно 4 млн. евро.

Данные не передавались о мотивации для внедрения.

Пример установок

Удаление и очистка газов.

Доменная печь № 7 компании Corus в г. Эймейден, Нидерланды; доменные печи №№ 5, 6 и А компании Voestalpine в г. Линц, Австрия; доменная печь компании Thyssen Krupp Stahl в г. Дуйсбург, Германия; доменная печь компании ArcelorMittal в г. Домброва Гурнича, Польша; доменные печи компаний SSAB, Швеция и Rivagroup, Италия.

Справочная литература: [65], [353], [241], [244], [277]

6.3.2 Подавление образования дыма при заливке жидкого чугуна

В разделе 6.3.1 были описаны обычные системы обеспыливания выбросов с литейного двора. Эти системы являются довольно сложными и дорогими. Новые подходы предотвращают образование “бурого дыма” при реагировании расплавленного чугуна с атмосферным кислородом (подавление образования дыма). Для предотвращения реакции весь маршрут транспортирования расплавленного чугуна от летки через различные распределительные и перегрузочные пункты до миксерного ковша закрывается с помощью тщательно спроектированных систем укрытия. Пространство между расплавленным чугуном и укрытиями должно быть как можно меньше, и в случае необходимости, должно заполняться азотом (инертным газом). На металлургических заводах с полным циклом для этой цели азот производится на блоках разделения воздуха при производстве кислорода.

Этот метод позволяет избавиться от установки и эксплуатации сложных и дорогих систем удаления и фильтрации, которые были необходимы ранее, и, таким образом, приводит к значительной экономии затрат. Снижаются также затраты для повторного использования пыли от фильтров. Этот метод работает особенно хорошо, когда объемы, укрываемые в районе летки и миксерным ковшом относительно небольшие. В этих условиях можно сконструировать кожухи закрытого типа ограниченного объема, облегчающие применение технологии. Однако была выявлена необходимость в системе отсоса в районе летки и в случае разлива в миксерный ковш большого объема, например, когда используется разливка с качающимся желобом (в противоположность сливному желобу затопленного типа), и тогда эффективность системы подавления с азотом не является достаточной, и приходится переходить к классической приточно-вытяжной системе. Можно использовать общий фильтр для системы вытяжки как для летки, так и заливки в ковш.

На рис. 6.15 приведены характеристики образования пыли с использованием азота при разливке чугуна и без азота (на уровне миксерного ковша) в зависимости от расхода расплавленного чугуна. Данные свидетельствуют о том, что при использовании азота для нейтрализации образование пыли снижается в 100 раз.

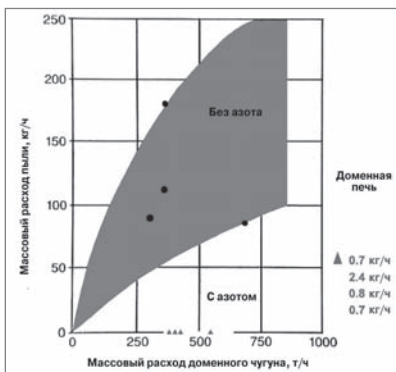


Рисунок 6.15: Образование пыли при заливке чугуна в сигарообразный миксерный ковш с продувкой инертным газом (азотом) или без продувки в зависимости от расхода жидкого чугуна [52]

Достигаемые экологические выгоды

В течение обычной разливки образуется 0,4 – 1 кг/т чугуна (см. табл. 6.10). Это количество снижается за счет подавления образования пыли до приблизительно 0,012 кг/т чугуна [56]. На рис. 6.16 показана разливка расплавленного чугуна в миксерный ковш с подавлением образования пыли с помощью инертного газа.



Рисунок 6.16: Заливка чугуна в ковш сигарообразной формы с подавлением образования пыли за счет продувки инертным газом [52]

125

Взаимодействия между средами

Не имеется значительных взаимодействий между средами, если система сопоставима с обычными системами обеспыливания. При использовании больших количеств азота следует обеспечить, чтобы азот не накапливался на литейном дворе вследствие опасности удушья.

Эксплуатационные данные

Опыт работы с системой подавления образования дыма в компании ArcelorMittal в г. Бремен, Германия, продемонстрировал, что при эксплуатации системы не возникает значительных проблем. Однако вследствие изменений в летке и в месте заливки в миксерный ковш в недавней облицовке доменных печей к системе подавления образования дыма была добавлена обычная приточно-вытяжная система.

Применимость

Применимо как на новых, так и на существующих заводах, хотя эффективность системы ограничена, если подавляемые объемы большие.

Экономика

Сравнение затрат приведено на рис. 6.17. Новый способ подавления образования дыма значительно дешевле. Установка компании ArcelorMittal в г. Бремен, Германия, с производительностью по чугуну 3 млн. т/год требует инвестиций в количестве 6,8 млн. евро, включая подавление образования пыли и обеспыливание летки с последующим рукавным фильтром.



Рисунок 6.17: Сравнение капитальных затрат, затрат на энергию и обслуживание для системы подавления образования дыма на заводе компании ArcelorMittal в г. Бремен, Германия

Затраты на энергию составляют 190000 евро/год, а на обслуживание 170000 евро/год. Это намного меньше, чем для обычной системы. Затраты на азот, однако, изменяются в зависимости от местных условий.

Данные не приведены о мотивации для внедрения.

Пример установки

Компания ArcelorMittal в г. Бремен, Германия, эксплуатирует свою систему подавления образования пыли с 1991 г.

Справочная литература: [50], [52], [353]

6.3.3 Использование футеровки желоба без смолы

Система канав на литейном дворе доменной печи выполняется из наружного огнеупорного слоя (например, бетонного). Канавы футеруются теплостойким материалом, основой которого является глинозем, заделанный в углеродной матрице. В качестве связующего может использоваться каменноугольная смола.

Футеровка защищает наружный слой от теплового воздействия жидкого чугуна и (в особенности) жидкого шлака. Футеровка подвергается износу и обновляется через каждые несколько недель. Качество углеродной матрицы является важным фактором срока службы футеровки желоба. Слабая матрица не будет держать глинозем, и поэтому футеровка будет изнашиваться быстрее.

Требуемая прочность матрицы достигается только после нагрева в течение нескольких часов с использованием горелок. При разложении смолы в течение нагрева происходит рост выбросов углеводородов (и РАН). Меньшая часть выбросов происходит в течение разливки шлака и жидкого чугуна.

Был разработан новый тип футеровки желоба, в которой не содержится смола, и он был успешно применен. С новой футеровкой желоба выбросы летучих органических соединений (ЛОС) и полициклических ароматических углеводородов (РАН) стали намного ниже. Новый обладал той же самой шлакоустойчивостью,

а прочность может быть даже выше, чем для традиционной футеровки желоба.

Достижимые экологические выгоды

В табл. 6.19 приведены данные о снижении выбросов в результате использования футеровки желоба без смолы. Данные о выбросах основаны на теоретической модели.

ТАБЛИЦА 6.19: ВЫБРОСЫ ОТ ФУТЕРОВКИ ЖЕЛОБА БЕЗ СМОЛЫ [65], [351]

Компонент	Традиционная футеровка желоба (г/т чугуна)	Футеровка желоба без смолы (г/т чугуна)	Снижение выбросов
Летучие органические соединения (ЛОС)	100	1	99%
Полициклические ароматические углеводороды (РАН)	3,5	0,03	99%

Взаимодействия между средами

Применение этой меры оказывает положительное воздействие на здоровье рабочих, поскольку они в меньшей степени подвержены воздействию вредных компонентов. Не известно о других взаимодействиях между средами.

Эксплуатационные данные

На заводе компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, футеровка желоба без смолы в настоящее время применяется без проблем, и позволила даже повысить срок службы желоба.

Применимость

В принципе, футеровка желоба без смолы применима как для новых, так и для существующих доменных печей.

Данные не приведены о экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

Многие операторы доменных печей в ЕС используют футеровку желобов без смолы.

Справочная литература: [65]

6.3.4 Очистка доменного газа

Доменный газ должен чиститься для удовлетворения требований газовых сетей. При покидании доменной печи доменный газ (или “колошниковый газ”) содержит пыль, цианиды (HCN), аммиак (NH₃) и соединения серы (см. табл. 6.7 и табл. 6.8).

Доменный газ обычно очищается в три стадии: предварительная грубая очистка; охлаждение, которое является частью операции очистки, и конечная очистка.

В ходе предварительной очистки удаляются крупные частицы, что облегчает последующую глубокую очистку и позволяет добавлять железосодержащую пыль снова в шихту доменной печи или направлять на установку агломерации (см. табл. 6.13).

Грубая очистка производится с использованием дефлекторов, сухого циклонирования или пылеуловителей. Скорость газа снижается по мере того как он

опускается через газоход, и частицы пыли осаждаются в нижней части пылеуловителя под влиянием силы тяжести. Затем газ покидает пылеуловитель и проходит через трубопровод в оборудование для глубокой очистки.

На второй стадии пыль, включая оксид цинка (ZnO) и углерод (C), цианиды и аммиака, удаляются с помощью мокрой очистки. Скрубберы специально проектируются насадочного типа, Вентури или скрубберы с кольцевым зазором. В некоторых случаях применяются мокрые электрофилтры.

На современных установках особое внимание уделяется падению давления через систему очистки, поскольку высокое падение давления оказывает негативное воздействие на энергоэффективность газоутилизационной бескомпрессорной турбины (см. п. 6.3.13). Поэтому цель состоит в конструировании систем очистки газа с низким падением давления и с высокой эффективностью очистки газа.

Достижимые экологические выгоды

Системы очистки доменного газа обычно бывают высокоэффективными, достигая остаточной концентрации пыли $1 - 10 \text{ мг/нм}^3$. Пыль, которая не улавливается системой газоочистки, выбрасывается или сжигается на участке сжигания доменного газа.

Падение давления в системе очистки газа зависит от типа используемого оборудования. Сообщается о падении давления двух современных систем в диапазоне от 0,07 до 0,14 бар. Падение давления в старых системах находится в диапазоне от 0,15 до 0,5 бар.

Взаимодействия между средами

Следует отметить, что в скрубберах образуется поток загрязненных сточных вод. Валовое потребление воды в системах доменной печи составляет $0,1 - 3,5 \text{ м}^3/\text{т}$ чугуна. Сырьевые материалы с повышенным содержанием солей могут привести к необходимости большего расхода воды для очистки доменного газа. В образующихся сточных водах имеются взвешенные твердые взвешенные частицы, например, углерода и тяжелых металлов (Zn , Pb), соединения цианидов и аммиак. Обычно сточные воды очищаются с помощью осаждения тяжелых металлов и с образованием твердых отходов (шлама).

В этом шламе доменной печи содержатся относительно высокие концентрации цинка и свинца (см. табл. 6.14). Это замедляет рециклинг шлама в производственном процессе. Цинк, в частности, является «ядом» для доменной печи. Поэтому на некоторых установках применяются гидроциклоны для разделения потока шлама на два потока; один с низким содержанием цинка, который можно вернуть на агломерационную установку, и второй с высоким содержанием цинка, который можно хранить или депонировать (см. п. 6.3.7).

Не приводились эксплуатационные данные, о экономике и мотивации для внедрения.

Применимость

В доменных печах всего мира применяются системы очистки доменного газа. На новых установках может применяться современная система с низким падением давлением и низким потреблением воды и энергии. На многих старых до-

менных печах оснащены “устарелыми” скрубберами. Эти скрубберы могут позволить достичь требований газовых сетей, но потребляют значительные количества воды и энергии и имеют относительно большое падение давления, но это следует рассматривать в сочетании с применением газоутилизационных бескомпрессорных турбин (см. п 6.3.13), работа которых зависит от рабочего давления в печи, среди других факторов.

Пример установок

Очистка доменного газа широко применяется на доменных печах всего мира. Справочная литература: [65], [105], [241], [244], [352]

6.3.5 Система утилизации газа при загрузке доменной печи

Шихта доменной печи (кокс и железосодержащие материалы) поступает в доменную печь в районе колошника (см. п. 6.1.2) через герметичную систему загрузки, которая изолирует печные газы от атмосферы. Необходимо использовать такую систему, поскольку давление в доменной печи имеет давление выше атмосферного (0,25 – 2,5 бар). Система загрузка может быть в виде двухконусного засыпного аппарата, или наиболее распространенной в современных доменных печах бесконусной системой (такой как те, которые поставляет компания Paul Wurth, см. рис. 6.18).



Рисунок 6.18: Схема бесконусного загрузочного устройства с клапанами выравнивания давления, выхлопным клапаном и с системой утилизации газа [90]

Заполнение засыпного аппарата делается при атмосферном давлении. Для загрузки доменной печи давление газа в засыпном аппарате должно согласовываться с давлением газа в доменной печи. Имеются различные средства для достижения этого повышенного давления; самым распространенным способом является использование полу очищенного доменного газа, поступающего из газовой системы доменной печи после удаления крупной пыли, и направление его в накопитель через первый выравнивающий клапан. Небольшие потери давления уравниваются с помощью второго выравнивающего клапана с азотом.

На некоторых установках засыпной аппарат очищается и в нем поддерживается высокое давление с подачей азота.

Как только засыпной аппарат выгружает свое содержимое в доменную печь, он изолируется от печи, и давление уравнивается с атмосферным давлением с помощью сброса газа через глушитель шума в воздух. В зависимости от размера доменной печи, имеется возможность сброса от 40 до 80 м³ грязного доменного газа за загрузку.

Сброс доменного газа в атмосферу в течение уравнивания давления в засыпном аппарате можно предотвратить с помощью системы утилизации газа, в которой газы перенаправляются через клапан утилизации газа в трубопровод чистого газа после скруббера. Пример показан на рис. 6.19.

Альтернативная система для работы доменной печи при нормальном давлении состоит в поддержании давления в бункере засыпного аппарата с помощью газа, например, азота или пара, которая во время написания этого справочного документа (2010 г.) была установлена на доменных печах № 5 и 6 компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия. Достигаемые экологические выгоды почти те же самые, что и для системы утилизации газа с бункером засыпного аппарата.



Рисунок 6.19: Схема бесконусного загрузочного устройства с клапанами выравнивания давления, выхлопными клапанами и системой утилизации газа [90]

Достигаемые экологические выгоды

Уменьшение выбросов колошникового газа (СО и Н₂) и пыли при загрузке зависит от таких факторов как объем загрузочного устройства, число опускающих загрузочного устройства в сутки и давление газа на колошнике. Условия для доменной печи А компании Voestalpine в г. Линц, Австрия, приведены в табл. 6.20.

ТАБЛИЦА 6.20: УСЛОВИЯ ДЛЯ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ А КОМПАНИИ VOESTALPINE GMBH, ЛИНЦ, АВСТРИЯ

Параметр	Единицы	Значение
Производительность	т/сутки	7500
Эквивалент расплавленного чугуна	т/загрузку	49,34
Число загрузок	Штук/сутки	152
Число выгрузок	Штук/сутки	304
Объем загрузочного устройства	мЗ	55
Давление под колошником (абс.)	кПа	336
Температура под колошником	о К	336
Базовая температура	о К	273
Работоспособность	Дней в год	355
Выбросы колошникового газа	нмЗ/опускание конуса	134
	нмЗ/сутки	40611
	нмЗ/год	4416757
СО в колошниковом газе	%	23,53
Выбросы СО	нмЗ/год	3392263

Должно быть время, когда работа доменной печи приостанавливается, например, для обслуживания, когда невозможно предотвратить некоторые расcеянные выбросы из колошника доменной печи. Однако применение этой системы на доменной печи А компании Voestalpine в г. Линц, Австрия, привело к снижению выбросов колошникового газа на 70 – 95%.

Взаимодействие между средами

Не известно о наличии таких воздействий.

Эксплуатационные данные

Данные, приведенные в табл. 6.21, показывают воздействие применения этой системы в доменной печи А компании Voestalpine в г. Линц, Австрия. Эксплуатационные затраты для этой системы примерно 0,01 евро/т чугуна, включая затраты на обслуживание. Поэтому для данной печи затраты составляют приблизительно 26600 евро в год.

ТАБЛИЦА 6.21: СНИЖЕНИЕ НЕОРГАНИЗОВАННЫХ ВЫБРОСОВ ЧЕРЕЗ КОЛОШНИК С СИСТЕМОЙ УТИЛИЗАЦИИ ГАЗА КОМПАНИИ VOESTALPINE STANL GMBH, ДОМЕННОЯ ПЕЧЬ А, Г. ЛИНЦ, АВСТРИЯ

Компоненты	Общее снижение выбросов	Удельное снижение выбросов
Пыль с доменной печи, всего	6,18 т/год	1,73 г/т чугуна
PM10 (50%)	3,09 т/год	0,86 г/т чугуна
СО	3262 т/год	911 г/т чугуна
Pb	16,0 кг/год	4,5 мг/т чугуна
Cr	1,09 кг/год	0,30 мг/т чугуна
Hg	0,0105 кг/год	0,029 мг/т чугуна
Ni	0,22 кг/год	0,06 мг/т чугуна
Cd	0,314 кг/год	0,088 мг/т чугуна
V	1,36 кг/год	0,38 мг/т чугуна
Zn	1,34 кг/год	0,40 мг/т чугуна
HF	1,39 кг/год	0,39 мг/т чугуна
HCl	0,026 т/год	0,007 г/т чугуна

Применимость

Применимо как для новых, так и для существующих систем утилизации при условии, что печь имеет бесконусную систему загрузки. Это не годится для устройств с газами, иными, чем доменный газ (например, азот), которые используются для поддержания давления в бункере засыпного аппарата. Однако капитальные затраты будут минимальными, когда будет проведена полная модернизация загрузочного устройства или когда впервые будет установлено бесконусное загрузочное устройство.

Экономика

Инвестиционные затраты составили 1,2 млн. евро в 2004 г. для доменной печи компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия, с производительностью 2,75 млн. т чугуна/год. Эксплуатационные затраты, включающие затраты на обслуживание, составляют около 0,01 евро/т чугуна. С точки зрения выбросов пыли в течение десятилетнего периода эти инвестиции позволили предотвратить выбросы 62 т пыли. С другой стороны, появится возможность вернуть капитал от экономии на выбросах CO и H₂. Полагают, что эта экономия составляет приблизительно 151000 евро/год.

Мотивация для внедрения

В принципе, движущей силой для применения этой технологии является снижение неорганизованных выбросов пыли. Может быть также экономия энергии, связанная с использованием утилизированных CO и H₂ в воздухонагревателях доменной печи, например.

Пример установок

Бесконусная система с системами первичного и вторичного уравнивания и без систем утилизации газа применяется почти на всех доменных печах Европы. Только одним известным примером применения системы утилизации газа является доменная печь А компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия.

Справочная литература: [80], [277]

6.3.6 Очистка и повторное использование скрубберной воды

Доменный газ обычно очищается в специально спроектированных скрубберах насадочного типа, Вентури или с кольцевым зазором (см. также п. 6.3.4). При этом образуется поток загрязненной воды, в котором содержатся взвешенные твердые вещества (1 – 10 кг/т чугуна), тяжелые металлы, цианиды и фенолы. Можно принять меры для минимизации сбросов в воду и для минимизации потребления воды.

Необходима очистка доменного газа от загрязняющих веществ приблизительно до концентрации 0,3 – 4,01 воды/нм³. Эти показатели соответствуют валовому потреблению воды в количестве 0,4 – 8 м³/т чугуна. Большая часть этой воды может быть очищена и повторно использована.

Очистка обычно проводится в радиальном отстойнике. Седиментационные свойства шлама обычно улучшаются с помощью дозирования флокулянтов (анионные полиэлектролиты, смешанные полимеры или активные кремнекис-

лоты) или с помощью установок для контактного фильтрования шламов. Следует уделять внимание величине рН и жесткости воды.

Эксплуатационные данные для семи установок контактного фильтрования шламов для очистки скрубберной воды можно увидеть в табл. 6.22.

ТАБЛИЦА 6.22: ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ ОТ СЕМИ УСТАНОВОК КОНТАКТНОГО ФИЛЬТРОВАНИЯ В ГЕРМАНИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ СКРУББЕРНОЙ ВОДЫ [136]

№ установки	Расход доменного газа	Расход воды	Содержание твердых взвешенных веществ (мг/л)		Тип флокуляции	Дозирование агента (мг/л)	Содержание воды в шламе (%)	Потребление электроэнергии (кВт-ч/1000 м3)
			До очистки	После очистки				
	(103 м3/ч)	(м3/ч)						
1	50	225 - 375	1000-3000	10 - 50	Активная кремнекислота	5 - 10	60 - 85	40
2	250	1500	500	50	Смешанный полимер	0,4	85 - 90	10
3	55	500	300 - 600	20	Активная кремнекислота	6	75 - 85	17,8
4	550	50	100 - 300	20 - 30	Активная кремнекислота	-	85 - 95	-
5	225	1100	260	10	Анионный полиэлектролит	0,13	63	8
6	320	1400	430	13	Анионный полиэлектролит	0,13	60	27,5
7	125	800	150	20	Смешанный полимер	10	60	21,5

В зависимости от эксплуатационных условий в доменной печи может быть необходимой очистка от цианидов, в особенности в течение операций продувки. На рис. 6.20 приведена схема процесса для очистки от цианидов скрубберной воды на доменной печи, которая осуществляется главным образом с помощью добавки формальдегида к воде перед седиментацией. Добавка формальдегида непрерывно контролируется с помощью системы регулирования (окислительно-восстановительного потенциала), устанавливаемой на протекающем потоке воды перед установкой для седиментации. Долговременный опыт указывает, что:

- оптимальный диапазон рН составляет 8 - 9
- ниже рН 7 реакция не происходит
- гликонитрил разлагается при рН выше 12 на цианид и формальдегид.



Рисунок 6.20: Пример процесса очистки скрубберной воды от цианида на доменных печах [175]

Шлам после осаждения мелких частиц имеет относительно высокое содержание цинка (см. табл. 6.14), и его можно очищать с помощью гидроциклона (см. также п. 6.3.7).

Новая концепция очистки сточных вод использует компания Corus в Эймейдене, Нидерланды. Она называется ВЮ 2000 и состоит из комбинированной очистки сточных вод от коксохимического производства, доменных печей и от агломерационной установки в системе с активным илом с предварительной нитрификацией и нитрификацией для минимизации ХПК и выбросов соединенного азота. Эта система подробно описана в п. 5.3.21.

Достигаемые экологические выгоды

Высокая эффективность рециклинга скрубберной воды может быть достигнута с помощью подпитки только в размере 0,1 м³/т чугуна. Эта вода удаляется из системы со шламом доменной печи и может подвергаться дальнейшей очистке.

Достигаемые концентрации для скрубберной воды доменных печей применительно к установке для очистки сточных вод показаны в табл. 6.23. Общая потребность в воде в 2006 г. составила 719713 м³. При выплавке 3152134 т чугуна это эквивалентно удельному расходу сточных вод 0,23 м³/т чугуна.

ТАБЛИЦА 6.23: КОНЦЕНТРАЦИЯ В СБРОСЕ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СКРУББЕРНОЙ ВОДЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ КОМПАНИИ ARCELORMITTAL В Г. БРЕМЕН, ГЕРМАНИЯ [260]

Параметр	Единицы	Число измерений	Среднее значение	Медианное значение	Максимум	Минимум	Стандартное отклонение
Cd	мкг/л	39	0,36	0,20	3,00	0,20	0,58
Cr	мкг/л	39	2,20	2,00	3,90	2,00	0,47
Cu	мкг/л	39	9,52	6,10	13,00	2,00	13,75
Fe	мкг/л	39	460,77	90,00	3700,00	13,00	861,79

Параметр	Единицы	Число измерений	Среднее значение	Медианное значение	Максимум	Минимум	Стандартное отклонение
Ni	мкг/л	39	12,93	8,90	39,00	2,00	10,10
Pb	мкг/л	39	24,93	8,00	390,00	<2,00	62,08
Zn	мкг/л	39	354,00	130,00	2600,00	20,00	582,73
CN	г/л	39	0,84	0,22	9,80	0,01	2,05
CN, легко выделяемый	мг/л	39	0,25	0,04	4,50	0,01	0,89
Cl	г/л	39	100,21	854,00	1360,00	452,00	414,52
АОХ	мкг/л	39	37,33	19,00	450,00	10,00	70,13
Взвешенные твердые	мг/л	39	21,91	9,60	166,00	0,60	31,79
DOC	мг/л	39	55,25	54,25	170,00	1,70	40,77
TOC	мг/л	39	55,66	45,00	174,00	1,70	40,77
ХПК	г/л	28	144,12	145,50	280,00	<15	69,84
Углеводороды	мг/л	39	0,160	18,0	56	0,10	0,08
Токсичность икринок рыбы	1	2	6,58	4,00	32,00	1,00	8,16

Примечание: данные измерений для случайной выборки с апреля 2000 по ноябрь 2006 г.

Состав скрубберной воды для очистки доменного газа и достигаемые концентрации в сбросах для упомянутой комбинированной очистки сточных вод компания Corus в Эймейдене, Нидерланды, приведены в п. 5.3.21 в табл. 5.22 и 5.25.

Взаимодействия между средами

Когда рециркулируют большие количества воды, должна использоваться эффективная система очистки сточных вод. В противном случае будут происходить эксплуатационные проблемы, оказывающие воздействие на скрубберы (засорение и т.д.), и будет снижаться эффективность скруббера. При очистке воды и рециклинге образуются шламы (с высоким содержанием цинка). Необходима небольшая подпитка для предотвращения накопления минералов/солей.

Для рециклинга скрубберной воды требуется большое количество энергии (см. табл. 6.22). Кроме того, следует рассмотреть дозирование флокулянтов.

Применимость

Как на новых, так и на существующих доменных печах может применяться очистка и рециклинг скрубберной воды. Современные установки обладают значительным преимуществом, поскольку их можно проектировать с эффективным водяным контуром. Однако имеется также возможность установления эффективного водяного контура на старых заводах.

Данные не представлены о экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

Компания ArcelorMittal, г. Бремен, Германия; компания Corus, г. Эймейден, Нидерланды.

Справочная литература: [65], [136], [138], [260], [358], [379]

6.3.7 Гидроциклон для переработки шламов доменного производства

В колошниковом газе содержатся большие количества пыли (7 – 40 кг/т чугуна, см. табл. 6.7). Большая часть этой пыли удаляется в течение первой сухой стадии очистки доменного газа. Эта часть состоит главным образом из относительно грубых частиц с высоким содержанием железа и углерода, и она возвращается на установку агломерации.

Остающаяся часть доменного газа (1 – 10 кг/т чугуна) очищается с помощью мокрой газоочистки. После осаждения образуется 3 – 5 кг шлама на т чугуна. Этот шлам имеет относительно высокое содержание цинка. Высокое содержание цинка служит препятствием для повторного использования шлама на агломерационной установке.

С помощью обработки шлама в гидроциклоне может образовываться шлам с высоким и низким содержанием цинка из общего потока шлама. Цинк находится главным образом в виде оксида цинка (ZnO), для которого характерен очень маленький размер частиц. При работе гидроциклона частицы с очень малым размером концентрируются в верхнем продукте, в то время как фракция с малым содержанием цинка выходит из циклонов как слив осадка. Следует отметить, что эффективность работы гидроциклона зависит от характеристик шлама.

Шлам из слива осадка повторно используется на агломерационной ленте. Отметим, что это повторное использование можно рассматривать в отношении общего поступления цинка в доменную печь. Шлам с высоким содержанием цинка из верхнего продукта гидроциклона хранится или депонируется на полигоне. Некоторая часть успешно утилизировалась благодаря содержанию цинка, например, с помощью ДК рециклинга (см. п. A2.5.4.4). Могут возникнуть дополнительные проблемы с радиоактивными компонентами, которые, как правило, остаются в тонкозернистой фракции.

Достижимые экологические выгоды

В табл. 6.24 приведены данные о содержании цинка в шламе доменной печи при использовании гидроциклона.

Взаимодействие между средами

Потребляется небольшое, но не определенное количество энергии для работы циклонов.

Эксплуатационные данные

При работе системы проблемы не обнаружены.

ТАБЛИЦА 6.24: ПРИМЕР СОДЕРЖАНИЯ ЦИНКА В ШЛАМЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПОСЛЕ ГИДРОЦИКЛОНА [65], [105]

	Удельное образование шлама (кг/т чугуна)	Содержание цинка (%)	В пересчете на сухой вес (%)	Обработка
Неочищенный шлам	1,0 – 9,7	0,1 – 2,5	100	Гидроциклон
Верхний продукт гидроциклона	0,2 – 2,7	1 - 10	20 – 40	Хранение в отвале/полигон
Слив осадка с гидроциклона	0,8 – 7,8	0,2 – 0,6	60 – 80	Возврат на агломерационную ленту

Применимость

Гидроциклоны могут применяться как на новых, так и на существующих заводах в качестве технологии в конце производственного процесса, когда применяется мокрое обеспыливание, и когда распределение цинка по размеру зерен дает возможность провести разумную сепарацию.

Экономика

В работе [116] сообщается, что инвестиции для трехстадийной установки с производительностью 20000 т/год составили 2 млн. евро, а эксплуатационные затраты – 25 евро/т.

Данные не приведены о мотивации для внедрения.

Пример установок

Компания Corus, Эймейден, Нидерланды; компания Thyssen Krupp Stahl AG, Дуйсбург, Германия.

Справочная литература: [105], [116]

6.3.8 Конденсация дыма при переработке шлака

Как упомянуто в п 6.2.2.1, при переработке шлака образуются выбросы H_2S и SO_2 . Это может вызвать проблему появления запахов. Для решения этой проблемы некоторые установки для грануляции шлака работают с конденсацией дыма (см. рис. 6.21). Конденсат и вода от обезвоживания шлака также циркулируют после охлаждения, если используется пресная вода. Повторное использование воды не практикуется, когда морская вода используется для грануляции шлака и конденсации дыма.

137

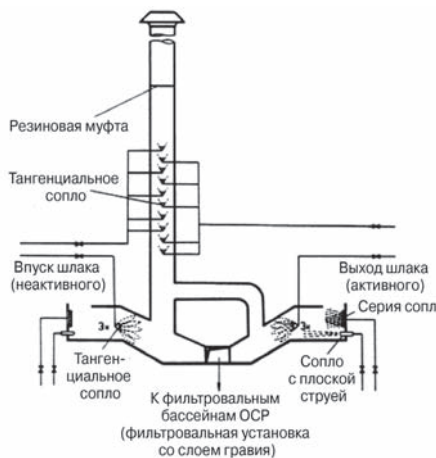


Рисунок 6.21: Грануляция доменного шлака с конденсацией дыма [111]

Достигаемые экологические выгоды

При конденсации дыма выбросы H_2S находятся в диапазоне от 1 до 10 г H_2S на тонну выплавляемого чугуна.

Взаимодействия между средами

Для охлаждения циркулирующей воды требуется значительное количество энергии. Сама по себе генерация энергии часто бывает связана с выбросами серы. В течение конденсации дыма абсолютное количество уменьшаемой серы относительно мало, и оно может быть связано с количеством, выбрасываемым при генерации энергии. При конструировании этих установок должны учитываться проблемы безопасности, в особенности связанные с водородом.

Не передавались эксплуатационные данные, о экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

Применимо как для новых, так и для существующих установок.

Пример установок

Несколько установок для грануляции шлака в Германии оснащены системой конденсации дыма, например компании Thyssen AG в Дуйсбурге, Германия, но также и компании Corus в Порт Талбот и Скаторп, Соединенное Королевство. Другие установки с использованием этой технологии имеются в Финляндии.

Справочная литература: [208], [242], [354]

6.3.9 Использование руд высокого качества

Идея этой технологии состоит в использовании предпочтительно агломерата или окатышей в качестве сырьевого материала с высоким содержанием железа и низким содержанием пустой породы. Используют агломерат с содержанием железа 61 – 63,5% и окатыши с содержанием железа в диапазоне 66,6 – 66,8%. Другими важными факторами являются умеренное содержание золы в коксе и низкое содержание вдуваемого угля.

Достижимые экологические выгоды

Использование руд с высоким качеством повышает производительность и эффективность использования энергии процесса выплавки чугуна. Потребление восстанавливающих агентов ниже, что приводит к снижению выбросов CO₂. Можно достичь выхода чугуна 3,4 т/м³/сутки и снижения выбросов диоксида углерода на 15 – 80 кг на т выплавленного чугуна. Кроме того, объем шлака снижается примерно до 150- 200 кг/т чугуна, что также снижает выбросы от переработки шлака.

Данные не передавались о воздействиях между средами.

Эксплуатационные данные

Использование агломерата и окатышей с очень высоким содержанием железа в качестве сырьевых материалов применимо и к другим установкам, но необходимо фундаментальное понимание воздействий различных железных руд в доменной печи, т.е. эффект, связанный с низким уровнем скачивания шлака, может снизить срок службы огнеупоров доменной печи.

Применимость

Применимость существенно ограничена наличием руд с высоким содержанием железа.

Экономика

Экономические выгоды связаны с ростом производительности, снижением потребления энергии и снижением потребности в восстанавливающих агентах. Наличие руд с высоким содержанием железа ограничено. Внедрение этой практики в европейском доменном производстве приведет к созданию монополий для рудников с очень высоким содержанием железа, что противоречит принципам свободного рынка и честной конкуренции. Порождаемая нехватка таких руд будет причиной высоких цен на руды с таким качеством.

Мотивация для внедрения

Повышение производительности и энергоэффективности являются движущими силами для внедрения этой технологии.

Пример установок

Агломерат – компания Rautaruukki, Финляндия; окатыши – компания SSAB, Окселосунд, Швеция; окатыши – компания SSAB, Лулео.

Справочная литература: [208]

6.3.10 Повышение эффективности использования энергии в доменной печи

Можно использовать модель для контроля износа горна доменной печи. Используются три различные модели:

(а) модель, в которой оценивается расположение изотерм с температурой 1150°C на основе теплопроводности и измерений термопарами в огнеупорной футеровке горна при использовании Метода конечных элементов (FEM);

(б) модель, которая аппроксимирует “тотерман” в горне в соответствии с теплопроводностью. Работа системы охлаждения по замкнутому циклу помогает в обеспечении надлежащего управления печью;

(с) бесперебойная непрерывная работа в устойчивом режиме.

Достижимые экологические выгоды

Повышение энергоэффективности и снижение выбросов CO₂ и обслуживания (например, огнеупоров) может быть достигнуто при использовании этой технологии. Потребление восстанавливающих агентов снижается приблизительно на 5 кг/т чугуна в долгосрочной перспективе. Это означает снижение выбросов CO₂ приблизительно на 15 – 20 кг/т чугуна. Срок службы доменной печи может быть продлен на несколько лет.

Для модели (с)

Достижение бесперебойной непрерывной работы помогает в снижении выбросов и вероятности осадки шихты.

Данные не передавались о взаимодействиях между средами и экономике.

Эксплуатационные данные

Высокий коэффициент использования оборудования (например, >99%).

Доменная печь очень хорошо контролируется.

Модели являются очень важными для контроля процесса в доменной печи и износа горна доменной печи. Кроме того, можно поддерживать постоянное качество выплавляемого чугуна с желаемым уровнем, например, в отношении

содержания C, Si и S, когда процесс и явления в горне можно контролировать.

Применимость

Системы для повышения энергоэффективности обычно применяются в доменных печах всей Европы.

Мотивация для внедрения

Выгоды связаны с повышением контроля технологического процесса, что приводит к экономии энергии и повышению качества чугуна.

Пример установок

Компания Rautaruukki, Финляндия; компания SSAB, Лулео, Швеция; компания Ovaako, г. Коверхар, Финляндия. Установки в Соединенном Королевстве.

Справочная литература: [208], [220], [242]

6.3.11 Утилизация и использование доменного газа

На типичной доменной печи производится приблизительно 1200 – 2000 нм^3 доменного газа на тонну расплавленного чугуна. В доменном газе содержится 20 – 28% монооксида углерода (CO) и 1 – 5% водорода (см. табл. 6.7 и 6.8). Монооксид углерода образуется в течение окисления углерода в доменной печи. Значительная часть CO в дальнейшем окисляется до CO_2 в доменной печи. Монооксид углерода и водород являются потенциальными источниками энергии, и на доменных печах всего мира принимаются меры для утилизации этой энергии.

Поэтому колошниковый газ доменной печи очищается и хранится в газгольдерах для последующего использования в качестве топлива. С учетом низкой калорийности доменного газа на нм^3 он часто обогащается коксовым газом, конвертерным или природным газом перед использованием в качестве топлива.

Достижимые экологические выгоды

Энергосодержание доменного газа обычно варьируется от 2,7 до 4,0 МДж/ нм^3 , в зависимости от концентрации в нем монооксида углерода. Это только 10% от энергосодержания природного газа. Тем не менее, большие количества образующегося доменного газа означают, что потенциал утилизации энергии очень высокий. Общий экспорт из доменной печи составляет приблизительно 5 ГДж/т горячего металла, что эквивалентно 30% от валового потребления энергии в доменной печи.

Взаимодействия между средами

Очистка доменного газа неизбежна, и она приводит к появлению сточных вод и твердых остатков.

Эксплуатационные данные не передавались.

Применимость

Применимо для новых и существующих печей.

Экономика

Значительные экономические выгоды достигаются с помощью экономии энергии.

Мотивация для внедрения

Выгоды достигаются за счет эффективного использования энергии и экономических преимуществ.

Пример установок

Применяется на многих новых и существующих печах мира.

Справочная литература: [200]

6.3.12 Прямое вдувание восстанавливающих агентов

6.3.12.1 Вдувание угольной пыли

Прямое вдувание восстанавливающих агентов означает замену части кокса другим источником углеводородов, который вдувается в печь на уровне фурм (см. больше информации в п. 6.1.3.1). Эти углеводороды могут быть в виде мазута, остатков нефтепродуктов, утилизируемых отработанных масел, гранулированного угля или угольной пыли, природного газа или коксового газа и отходов пластмасс. Уголь и нефтепродукты чаще всего используются в качестве агентов, вдуваемых на уровне фурм. Путем снижения потребности в коксе снижается общее загрязнение и потребность в энергии.

Следует подчеркнуть, однако, что некоторое количество кокса все еще необходимо в доменной печи для обеспечения надлежащей работы доменной печи. Кокс обеспечивает требуемую несущую способность для поддержания шихты доменной печи и обеспечения достаточной газопроницаемости. Вдувание через фурмы углеводородов требует дополнительного вдувания кислорода (с возрастающими уровнями, так как возрастает интенсивность вдувания) для достижения требуемых температур в зоне циркуляции печи. Имеется небольшой опыт очень высокой интенсивности вдувания (и, таким образом, повышенных уровней кислорода), и, следовательно, безопасность также становится более важной проблемой, среди прочего.

На рис. 6.22, в табл. 6.25 и 6.26 показаны применяемые интенсивности вдувания для восстанавливающих агентов в существующих доменных печах.

ТАБЛИЦА 6.25: СРАВНЕНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО КОКСА И ОБЩЕГО ПОТРЕБЛЕНИЯ УГЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ПРЯМОГО ВДУВАНИЯ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ [248], [276], [348]

	Интенсивность вдувания (кг/т чугуна)	Остаточный уровень кокса (кг/т чугуна)	Общее потребление угля (кг/т чугуна)
Нет		500	625
Типичная	150 - 180	310	538 - 568
Повышенная достигаемая	~ 240	270 - 300	577 - 615

(1) Принято, что 1 кг кокса производится из 1,25 кг угля.

Примечание: значения относятся к сухому коксу и сухому углю.

ТАБЛИЦА 6.26: ПРИМЕНЯЕМЫЕ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕ АГЕНТЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ [208], [277]

Восстанавливающий агент	ДП 1	ДП 2	ДП 3	ДП 4	ДП 5	ДП 6	ДП 7	ДП 8	ДП 9	ДП 10(1)
Кокс	267	272	278	333	306	353	389	395	389	
Мелкий кокс	50	78	89	61	22	56				
Уголь	150	0	0	0	142	0	0	0	0	

Восстанавливающий агент	ДП 1	ДП 2	ДП 3	ДП 4	ДП 5	ДП 6	ДП 7	ДП 8	ДП 9	ДП 10(1)
Мазут	0	106	78	61	0	50	43	43	49	130
Коксовый газ	0	0	0	0		46	43	0		
Прочее	0	0	0	28	0	22	0	0	19(2)	
Итого	467	465	445	483	470	481	478	481	457	460-470

(1) Доменная печь, работающая со 100% окатышей. Рабочий объем доменной печи 600 м³, применяется вдувание щчн-щшд

(2) Смола

Примечание: значения приведены в кг/т чугуна.

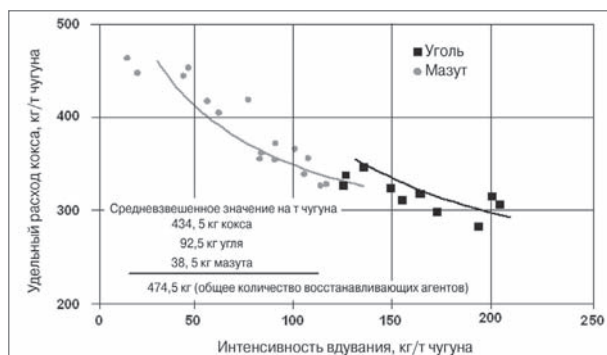


Рисунок 6.22: Удельный расход кокса и интенсивность вдувания на 26 доменных печах [277]

Чистая экономия энергии при вдувании угля была рассчитана при 3,76 ГДж/т вдуваемого угля. При интенсивности вдувания 180 кг/т чугуна экономия энергии составит до 0,68 ГДж/т чугуна, или 3,6% валового потребления энергии в доменной печи (см. табл. 6.16). Эта экономия энергии достигается косвенно как следствие сниженного потребления кокса. Повышенная интенсивность вдувания даст возможность большей экономии энергии.

Прямое вдувание восстанавливающих агентов применимо как на новых, так и на существующих доменных печах. Следует отметить, что эта значительно интегрированная в технологический процесс мера тесно связана с работой самой доменной печи, появляющейся в итоге стабильности и качеством чугуна и шлака.

Замена кокса путем вдувания угля зависит от таких факторов как производство, свойства кокса, желаемое качество чугуна, давление в доменной печи, тип (например, антрацит) и условия (влажность) угля [11], [65].

Вдувание угля на уровне фурм в доменную печь снижает температуру в зоне циркуляции. Степень снижения температуры зависит от количества вдуваемого угля, и это снижение температуры зависит от количества вдуваемого кокса, и это снижение температуры может оказывать вредное влияние на работу доменной печи. В доменных печах с обычной восстановительной плавкой допустимое вдувание угля ограничено величиной 150 кг/т чугуна, что обеспечивает стабильную работу печи.

Теоретический максимум вдувания угля в доменную печь на уровне фурм должен составить 270 кг/т чугуна. Это предельное значение установлено, исходя из несущей способности кокса и термохимических условий в печи. Для поддержания подходящих условий в зоне циркуляции и в то же самое время для повышения уровня вдувания угля до 260 кг/т чугуна, применяется горячее дутье с обогащенным кислородом и вдувание оху-coal на уровне фурм (см. п. 6.1.3.1) в доменных печах стран ЕС. Компания Corus в Эймейдене, Нидерланды, вдувает угольную пыль в промышленном масштабе. Применяется стандартный уровень вдувания в 250 кг угля на т чугуна. В зависимости от содержания углерода в угольной пыли вдувалось 210 и 260 кг угля на т чугуна в 2006 г. (данные отличаются от данных табл. 6.1, так как в последнем случае данные были за 2004 г.)

Достижимые экологические выгоды

Прямое вдувание восстанавливающих агентов снижает необходимость в производстве кокса. Таким образом, предотвращаются выбросы в коксохимическом производстве. На каждую т вдуваемого угля удастся избежать производства приблизительно 0,85 – 0,95 кг кокса.

Применение вдувания оху-coal привело к повышению интенсивности вдувания приблизительно на 20% и соответственно к снижению уровня потребления кокса. Улучшается функционирование электрофилтра, используемого для очистки газа. Вместе с повышенным положительным воздействием на проницаемость в доменной печи и улучшенным распределением угля улучшается в целом функционирование доменной печи.

Взаимодействие между средами

Измерения указывают, что менее 1% вдуваемого угля выбрасывается из колосника доменной печи.

Эксплуатационные данные

В случае вдувания оху-coal на двух доменных печах имеются ограничения, связанные с температурой горячего дутья и обогащением дутья кислородом. Поэтому вдувание оху-coal применяется с использованием коаксиальной фурмы с вихревым поток окислителя и угольной пыли для улучшения газификации угля. Фурмы оху-coal имели ранее ограниченные проблемы с засорением, и, тем самым, имели улучшенное распределение угля фурмами доменных печей.

При высоких уровнях вдувания угля для печи характерна тенденция ухудшения распределения шихты и повышения сопротивления опускаемой шихте. Это указывает на необходимость тщательного контроля распределения шихты при низких уровнях подачи кокса и достижения баланса между стенками и центральным потоком газа.

В общем, необходима полностью подготовленная шихта, для того чтобы была возможность достижения самых высоких уровней вдувания угля.

При постоянных уровнях производительности доменной печи применение высоких уровней вдувания угля приводит к повышению времени пребывания кокса и шихты в доменной печи по сравнению с работой “только с коксом”. По

существо, кокс и железосодержащие материалы шихты должны подвергаться больше времени влиянию галогенидов щелочных металлов в доменном газе. Однако с помощью вдувания угля обеспечивается возможность повышения производительности доменной печи с помощью совместного вдувания кислорода. В зависимости от абсолютных уровней вдувания угля и кислорода и повышения производительности печи скорость, при которой кокс проходит шахту, может быть ниже, чем при работе только с коксом.

Наличие не газифицированных частиц каменноугольной смолы изменяет характеристики расплавленных железосодержащих материалов, таким образом, воздействуя на расположение и форму зоны плавления в доменной печи.

Применимость

Метод применим на всех доменных печах, оснащенных системой вдувания угольной пыли и обогащенного кислорода. Прямое вдувание восстанавливающих агентов применимо как к новым, так и к существующим доменным печам.

Экономика

Имеются экономические стимулы для использования высоких уровней вдувания угля для достижения большой экономии затрат, в особенности на заводах, которые могут в противном случае сталкиваться с капитальными затратами на реконструкцию коксовых печей или могут покупать кокс. Это может также снизить затраты.

Сообщалось о затратах в размере 10 евро/ГДж [65]. Однако в работе [11] указано, что происходит экономия затрат вследствие более низкого потребления кокса. Капитальные затраты на установку вдувания угля компании Cogus в Порт Талбот, Соединенное Королевство, на доменной печи № 4 в 1997 г. составили 24 млн. евро (включая некоторые резервные элементы с другого участка).

Дополнительные затраты будут возникать для обогащения воздуха кислородом для поставки большего количества кислорода, в связи с дополнительной потребностью в мельницах для мелкого измельчения на существующих установках и дополнительными требованиями на обслуживание установки вдувания.

Мотивация для внедрения

Экономия затрат, повышение производительности и уменьшенные выбросы CO₂ и экологические выгоды, как результат улучшенной работы доменной печи, являются движущими силами для внедрения этой технологии.

Пример установок

Вдувание угля или мазута в доменные печи является технологией, широко применяемой в настоящее время в Европе и во всем мире (например, вдувание угля в доменные печи компаний ArcelorMittal, Corus (Эймейден, Нидерланды); Rivagroup (Таранто, Италия); Thyssen Krupp Stahl (Дуйсбург, Германия)).

Вдувание оху-coal было использовано фирмой SSAB в Швеции с 1993 г.

Справочная литература: [140], [208], [348]

6.3.12.2 Вдувание мазута с кислородом

Вдувание мазута или других углеводородов снижает температуру в зоне циркуляции, как и в случае вдувания угля. Для доменных печей с обычной восстановительной плавкой вдувание мазута ограничено примерно 65 кг/т чугуна, поскольку снижение температуры в зоне циркуляции вызывает значительные потери в стабильной работе печи. Для поддержания подходящих условий в зоне циркуляции и в то же самое время для достижения более высоких уровней вдувания мазута (до 130 кг/т чугуна) применяется вдувание мазута с кислородом. В этом случае устанавливаются кислородно-мазутные фурмы, предназначенные только для использования мазута. Мазут и кислород подаются отдельно, а мазут следует предварительно подогреть до 220°C. Количество обогащенного кислорода составляет 7 – 9%.

Информация о других вариантах типа повышения температуры дутья с использованием плазменного парокислородного дутья или с использованием обогащенного кислородом дутья не передавалась.

Достижимые экологические выгоды

С технологией оху-oil количество вдуваемого мазута удваивается. Потребление кокса может быть снижено, и можно снизить также и выбросы CO₂. Мазут, состоящий из углерода и водорода, позволяет скомпенсировать потребление кокса с отношением 1:1,2 (1 кг кокса компенсирует 1,2 кг кокса). С помощью обогативания для вдувания оху-oil количество мазута удваивается до уровня 130 кг/т чугуна. Экономия кокса, таким образом, составляет около 15 кг/т чугуна, а снижение уровня выбросов CO₂ составляет грубо 50 кг/т чугуна. Достигаются экологические выгоды, и значительно повышается энергоэффективность.

Взаимодействия между средами

На практике вдувание оху-oil работает очень надежно.

Применимость

Оборудование для подачи мазута и кислорода очень доступно. Практика применения вдувания оху-oil является надежной. Прямое вдувание восстанавливающих агентов применимо как на новых, так и на существующих доменных печах.

Экономика

Использование метода вдувания мазута приводит к экономии затрат за счет роста производительности. Дополнительные затраты будут появляться для обогащения воздуха и в связи с дополнительными требованиями для обслуживания установки для вдувания.

Мотивация для внедрения

Экономия затрат, рост производительности и снижение выбросов CO₂ являются движущими силами для внедрения, которое приводит к экономическим и экологическим результатам в виде улучшения работы доменной печи.

Пример установок

Технология оху-oil была применена компанией Ovako в г. Коверхар, Финляндия.

Справочная литература: [208]

6.3.12.3 Вдувание газа

С 2003 г. компания Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия, эксплуатирует свои небольшие доменные печи 5 и 6 с одновременным вдуванием восстановительного газа и мазута в качестве стандартной производственной процедуры с заменой 70% мазута коксовым газом. В 2004 г. на этих печах средний уровень вдувания мазута составил 45,5 кг/т чугуна, а уровень вдувания коксового газа – 46,9 кг/т чугуна, с общим эквивалентным потреблением кокса 477,8 кг/т чугуна.

Максимальный уровень вдувания коксового газа на уровне фурм составил 100 кг/т чугуна. Это предельное значение установлено в связи с термохимическими условиями в печи. В коксовом газе содержится остаточный H_2S и органические соединения серы. Реальное поступление коксового газа намного меньше (см. табл. 6.1). Уровень концентрации этих соединений серы зависит от уровня серы в углях и (или) от эффективности установки десульфуризации. Использование коксового газа в доменном процессе в качестве восстановителя, вместо использования в качестве топлива на заводах может привести к снижению выбросов серы на заводах, так как часть серы будет накапливаться в доменном шлаке.

Пример схемы вдувания коксового газа представлен на рис. 6.23.

146

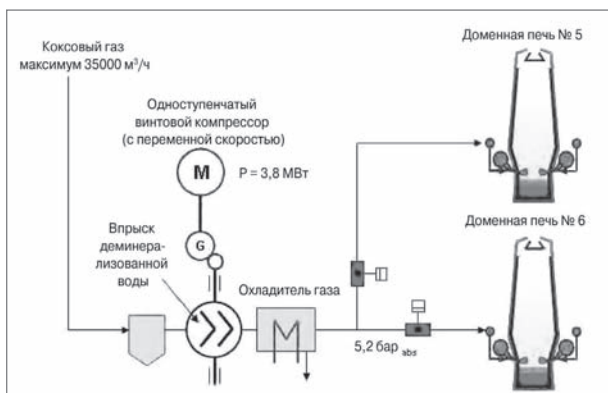


Рисунок 6.23: Пример схемы вдувания коксового газа [348]

Данные не передавались о достигаемых экологических выгодах, взаимодействии между средами, экономике.

Эксплуатационные данные

Коэффициент замещения для коксового газа составляет около 1 кг газа за 0,98 кг кокса, или 0,81 кг мазута. Кроме того, замещение восстановителя с высоким содержанием углерода типа кокса и мазута в доменном процессе восстановителем с малой долей углерода типа коксового газа приводит к абсолютному снижению выбросов CO_2 от доменного процесса. Когда коксовый газ используется в доменной печи, необходимо замещать этот газ, который обычно исполь-

зуется в нагревательных печах и т.д., доменным газом, конвертерным или природным газом. Логически вытекающее снижение выбросов CO₂ в диапазоне от 70 до 90% может стать результатом у бывших потребителей коксового газа.

Снижение содержания серы в расплавленном чугуна также возможно, поскольку коксовый газ имеет меньшее поступление серы, чем мазут или кокс. Потребление агентов десульфуризации (например, извести, CaC₂, Mg) в процессе предварительной десульфуризации можно снизить. Требуется компрессор для вдувания коксового газа, результатом чего является дополнительное потребление энергии около 204 кВт-ч/т коксового газа (на основе потребления на сравнительной установке в 2005 г.)

Применимость

В то время как вдувание в фурмы коксового газа также применимо на новых и существующих доменных печах, оно также в значительной степени зависит от наличия газа, который можно эффективно использовать в другом месте завода с полным циклом. Прямое вдувание восстанавливающих агентов применимо как на новых, так и на существующих доменных печах.

Мотивация для реализации

Основными движущими силами являются как экономические, так и экологические выгоды в результате улучшенной работы доменной печи.

Инвестиции компании Voestalpine Stahl GmbH для установки вдувания составили около 10 млн. евро для производительности около 5000 т чугуна в сутки. Общие удельные эксплуатационные затраты составили: 1,3 евро/т чугуна или 12 евро/1000 м³ коксового газа (2400000 евро/год и 200 млн. м³ коксового газа/год).

Пример установок

Вдувание коксового газа в доменную печь применяется в Европе компанией Voestalpine Stahl GmbH на заводе в г. Линце, Австрия.

Справочная литература: [348]

6.3.12.4 Вдувание отходов пластмасс

Максимальный уровень вдувания пластмасс на уровне фурм, как полагают, должен составить 70 кг/т чугуна. Это предельное значение установлено, исходя из термохимических и кинетических условий в зоне циркуляции. В пластмассах могут содержаться хлор и тяжелые металлы типа ртути, кадмия, свинца и цинка. Уровень концентрации этих элементов в пластмассах оказывает влияние на состав газообразных соединений и твердых частиц в доменном газе и на поведение сепарации в системе очистки доменного газа. В результате этого пластмассы должны соответствовать определенным входным критериям для этих элементов. Небольшое изменение параметров скруббера дает возможность того, что эти уровни концентраций в доменном газе будут сопоставимы со стандартными условиями работы, когда не происходит вдувание пластмасс.

Достигаемые экологические выгоды

В доменной печи пластмассы замещают часть восстанавливающих агентов, таких как кокс, и, таким образом, предотвращаются выбросы, связанные с коксом.

Взаимодействия между средами

Отношение для пластмасс зависит от относительных количеств углерода и водорода, которые можно получить из вдуваемых пластмасс. 1 кг пластмасс может заменить около 0,75 кг кокса. Возможно снижение содержания серы в чугуна, поскольку пластмассы имеют меньшее входное содержание серы, чем мазут или кокс. Потребление агентов десульфуризации (например, извести, CaS_2 , Mg) в процессе предварительной десульфуризации можно снизить.

В зависимости от состава использованных отходов (например, легкая фракция после измельчения) количество хрома, меди, никеля и молибдена в доменном газе может возрасти.

Эксплуатационные данные

Компания Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия, получила заключительное разрешение на вдувание 220000 т пластмасс в год в 2005 г., и она нарастила мощности до уровня 70 кг/т чугуна. В 2008 г. уровень вдувания пластмасс составил 18 – 25 кг при использовании воздуха высокого давления. Пластмассы должны соответствовать определенным требованиям по составу. В табл. 6.27 приведены требования для пластмасс, используемых для вдувания этой компанией.

ТАБЛИЦА 6.27: ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ ПЛАСТМАСС, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ВДУВАНИЯ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ КОМПАНИИ VOESTALPINE STAHL GMBH, ЛИНЦ, АВСТРИЯ [211]

Параметр	Концентрация (вес.%)	Параметр	Концентрация (вес.%)
Cl	<2%	Pb	250
S	<0,5%	Ni	500
Co	1000	Hg	0,5
Cr	500	Cd	9
As	5	Zn	1000

Примечания: все значения приведены в мг/кг сухих пластмасс, кроме Cl и S

Установки для вдувания пластмасс компании ArcelorMittal в Бремене и Айзенхюттенштадте (обе в Германии) находились в эксплуатации несколько лет. В 2004 г. на печи № 3 в Бремене вдували в среднем 52,3, в то время как на печи № 1 в Айзенхюттенштадте вдували в среднем 67,4 кг/т чугуна пластмасс. Во время написания справочного документа (2010 г.) на обеих доменных печах прекратили вдувание пластмасс по экономическим причинам.

Применимость

Прямое вдувание восстанавливающих агентов применимо как на новых, так и на существующих доменных печах. Следует отметить, что этот способ в значительной степени зависит от местных условий и рыночной ситуации.

Экономика

Инвестиции для установки вдувания пластмасс компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия, составили 20 млн. евро для мощностей по вдуванию до 220000 т/год. Дополнительные затраты будут возникать в связи с обслуживанием установки для вдувания.

Движущие силы для внедрения

Для некоторых типов отходов больше невозможно депонирование на полигонах вследствие ограничений на содержание углеводов. Поэтому должны быть найдены другие пути для обращения с этими материалами.

Пример установок

Вдувание пластмасс в доменные печи является технологией, применяемой в Европе компанией Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия. Сообщалось, что на четырех доменных печах имелся опыт по переработке легкой фракции после измельчения (~ 200 тыс. т/год).

В марте 2008 г. компания Salzgitter Frachstahl GmbH, Германия, начала вдувание пластмасс.

Справочная литература: [1], [65], [132], [211], [221], [222], [238], [276], [277], [348], [390]

6.3.12.5 Прямое вдувание отработанных масел, жиров и эмульсий в качестве восстанавливающих агентов и остатков твердого железа

Отработанные масла, жиры и эмульсии отработанных масел в воде образуются во всей промышленности. Эти остатки можно вдувать в доменную печь на уровне фурм в качестве частичной замены кокса и угля. Упрощенная схема прямого вдувания жидкого возврата в доменную печь приведена на рис. 6.24. Альтернативными методами являются химикаты или термическая диссоциация.

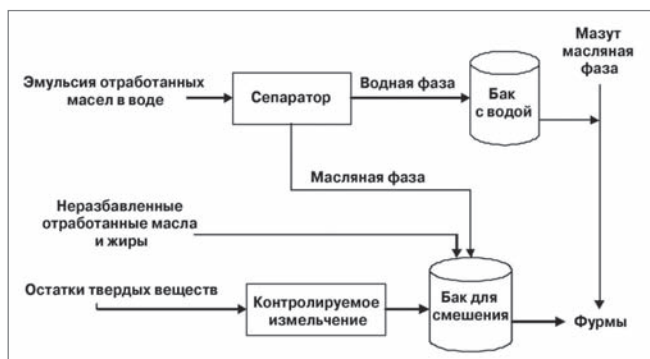


Рисунок 6.24: Упрощенная схема прямого вдувания отработанных масел, жиров и эмульсий в доменную печь [349]

Важнейшим моментом в этой процедуре является разделение воды, масла и пыли в эмульсиях для обеспечения того, чтобы вдувание воды в доменную печь жестко контролировалось. Для проведения этой операции используются тарельчатые сепараторы.

Составной частью процесса является добавка воды, разделенной в сепараторе, к мазуту, инжeksiруемому в доменную печь. Уровень этой дополнительной воды можно использовать для контроля адиабатической температуры факела в

зоне циркуляции (RAFT), т.е. повышение уровня дополнительной воды снижает RAFT. Преимуществом использования этого возврата является зависимость от желаемого контроля температуры факела при работе печи в особом режиме.

Остатки маслянистой прокатной окалины состоят из твердых материалов с высоким содержанием железа, загрязненных углеводородами (до 20%). Первой стадией при использовании этого типа материалов часто является сепарация масла (обезжиривание) от твердых составляющих с высоким содержанием железа. В этой системе маслянистая прокатная окалина и подобные остатки уменьшаются в размере (например, с помощью измельчения) и смешиваются с отработанными маслами и масляной фазой, отделенной от эмульсии в сепараторе. Полученная суспензия вдвигается в фурмы доменной печи с помощью отдельных фурм. Углеводороды действуют как восстанавливающие агенты, оксиды железа восстанавливаются до железа, попадая в расплавленный чугун.

Вдувание материалов (например, маслянистой прокатной окалины) на уровне фурм показало, что выбросы диоксинов и РАН остаются в допустимых пределах в обоих случаях, подтверждая способность достижения полного реагирования масла в зоне циркуляции доменной печи.

Достижимые экологические выгоды

Интенсивность обмена между сепарированной масляной фазой и мазутом несколько ниже 1 вследствие того, что полное разделение воды от масляной фазы не достигается.

Снижение уровня потребления кокса в доменной печи может быть в диапазоне от 3 до 8,5 кг/т чугуна, в зависимости от количества вдуваемых остатков. Прямое вдувание прокатной окалины в доменную печь дает замещение железных руд в соотношении 1:1 (см. табл. 6.28).

ТАБЛИЦА 6.28: УРОВНИ ВДУВАНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ВДУВАЕМЫХ В ФУРМЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ [211], [349]

Материал	Уровень вдувания (кг/т чугуна)	Коэффициент замещения
Отработанные масла и жиры	4 – 12	0,9
Мазут	3,5 – 78	0,8
Кокс (теоретически)	3 – 8,5	0,8
Остатки железа/железные руды		1

Взаимодействия между средами

Глубокие исследования не выявили каких-либо негативных взаимодействий между средами. Потребление мазута может быть замещено сходным количеством разделенной масляной фазы. Потребление кокса может быть снижено на 3 – 8,5 кг/т чугуна, и, таким образом, будут предотвращены выбросы, связанные с этим количеством кокса.

Эксплуатационные данные не передавались и о мотивации для внедрения.

Применимость

Прямое вдувание остатков может применяться как на новых, так и на существующих доменных печах. Следует отметить, что непрерывная работа этой системы основана на логистической концепции поставки и хранения остатков. Кроме того, особое значение для успешной работы имеет применяемая технология транспортирования.

Экономика

Рентабельность вдувания остатков достигается путем замещения кокса и железных руд и за счет снижения затрат на депонирование. Капитальные затраты на установку прямого вдувания остатков составляют около 4 – 6 млн. евро. Максимальная производительность установки компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия, составляет 12 кг остатков/т чугуна, или 15000 т остатков/год для доменной печи с производительностью около 2,5 млн. чугуна в год.

Пример установок

Прямое вдувание остатков производства, как описано в разделе, внедрено на доменных печах №№ 5 и 6 компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия.

Справочная литература: [349]

6.3.13 Утилизация энергии давления колошникового газа

Доменные печи с повышенным давлением на колошнике предоставляют идеальную возможность для утилизации энергии от больших объемов колошникового газа высокого давления, который в них образуется. Энергия утилизируется с помощью газорасширительной турбины, которая установлена после устройства для очистки колошникового газа.

Достижимые экологические выгоды

Количество энергии, которое можно утилизировать от высокого давления колошникового газа, зависит от объема колошникового газа, градиента давления и температуры подводимого газа. Утилизация энергии таким путем является рентабельной, когда устройство для очистки доменного газа и распределительная сеть имеют низкое падение давления.

Давление колошникового газа в современных доменных печах составляет приблизительно 0,25 – 2,5 БАР. Давление в газопроводе доменного газа составляет приблизительно 0,05 – 0,1 бар. Часть давления колошникового газа “потребляется” устройством для его очистки.

Сообщают, что на современных доменных печах мощность генерируемой электроэнергии составляет 15 МВт при давлении колошникового газа 2 – 2,5 бар.

Экономия энергии оценивается в 0,4 ГДж/т чугуна для турбины с мощностью 15 МВт. Экономия составляет до 2% от валовой потребности доменной печи в энергии. Применение утилизации давления колошникового газа на доменных печах с повышенным давлением газа на колошнике является обычной практикой.

Взаимодействия между средами

Не известно о взаимодействиях между средами.

Эксплуатационные данные

Технология утилизации энергии повышенного давления колошникового газа обычно работает в автоматическом режиме без проблем. Можно использовать осевые турбины, которые являются более эффективными, чем радиальные турбины. Критический момент наступает, когда турбина должна быть остановлена и градиент давления будет передаваться на устройство для очистки газа. Всегда необходимы особые меры безопасности для предотвращения повреждений системы очистки газа

и (или) газопровода. Следует отметить, что использование турбин требует тщательной очистки доменного газа. Прежде всего, технические проблемы связаны с высоким содержанием щелочей в доменном газе (коррозия).

Применимость

Утилизация повышенного давления колошникового газа может применяться на новых заводах и в некоторых случаях на существующих заводах, хотя с большими трудностями и с дополнительными затратами. Основным соображением для применения этой технологии является адекватное давление на колошнике, которое должно превышать 1,5 бар.

На новых заводах турбины для работы на колошниковом газе и системы очистки доменного газа могут быть адаптированы друг к другу для достижения высокой эффективности как очистки газа, так и утилизации энергии.

Мотивация для внедрения

Основной движущей силой для внедрения утилизационных турбин является экономическая выгода.

Пример установок

Утилизация давления колошникового газа применяется во всем мире на современных доменных печах с высоким давлением и объемом доменного газа.

Справочная литература: [1], [42], [65], [66], [350]

6.3.14 Экономия энергии в воздуходогревателях

Воздуходогреватели отапливаются доменным газом (часто обогащенным). Имеется несколько технологий для оптимизации эффективного использования энергии воздуходогревателями, которые включают:

1) использование автоматизированной работы воздуходогревателей, что предотвращает необязательные запасы путем адаптации поставок энергии к реальной потребности и минимизирует количество добавляемого обогащенного газа (в случаях, когда происходит обогащение);

2) подогрев топлива или воздуха для сгорания в сочетании с установкой трубопровода холодного дутья и дымового боров. Физическое тепло отходящих газов можно использовать для подогрева топлива. Возможность этого зависит от эффективности воздуходогревателей, так как она определяет температуру отходящих газов (например, при температуре отходящих газов ниже 250°C утилизация тепла не может быть технически и экономически привлекательным выбором). Теплообменник предпочтительно состоит из мазутной магистрали по экономическим причинам. В некоторых случаях может использоваться тепло от внешнего источника, например, тепло от агломерационной ленты, если расстояние не слишком значительное. В случае подогрева топлива снижается потребление энергии. На заводах с обогащенным доменным газом подогрев топлива может означать, что обогащение больше не будет обязательным;

3) использование более подходящих горелок для улучшения сжигания;

4) быстрое измерение концентрации кислорода и последующая адаптация к условиям сжигания.

Достигаемые экологические выгоды

В работе [66] сообщается о следующей экономии энергии:

1) использование автоматизированных воздухонагревателей приводит к повышению эффективности воздухонагревателей более чем на 5%. Это эквивалентно экономии энергии приблизительно в 0,1 ГДж/т чугуна;

2) подогрев топлива или воздуха для сжигания может привести к экономии энергии приблизительно в 0,3 ГДж/т чугуна. Значительная экономия энергии достигается при использовании сжигания газа для подогрева доменного газа. Экономия от этого способа составляет около 170 МДж/т чугуна. Уровни выбросов, которые могут быть достигнуты, составляют: NOx 20 – 25 г/т чугуна, SO₂ 70 – 100 г/т чугуна, CO₂ 0,4 – 0,5 г/т чугуна;

3) относительно технологий №№ 3 и 4 (см. выше), можно дополнительно сэкономить 0,04 ГДж/т чугуна за счет улучшения сжигания и адаптации к условиям сжигания.

Общая экономия энергии, возможная за счет сочетания технологий, составит порядка 0,5 ГДж/т чугуна.

Взаимодействия между средами

Не сообщалось о взаимодействиях между средами [66]. Можно ожидать, что подогрев топлива и сообщаемое повышение температуры дымовых газов должно привести к повышенным выбросам оксидов азота из воздухонагревателей. Применение современных горелок может снизить эти выбросы.

Эксплуатационные данные не передавались.

153

Применимость

Упомянутая выше технология для экономии энергии воздухонагревателей, как на новых, так и на существующих доменных печах, где позволяет конструкция.

Экономика

Эти меры могут быть привлекательными с экономической точки зрения вследствие снижения потребления энергии, и, таким образом, экономии денег. Рентабельность зависит от количества сэкономленной энергии и от инвестиционных и эксплуатационных затрат. Типичные капитальные затраты для утилизации тепла составили в 1997 г. 6 млн. евро для набора воздухонагревателей для одной доменной печи.

Для реализации автоматизированного контроля требуется строительство четвертого воздухонагревателя в случае доменной печи с тремя воздухонагревателями для получения максимальной выгоды.

Мотивация для внедрения

Экономические выгоды, связанные с повышением производительности и снижением потребления энергии, являются движущими силами для внедрения этой технологии.

Пример установок

Компания Thyssen Krupp Stahl AG, Дуйсбург, Германия; доменная печь № 7 компании Corus в Эймейдене, Нидерланды; компания ArcelorMittal, завод в Генте, Бельгия; компания ArcelorMittal, завод в г. Хихон, Испания; компания Ruukki, Финляндия, компания Voestalpine Stahl GmbH, завод в Линце, Австрия, компания Voestalpine Stahl GmbH, завод в Донавице, Австрия.

Справочная литература: [66], [208].

7 ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ И РАЗЛИВКА

7.1 Применяемые процессы и технологии

7.1.1 Транспортирование и хранение расплавленного чугуна

Замена воздуха кислородом в сталеплавильном производстве была вначале предложена Генри Бессемером¹. С 1950 г. кислород стал использоваться в сталеплавильном производстве независимо от конкретного метода производства. Предварительным условием для рентабельного использования процесса в кислородных конвертерах в промышленном масштабе стало наличие в требуемом количестве технически чистого кислорода, а также технологии водоохлаждаемой фурмы, необходимой для введения кислорода в конвертер.

Первый промышленный вариант кислородного конвертера был внедрен в г. Линц, Австрия, в 1952 г. [363].

Кислородно-конвертерный процесс (BOF) и электродуговая печь (EAF) заменили существующий менее энергоэффективные процессы сталеплавильного производства, такие как томасовский процесс² и мартеновский процесс (процесс Сименса – Мартина). В ЕС последние мартеновские печи были выведены из эксплуатации в конце 1993 г. Процесс BOF и процесс выплавки в EAF являются единственными процессами, используемыми для производства стали в ЕС. На процесс BOF приходится две трети производства стали, а на процесс EAF остающаяся треть (страны ЕС-27 в 2006 г. См. также рис. A1.2).

На рис. 7.1 показан BOF в момент заливки жидкой стали.

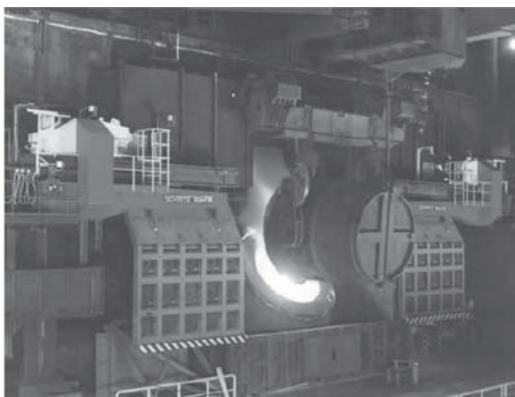


Рисунок 7.1: Кислородный конвертер в момент разливки жидкой стали [200]

¹ Английский изобретатель, член Лондонского королевского общества с 1879 г. В 1856 г. зарегистрировал патент на конвертер для передела жидкого чугуна в сталь продувкой воздухом без расхода горючего, который стал основой бессемеровского производства. В 1860 г. Бессемер запатентовал вращающийся конвертер с подачей воздуха через днище и цапфы, конструкция которого сохранилась до настоящего времени.

² Передел жидкого фосфористого чугуна в сталь продувкой сжатым воздухом или другой окислительной газовой смесью в конвертере с основной футеровкой. Предложен в 1878 г. английским металлургом Сидни Томасом

Цель производства стали с применением кислорода состоит в выгорании (т.е. окислении) нежелательных примесей, содержащихся в шихте кислородно-конвертера. Основными элементами, которые таким образом превращаются в оксиды, являются углерод, кремний, марганец и фосфор [327]. Содержание серы снижается главным образом в течение предварительной обработки чугуна. Поэтому цель процесса окисления состоит в:

- снижении содержания углерода до определенного уровня (приблизительно от 4-5% обычно до 0,01 – 0,4%;
- корректировании содержания желательных примесных элементов;
- удалении нежелательных примесей в максимально возможной степени.

Производство стали в процессе BOF является непрерывным процессом, который включает следующие стадии:

- транспортирование чугуна из доменной печи и заливка его;
- предварительная обработка чугуна (десульфуризация, скачивание шлака);
- транспортирование, взвешивание и переливание во второй ковш;
- окисление в BOF (обезуглероживание и окисление примесей);
- вторичный металлургический передел;
- разливка (непрерывная и (или) в слиток).

Индивидуальные стадии и связанные с ними выбросы подытожены на рис. 7.2.



Рисунок 7.2: Последовательность процесса кислородно-конвертерного производства стали с указанием отдельных источников выбросов [200], [365]

Расплавленный чугун из доменной печи доставляется в сталеплавильный цех с использованием чугуновозов или миксерных ковшей. Ковши облицованы кирпичами из корунда, муллита и боксита или доломита с дополнительным изоляционным внутренним слоем между чугуном и огнеупорным материалом. Преобладающей системой становится сигарообразный миксерный ковш, миксер для жидкого чугуна, перевозимый по рельсовым путям. Миксер с боковой опорой может вращаться при выгрузке своего содержимого. Миксерные ковши

обычно конструируются на емкость от 100 до 300 т, а самые крупные вмещают 400 т. Конструкция миксерного ковша позволяет минимизировать тепловые потери. Тот факт, что миксерный ковш принимает двойное количество чугуна, принимаемого обычным миксером для жидкого чугуна, устраняет необходимость в системе хранения жидкого чугуна.

Срок службы миксерного ковша при нормальном использовании варьируется от 150 тыс. до 400 тыс. т. Десульфуризация в миксерном ковше сокращает его потенциальный цикл использования между заменами футеровки, и требуется особое внимание при выборе огнеупорных материалов.

При транспортировании в открытом ковше расплавленный чугун в некоторых случаях хранится в миксерах. Имеются поворотные горизонтальные стальные контейнеры, футерованные огнеупорным кирпичом. Они служат для компенсации флуктуаций производства в доменной печи и сталеплавильного цеха для уравнивания химического состава индивидуальных плавок доменной печи и для обеспечения равномерных температур. Современные миксеры для расплавленного чугуна имеют емкости до 2000 т.

7.1.2 Предварительная обработка жидкого чугуна

Целью является предварительная обработка для снижения содержания серы, фосфора и кремния в жидком чугуне [363].

156

В Европе используется только стадия десульфуризации при подготовке жидкого чугуна для процесса BOF. Дефосфоризация и удаление кремния в жидком чугуне являются дорогими и сложными технологическими процессами, которые едва ли появятся в обозримом будущем с учетом нынешних требований. Использование этих процессов зависит от сырьевых материалов, используемых в доменной печи, и требуемого качества стали [363].

Усовершенствование металлургического процесса доменной плавки и снижение поступления серы с коксом и другими восстанавливающими агентами привели к снижению уровней серы в жидком чугуне. В настоящее время установленные концентрации серы (обычно от 0,001 до 0,020%) для заливки в конвертер обычно корректируются с помощью установки для десульфуризации жидкого чугуна, размещенной в сталеплавильном цехе. Внешняя десульфуризация также дает выгоды с точки зрения защиты окружающей среды. Предшествующие доменному процессу меры обычно включают сниженное потребление кокса и агломерата, сниженные потери расплавленного металла и повышенное качество металлургического шлака. Это в конечном итоге приводит к снижению потребления огнеупорной футеровки и кислорода [363].

Агенты десульфуризации - это в основном карбид кальция, но также известь, оксид кальция, магнезия и изредка материалы, содержащие кальцинированную соду.

Самый распространенный метод десульфуризации горячего чугуна, используемый в Европе в настоящее время, основан на карбиде кальция, который вытеснил прежний процесс с использованием соды по причинам удаления отходов и управления качеством воздуха. Использование смеси карбида кальция,

магния и извести позволяет провести десульфуризацию жидкого чугуна до конечных уровней 0,0010%, независимо от начального содержания серы. Недостатки связаны с довольно низким истощением агента десульфуризации и необходимостью интенсивного перемешивания этого агента с расплавленным чугуном. Одной из характерных выгод является то, что процесс приводит к росту образования рыхлого шлака, который можно легко удалить. Использование магния в дополнение к карбиду кальция стало таким же обычным процессом, как и использование одного карбида кальция [363].

Процесс десульфуризации с использованием кальцинированной соды является эффективным процессом вследствие низкой температуры плавления и в результате легкой смешиваемости продукта с расплавленным чугуном. Его недостатки включают низкую специфичность, и необходимость поиска маршрута размещения образующегося содового шлака. Содержание серы в этих шлаках варьируется от 1 до 15%, а содержание NaO в них - от 5 до 40%, в зависимости используемого процесса. Рециклинг содового шлака на заводе является непрактичным предложением вследствие его высокой щелочности. До настоящего времени не был разработан экономичный альтернативный метод рециклинга. При удалении сульфит натрия разлагается на раствор гидроксида натрия и сульфида водорода вследствие наличия воды. Использование кальцинированной соды ограничено. Небольшие количества кальцинированной соды могут быть использованы в ограниченной степени в течение процесса скачивания шлака.

Процесс десульфуризации проводится с помощью ряда различных методов и систем. Обычно, как правило, десульфуризация имеет место:

- в желобе доменной печи;
- в завихренной струе при разливке;
- в ковше для транспортирования;
- в специально сконструированных металлургических аппаратах.

Известное оборудование десульфуризации включает погружную фурму, чайниковый ковш, вращающиеся и качающиеся аппараты, и встряхивающее оборудование для использования в ковше. Карбид кальция чаще всего используется в сочетании с погружной фурмой и методом перемешивания. Магний добавляется в порошкообразной форме в газ-носитель через погружную фурму. Процесс десульфуризации проводится в отдельных пунктах обработки.

Практическим примером является следующий: агент для десульфуризации продувается через сопло в расплавленный чугун с помощью азота или сухого воздуха. Сера связывается в шлаке, который течет выше расплавленного чугуна. Затем шлак удаляется в установке для отделения шлака, а жидкий чугун направляется из ковша в литейную яму для взвешивания. При необходимости в эти ямы добавляются вещества для регулирования процесса. В некоторых случаях выполняется второе удаление шлака с использованием шлаковой ложки. В большинстве случаев ковш взвешивают с помощью крановых весов. После взвешивания горячий чугун заливается в конвертер [363]. Различие между заполненным и порожним ковшом позволяет точно определить вес расплавленного чугуна, заливаемого в конвертер.

7.1.3 Окисление в кислородном конвертере

Для выполнения целей, упомянутых выше, нежелательные примеси окисляются с последующим удалением отходящих газов или шлака. В табл. 7.1 перечислены основные химические реакции в течение процесса окисления, проходящего в кислородном конвертере (BOF). Нежелательные примеси удаляются с отходящими газами или жидким шлаком. Энергия, требующаяся для повышения температуры и плавления поступивших материалов, поставляется с помощью экзотермической реакции окисления таким образом, что не требуется дополнительного подвода тепла. С другой стороны, для теплового баланса необходимо добавить лом или руду. В некоторых BOF и комбинированных процессах продувки газообразные углеводороды (например, природный газ) вдуваются как фурменные охладители (см. рис. 7.4).

ТАБЛИЦА 7.1: ОСНОВНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ТЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ОКИСЛЕНИЯ [200], [363]

Процесс окисления	Химическая реакция
Удаление углерода	$[C] + [O] \leftrightarrow CO$ (отходящие газы)
	$[CO] + [O] \leftrightarrow CO_2$ (отходящие газы)
Сопутствие окислению и примеси	
- Удаление кремния	$[Si] + 2[O] + 2[CaO] \leftrightarrow (2CaO \cdot SiO_2)$
- Реакция марганца	$[Mn] + [O] \leftrightarrow (MnO)$
- Дефосфоризация	$2[P] + 5[O] + 3[CaO] \leftrightarrow (3CaO \cdot P_2O_5)$
Деоксидирование	
Удаление остаточного кислорода с помощью ферросилиция	$[Si] + 2[O] \leftrightarrow (SiO_2)$
Реакция алюминия	$2[Al] + 3[O] \leftrightarrow (Al_2O_3)$

Примечания:

[] = растворен в горячем чугуне

() = содержится в шлаке

Работа кислородного конвертера является полу непрерывной. Полный цикл состоит из следующих стадий: загрузка скрапа и расплавленного чугуна, продувки кислорода, отбора проб и регистрации температуры и выпуска металла. В современных сталеплавильных цехах производится до 380 т в течение цикла в 30 – 40 мин.

В течение процесса используется ряд добавок для адаптации качества стали и образования шлака. В течение загрузки и разливки конвертер наклоняется. В течение продувки кислорода конвертер устанавливается в строго вертикальное положение [363].

Имеется несколько типов реакторов, используемых для процесса производства стали в кислородном конвертере. Чаще всего используемым типом является LD конвертер (Линц-Донавиц процесс), применяемый для плавки горячего чугуна с низким содержанием фосфора. Конвертер имеет форму груши, представляя собой реактор, облицованный огнеупорами, в который опускается водоохлаждаемая кислородная фурма. С помощью этой фурмы чистый кислород (>99%) с блока разделения воздуха продвигает жидкий горячий чугун (см. рис. 7.3) [363].

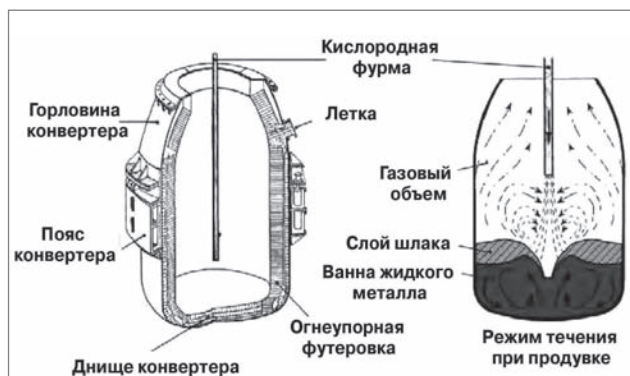


Рисунок 7.3: Кислородный конвертер [312]

Другими типами сталеплавильных реакторов являются процесс донной продувки кислородом Максхютте (ОВМ), который по-английски называется процессом Q-BOP (кислородно-конвертерный процесс с подачей кислорода в струе топлива через днище конвертера) (см. рис. 7.4) и процесс Loire-Wendel-Sprunck (LWS). Эти процессы отличаются от конвертера LD тем, что кислород и флюсы продуваются через погружные сопла через днище с использованием углеводородов для охлаждения [19], [312], [363].

159

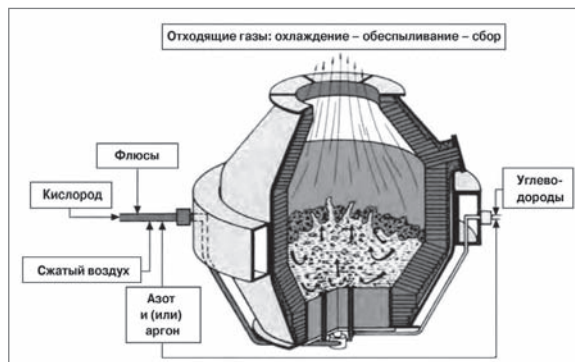


Рисунок 7.4: Разрез конвертера с донной продувкой (ОВМ) (процесс Q-BOP) [312]

Были разработаны также способы комбинированной продувки. При необходимости процесс в конвертере LD можно улучшить с помощью “донного перемешивания” аргоном (Ar) или азотом (N₂) через пористые кирпичи в футеровке днища на некоторых стадиях процесса. Наиболее часто применяются процесс LBE и процесс TBM. Пример последнего процесса схематически показан конвертер с системой комбинированной продувки сверху на рис. 7.5. Или же могут использоваться донные фурмы для вдувания чистого кислорода или других газов в течение процессов продувки, как способ LTE (донная продувка с

равномерным распределением элементов) и способ LD-НС (донная продувка с одновременной продувкой углеводородов). При этих комбинированных способах продувок происходит более интенсивная циркуляция расплавленной стали и улучшается протекание реакции между кислородом и расплавленным металлом [363].

В табл. 7.2 приведен обзор количества работающих кислородных конвертеров в ЕС по типу используемых процессов. Очевидно, что доминирует процесс LD.

ТАБЛИЦА 7.2: ТИПЫ, КОЛИЧЕСТВО И НОМИНАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ, РАБОТАЮЩИХ В ЕС [200], [365]

Процесс	Количество		Номинальная производительность (тыс. т/год)	
Годы	1997	2004	1997	2004
LD	17	5	12400	5400
LD с донной продувкой	44	36	64960	54300
LBE	22	10	27550	12700
OBM	5		2780	
KOBM	1		2200	
EOF	1		400	
TBM		5		10200
LWS	2	2	2900	2200
LET		2		4400
Итого	92	60	113190	89200

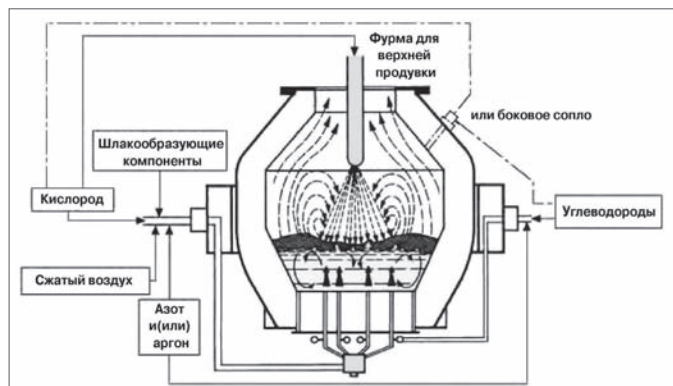


Рисунок 7.5: Схема конвертера с комбинированной верхней продувкой [312]

Количество потребляемого кислорода зависит от состава жидкого металла (т.е. содержания C, Si, P).

Прогресс в процессе производства стали измеряется с помощью отбора проб расплавленного металла. На современных заводах отбор проб осуществляется без прерывания кислородной продувки, с использованием вспомогательной фурмы. Те же самые результаты достигаются с помощью процедур стандартизации технологического процесса и (или) путем использования адекватного ди-

намического моделирования и мониторинга. С использованием такой практики поддерживается качество, производительность и снижаются выбросы дыма в течение наклона конвертера. Когда качество стали соответствует требованиям, продувка кислорода прекращается, а нерафинированная сталь разливается из конвертера в ковш. Затем расплавленная сталь транспортируется после внепечной обработки к установке для разливки стали.

Реакции окисления являются экзотермическими, таким образом, повышается температура расплавленного чугуна. Добавляются металлолом, железная руда или другие охладители для охлаждения плавки в конвертере и поддержания температуры приблизительно в диапазоне 1600-1700°С. Обычно добавляется приблизительно 190 кг лома/т жидкой стали, но иногда достигаются значения 300 кг/т жидкой стали и даже выше. Количество загружаемого скрапа зависит от предварительной обработки горячего чугуна и требуемой температуры разливки жидкой стали [145]. Изменения рыночной цены лома и требуемые технические характеристики стали также оказывают влияние [363].

Газы, образующиеся при кислородной продувке (конвертерный газ), содержат большие количества монооксида углерода. На большинстве металлургических заводов принимаются меры для утилизации конвертерного газа и использования его в качестве источника энергии. В открытых системах горения вводят воздух в газоход конвертера, таким образом, полностью или частично сжигая монооксид углерода. В системе подавления сгорания (без дожигания) подвижная юбка газохода опускается над горловиной конвертера в течение кислородной продувки. Таким образом, окружающий кислород не может попасть в газоход, и предотвращается сгорание монооксида углерода. Газ с высоким содержанием СО можно собирать, очищать и направлять в газгольдер для последующего использования в качестве топлива. Основным преимуществом системы без дожигания является меньший расход дымовых газов, так как не происходит сжигания, и не вводятся дополнительные воздух с азотом. Это приводит к повышению производительности, так как можно повысить скорость продувки кислорода. Используются как та, так и другая система. Тепло, образующееся при открытом дожигании, обычно утилизируется в котле-утилизаторе [363].

В кислородно-конвертерном процессе образуются также значительные количества пыли в течение загрузки лома и заливки горячего чугуна, продувки и в течение выпуска шлака и жидкой стали. Все сталеплавильные цеха в ЕС принимают меры для снижения выбросов пыли.

В течение процесса выплавки стали образуется конвертерный шлак. Контроль шлака предназначен для корректирования состава горячей стали и для получения шлака желаемого качества [363]. В течение образования шлака и после охлаждения принимаются некоторые меры, в зависимости от рыночных условий для оказания влияния на качество конвертерного шлака (см. рис. 7.6).

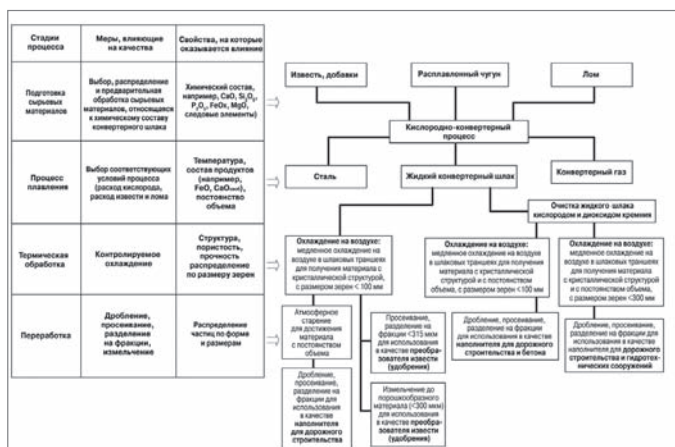


Рисунок 7.6: Переработка конвертерного шлака [116], [174], [345], [363]

Обычно шлак с кристаллической структурой дробится и просеивается, что является частью производственного процесса. Шлак можно также обрабатывать, пока он еще жидкий, с добавкой кремния для производства наполнителей с очень высоким качеством. Могут также добавляться фосфаты для производства сельскохозяйственных почвоулучшителей. Технические и химические свойства шлака делают его подходящим для применений в гражданском строительстве и при строительстве гидротехнических сооружений, а также в сельском хозяйстве [363]. Иногда шлак депонируют на полигонах.

7.1.4 Внепечная обработка стали

Обзор металлургических операций внепечной обработки стали приведен на рис. 7.7. Эти стадии осуществляются в ковше или в агрегате “печь-ковш”, в вакуумной системе или в специально спроектированных печах.



Рисунок 7.7: Общее представление об операциях внепечной обработки стали и очистке при сливе [200], [312], [363], [363], [365]

После существующего процесса в кислородном конвертере следует дополнительная обработка, включая ряд различных металлургических операций. Они относятся к “внепечной обработке стали”; такая обработка была разработана в ответ на все возрастающие требования к качеству, и их применение привело к существенному повышению производительности за счет снятия с конвертеров бремени, связанного с проведением металлургических процессов рафинирования стали. Основными целями внепечной обработки стали являются:

- смешение и гомогенизация
- корректировка химического состава в соответствии с анализом допусков
- корректировка температуры во время последующего процесса разливки
- раскисление
- удаление нежелательных газов типа водорода и азота
- повышение чистоты по оксидам путем отделения неметаллических включений.

Важным шагом во внепечной обработке стали является вакуумная обработка. Она служит главным образом для удаления газообразного водорода, кислорода, или остаточного углерода из стали под вакуумом ниже 50 Па. В настоящее время операции вакуумной обработки включают прецизионное обезуглероживание и раскисление нелегированной стали, обезуглероживание сплавов на основе хрома, удаление серы и включений, а также различные стадии легирования, гомогенизации, контроля температуры и предотвращения повторного окисления. При использовании вакуумной обработки можно снизить содержание водорода и углерода до содержаний в диапазоне от 0,0002 до 0,002%, соответственно. Вакуумная металлургия позволяет получать сталь повышенной чистоты, с пониженным содержанием газа и с более жестким контролем легирующих элементов [172].

Используются следующие методы вакуумной обработки:

- стенд для ковшей или камера дегазации;
- дегазация с рециркуляцией.

В настоящее время дегазация с рециркуляцией является самой распространенной практикой, хотя дегазация со стендом для ковшей снова возрастает.

Дегазация в ковше, в котором содержится окисленный металл, проводится в вакуумированном контейнере. За счет вакуумирования обеспечиваются повышенные скорости реакции, и снижается конечная концентрация нежелательных составляющих жидкой стали. Вакуумирование может сопровождаться вдуванием аргона через одну или более пористых пробок в днище ковша путем гомогенизации расплава через фурму или с помощью процесса перемешивания. В случае камеры дегазации имеется также возможность заметно снизить вдувание азота и достичь очень низких уровней серы (ниже 10 частей на млн.) благодаря очень интенсивному перемешиванию между шлаком и металлом.

В зависимости от индивидуальных требований, имеется возможность кор-

ректирования температуры расплава на этой стадии с помощью применения соответствующего сочетания:

- 1) добавки лома высокой степени чистоты (скрап для охлаждения) для охлаждения расплава;
- 2) добавки алюминия и продувки кислорода для повышения температуры;
- 3) электрического нагрева графитовыми электродами [363].

В расплав также добавляются легирующие элементы для достижения точной корректировки состава стали (например, Fe/Ni, Fe/Mo, Fe/Mn, Fe/Cr). Эти легирующие элементы находятся в твердой форме или заключены в полую проволоку, или вдуваются в виде порошка через фурму. Перед окончанием цикла перемешивания можно определить уровень кислорода с помощью специального зонда. На протяжении процесса перемешивания смесь пыли с газом поднимается вверх из ковша и отводится с помощью подвижного вытяжного зонда [275], [363].

В случае дегазации с рециркуляцией расплавленный металл подвергается непрерывной вакуумной обработке. В зависимости от конструктивного оформления процесса делается различие между системами порционной дегазации DH (Dortmund-Herder) и вакуумной дегазации с рециркуляцией RH (Ruhrstahl-Heraeus).

7.1.5 Разливка

7.1.5.1 Непрерывная разливка [373]

Как только достигается конечная стадия качества стали, сталь направляется в разливочный ковш к разливочной машине. Несколько лет назад стандартным методом была разливка расплавленной стали в многократно используемые литейные формы (постоянные формы или разливка в слитки) с помощью дискретного процесса. В настоящее время выбран метод непрерывной разливки, с помощью которого сталь разливается в ручьевоу установке непрерывной разливки стали (т.е. на слябы различного размера, полосы).

На рис. 7.8 приведена схема установки для непрерывной разливки стали.

Непрерывная разливка предлагает несколько важных выгод по сравнению с разливкой в слитки [363]:

- экономию энергии, снижение выбросов и потребление воды вследствие отсутствия слябингов и заготовочных станов;
- улучшение рабочих условий;
- высокий объем выпуска, превышающий 95%;
- высокую производительность.

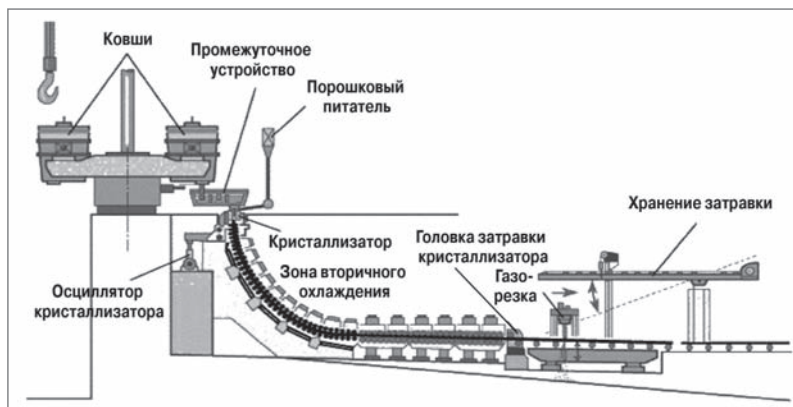


Рисунок 7.8: Схема установки непрерывной разливки с томильной печью и прокатным станом с горячей загрузкой [175], [200]

Со времени первого внедрения непрерывной разливки стали в промышленном масштабе в 1960-е годы ее доля в общем производстве стали выросла приблизительно до 97%. Во всем мире в настоящее время около 90% всей производимой стали разливается непрерывным методом. Помимо традиционной разливки в слитки машины непрерывного литья заготовок заменили также блюминги и слябинги и операции обычной горячей прокатки на заготовочных станах. В настоящее время почти все сорта стали подвергаются непрерывной разливке, так как необходимые предварительные условия, такие как раскисление и дегазация предусматриваются в рамках современной внепечной обработки стали.

Имеются различные типы машин непрерывного литья заготовок, включая вертикальные, криволинейные, радиальные и овального типа, в зависимости от их конфигурации.

Жидкая сталь разливается из конвертера в ковш, который транспортирует ее после внепечной обработки в промежуточное устройство машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Это промежуточный ковш с контролируемым выпуском. Ковши предварительно подогреваются перед приемом партии жидкой стали для предотвращения температурного расслоения в промежуточном устройстве.

Когда жидкая сталь достигает желаемой температуры, она разливается в промежуточное устройство. Из него она проходит через короткий водоохлаждаемый медный осциллятор кристаллизатора, в котором нет воздуха и который осуществляет возвратно-поступательные движения, которые препятствуют прилипанию стали. Кристаллизатор придает стали желаемую форму. Непрерывная разливка является процессом, который дает возможность разливать один или несколько ковшей жидкой стали для непрерывного литья заготовок, блюмов, слябов, балочных заготовок или полосы. Добавляется смазочное веще-

ство кристаллизатора в виде порошка или растительного масла. Когда металл покидает кристаллизатор, образуется “оболочка” из затвердевшей стали и заготовка, движущаяся по большому количеству роликов, с плавным изгибом переходит в горизонтальное положение. Затем бесконечная заготовка разрезается на куски с помощью газорезки. Слябы, блюмсы и заготовки разливаются таким образом.

В случае не самоподдерживающихся секций нагретая до красного ка-
ления заготовка с затвердевшей поверхностной зоной движется через ряд
приводных и неподвижных роликов, которые позволяют оболочке выдер-
жать ферростатическое давление. Поскольку сердцевина еще жидкая, заго-
товка тщательно опрыскивается водой и охлаждается до полного затверде-
вания (вторичное охлаждение). Этот процесс предотвращает образование
трещин в поверхностной зоне заготовки, которая все еще довольно тонкая,
а также защищает ролики от перегрева. Поддерживающие, транспорти-
рующие и движущие элементы обычно оснащаются несущим роликом с
внутренним и внешним охлаждением. В зоне вторичного охлаждения вну-
тренне охлаждение ролика становится необязательным, как только темпе-
ратура достаточно снизится с помощью струи воды. Как только заготовка
полностью отвердеет, ее можно резать на мерные размеры с помощью га-
зовых резаков, движущихся вместе с заготовкой, или с помощью ножниц.
Быстрый процесс охлаждения дает стали однородную микроструктуру при
отвердевании с благоприятными технологическими свойствами. Отвердев-
шая микроструктура заготовки может находиться под влиянием воздуха
или водяного охлаждения.

Форма заготовки определяется геометрией кристаллизатора. Нынешние
типы кристаллизатора включают прямоугольные, квадратные, круглые
или многоугольные секции. Для производства стальных форм можно ис-
пользовать кристаллизаторы, приблизительно похожие на поперечное се-
чение желаемой продукции. Типичные размеры заготовки в непрерывном
литье изменяются от 80–80 мм и около 310–310 мм, 600 мм (круг) и 450–
650 мм для блюмсов, в то время как машины для слябов позволяют по-
лучать размеры до 350 мм толщиной и до 2720 мм шириной. Машины для
литья заготовок могут работать с несколькими ручьями (в настоящее вре-
мя до 8) в одно и то же время, в то время как при литье слябов количество
ручьев ограничено двумя.

7.1.5.2 Отливка по форме, близкой к окончательной

С конца 1980-х годов была разработана непрерывная разливка для произ-
водства полосовой продукции. Такого рода литье можно отнести к типу
“отливка по форме, близкой к окончательной”, которые включают разлив-
ку тонкого сляба, разливку полосы по форме, близкой к окончательной,
которая известна также как прямая отливка полосы (DSC) и разливку тон-
кой полосы. В странах ЕС установленные мощности для таких процессов

составляют около 7 млн. т. Разливка тонкой полосы сокращает процесс от выплавки жидкой стали до горячепрокатанного листа; поэтому снижается общее потребление энергии и повышается эффективность использования материалов, но требуются другие вспомогательные металлургические стадии. Типичные размеры для разливки тонких слэбов изменяются в размерах от 15 до 50 мм толщины. Отливка по форме, близкой к окончательной, приводит к толщине заготовки меньше 15 мм и разливке тонкой полосы меньше 55 мм [312].

Этот процесс дополнительно обсуждается в этом справочном документе, но он включен также в BREF по цветной металлургии [188]. Решение о строительстве линии непрерывной разливки тонкой полосы в значительной степени зависит от местных условий и требуемого качества продукции. В случае отливки полосы по форме, близкой к окончательной, следует иметь в виду, что необходимы отдельные стадии внепечной обработки стали и, поэтому, выбросы и потребление энергии для этих видов обработки в отношении производства жидкой стали могут оказаться выше по сравнению с другими процессами [363]. Образование окалина в течение такого типа разливки обычно выше, чем при обычной разливке [384].

7.1.5.3 Разливка в слитки

При разливке в слитки жидкая сталь разливается в литейные формы. В зависимости от желаемого качества поверхности в течение разливки можно добавлять дегазаторы (такие как NaF) в изложницу. После охлаждения слиток извлекается из литейной формы и транспортируется на прокатные станы. Впоследствии после нагрева слитки прокатываются на слэбы, блюмы или заготовки. Во многих местах разливка в слитки была заменена непрерывной разливкой. В 2004 г. 3% стали, произведенной в странах ЕС-15, было произведено с помощью разливки в слитки. Для новых государств-членов (ЕС-10) эта доля составляет около 4,2%. Ожидается, что разливка в слитки в конечном итоге будет почти полностью заменена непрерывной разливкой, за исключением такой продукции, для которой требуется разливка в слитки с целью достижения необходимого качества, такого типа как тяжеловесные заготовки дляковки [363].

Разливка в слитки в случае электродуговых печей также все еще применяется для некоторых сортов стали и применений.

7.2 Нынешние уровни выбросов и потребления

7.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления и производства

На рис. 7.9 приведен обзор входящих и выходящих массовых потоков для кислородно-конвертерного производства стали.

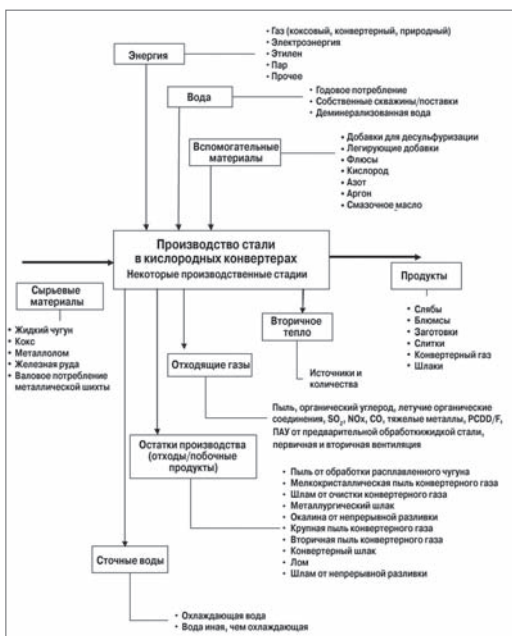


Рисунок 7.9: Общее представление о массовом потоке для кислородного конвертера [200]

Этот обзор можно использовать для сбора данных от единичных кислородно-конвертерных цехов.

Общая схема процесса выплавки стали в кислородном конвертере представлена на рис. 7.10.

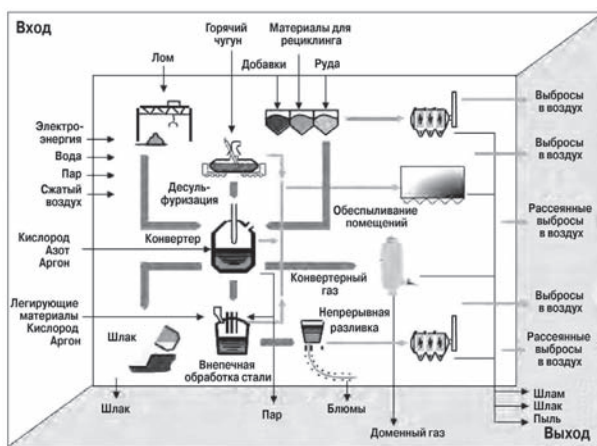


Рисунок 7.10: Общая схема процесса кислородно-конвертерного производства стали с указанием индивидуальных операций и входных и выходных потоков [200], [365]

Удельные показатели для потоков материалов и удельные выбросы были определены для кислородных конвертеров. Эти данные представлены в табл. 7.3 по данным, полученным от различных конвертеров, работающих в различных государствах-членах ЕС.

ТАБЛИЦА 7.3: ВХОДНЫЕ/ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ ОТ 21 ИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГОСУДАРСТВАХ-ЧЛЕНАХ ЕС [220], [234], [359], [363], [365], [372]

Вход			Выход		
Сырьевые материалы			Продукты (1)	кг/т жидкой стали	1000,0
Жидкий чугун (2)	кг/т жидкой стали	788-931	Слябы (3)		
Лом	кг/т жидкой стали	101 - 340	Блюмы		
Железная руда	кг/т жидкой стали	0,02 – 19,4	Заготовки		
Другие материалы на основе железа	кг/т жидкой стали	0 - 60	Слитки		
Кокс	кг/т жидкой стали	0 0,4	Литье		
Известь	кг/т жидкой стали	30 - 67	Энергия		
Доломит	кг/т жидкой стали	0 – 28,4	Конвертерный газ	МДж/т жидкой стали	0(4) 350 - 700
Легирующие (3)	кг/т жидкой стали	1,3 – 33	Пар (6)	МДж/т жидкой стали	(0) 24 – 335
Газы			Выбросы		
Кислород	м3/т жидкой стали	49,5 – 70	Пыль (7) (8)	г/т жидкой стали	14 - 143
Аргон	м3/т жидкой стали	0,55 – 1,2	Cr (7)	г/т жидкой стали	0,01 – 0,075
Азот	м3/т жидкой стали	2,3 – 18,2	Fe	г/т жидкой стали	45,15
			Cu (7)	г/т жидкой стали	<0,01 – 2,72
Энергия (9)			Pb (7)	г/т жидкой стали	0,17 – 0,98
Природный газ	МДж/т жидкой стали	49,5 - 730	Mn (7)	г/т жидкой стали	0,3 – 1,56
Электроэнергия	МДж/т жидкой стали	35 - 216	NOx	г/т жидкой стали	8,2 – 55 (100)
Коксовый газ	МДж/т жидкой стали	0 - 800	CO (10)	г/т жидкой стали	393 – 7200 (18000)
Доменный газ	м3/т жидкой стали	1,84 – 17,6	CO2 (11)	кг/т жидкой стали	22,6 - 174
			PAH (12)	мг/т жидкой стали	10
Общий пар	МДж/т жидкой стали	13 - 150	PCDD/F	Мкг I-TEQ/т жидкой стали	0,043 – 0,094
Сжатый воздух	нм3/т жидкой стали	8 - 26	Остатки производства (отходы/побочная продукция)		

Вход			Выход		
			Шлак от десульфуризации	кг/т жидкой стали	3 – 40
Вода	м ³ /т жидкой стали	0,8 – 41,7	Конвертерный шлак	кг/т жидкой стали	85 - 165
			Шлак от внепечной обработки стали	кг/т жидкой стали	9 - 15
			Выплески	кг/т жидкой стали	2,8 - 15
			Пыль	кг/т жидкой стали	0,75 - 24
			Шлак от непрерывной разливки	кг/т жидкой стали	4 – 5,7
			Прокатная окалина	кг/т жидкой стали	2,3 – 7,7
			Пустая порода	кг/т жидкой стали	0,05 - 64
			Сточные воды	м ³ /т жидкой стали	0,3 - 6

(1) Сумма продуктов (слябы, блюмсы, заготовки или слитки). Некоторые конвертеры работают с машинами для непрерывной разливки слабов в сочетании с машинами для непрерывной разливки блюмсов, заготовок или разливкой слитков

(2) Можно сделать различие между расплавленным чугуном с высоким содержанием фосфора (1,5 – 2,2% Р) и низким содержанием фосфора (0,08 – 0,25% Р)

(3) Слябы являются наиболее часто производимым сортом, получаемым в результате работы BOF. Продукция с большой длиной, такая как заготовки и блюмсы, очень часто производятся после выплавки в EAF

(4) Нуль в случае, когда конвертерный газ не утилизируется

(5) Важными легирующими добавками являются Fe-Ti, Fe-W, Fe-Ni, Fe-V, Fe-Si и Fe-Mo

(6) Высокие значения в случае подавления дожигания и утилизации тепла отходящих газов в виде пара и горячей воды, нуль в случае количественной утилизации конвертерного газа без какой-либо утилизации тепла (без генерации пара)

(7) Высокие значения в случае менее эффективного вторичного обеспыливания

(8) Информация о PM10 и PM2,5 обычно в настоящее время не имеется

(9) Широкий диапазон поступающей энергии показывает различие методов управления энергией в различных местах

(10) Сообщается широкий диапазон вследствие различных видов утилизации газа. Информация об определении данных типа методов отбора проба, методов анализа, расчета и сравнительных условий не имеется в достаточном количестве. Данные в таблице являются среднегодовыми значениями и относятся к 2004 г. Данные по выбросам отражают ситуацию после очистки и включают первичную и вторичную вентиляцию

(11) Высокие значения в случае частичного и полного сжигания конвертерного газа – ориентировочные значения. Выбросы зависят также от поступления энергии и индивидуальных значений по энергии и материалам

(12) PАН как Borneff6, данные имеются только для одной установки.

Значения между скобками представляют особые условия или аномальную ситуацию. Они не считаются репрезентативными для работы кислородных конвертеров

7.2.2 Экологические проблемы для производства стали в кислородном конвертере

7.2.2.1 Выбросы в воздух

Процесс производства стали в кислородном конвертере является источником главным образом выбросов пыли, образования твердых отходов/побочных продуктов и сточных вод. Когда применяются методы очистки для снижения выбросов, происходят взаимодействия между средами. В основном, п.п. 7.2.2.1 – 7.2.2.4 описывают самые важные экологические проблемы в процессе выплавки стали в кислородном конвертере [363].

Выбросы пыли в воздух от всех ниже упомянутых процессов/источников выбросов были подытожены в табл. 7.3 в предыдущем разделе.

В табл. 7.4 показаны другие загрязнители воздуха, не отмеченные в табл. 7.3.

ТАБЛИЦА 7.4: ДРУГИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ ВОЗДУХА [234]

Загрязнитель воздуха	Выбросы (мг/т жидкой стали)
SO _x	3790 - 13400
HF	116 - 760
CH ₄	215
Cd	200 - 2316
Ni	572 - 2316
Zn	66154

Примечание: значения соответствуют двум конвертерам в ЕС

В зависимости от качества используемого лома в выбросах от загруженно-го лома могут находиться другие органические загрязнители, такие как РСВ и хлорбензолы, в результате термического разрушения органических материалов (масла, краски, смазочные средства или пластмассы). Нет данных о выбросах этих загрязняющих веществ. Весьма целесообразно провести проверку этих выбросов, а также баланс обнаруженных токсичных веществ.

На основе данных о материальных потоках, выбросы в воздух происходят на следующих стадиях процесса.

Предварительная обработка жидкого чугуна:

- переливание из ковша в ковш и скачивание шлака;
- десульфуризация жидкого чугуна.

Работа кислородного конвертера:

- загрузка конвертера;
- продувка конвертера кислородом (образование конвертерного газа);
- разливка жидкой стали и шлака из конвертера.

Внепечная обработка стали:

- операции выпуска стали (т.е. ковши, ковши-печи, конвертеры и другое оборудование, используемое при внепечной обработки стали);
- дегазация;

- подогрев огнеупоров (ковша, промежуточного разливочного устройства, дегазатора);

- обращение с добавками.

Разливка:

- слитки или непрерывная разливка.

Рассеянные выбросы:

- рассеянные выбросы происходят в течение всех вышеупомянутых процессов, когда отходящие газы не полностью улавливаются.

Обычно конвертерный газ (отходящие газы конвертера) считаются основными отходящими газами. Последующее удаление и обеспыливание рассматриваются как основная система обеспыливания. Выбросы от всех других источников, связанные с вышеупомянутыми процессами выплавки стали в кислородном конвертере, обычно рассматриваются как вторичные отходящие газы и выбросы системы вторичного обеспыливания. Иногда выбросы от предварительной обработки жидкого металла удаляются и очищаются отдельно. Они обычно являются частью системы вторичного обеспыливания.

Выбросы от предварительной обработки горячего металла

В течение переливания из ковша в ковш и скачивания шлака происходят выбросы пыли. В выбросах в воздух от процесса десульфуризации, последующего отделения шлака и взвешивания образуется до 10000 мг/нм³ или 1000 г/т стали [19], [76]. Эффективный сбор выбросов от предварительной обработки горячего металла может быть достигнут в течение этих процессов с помощью применения надлежащих зонтов и пылезащитных кожухов. Отходящие газы впоследствии очищаются с помощью мокрых скрубберов или любых других систем обеспыливания с такой же самой эффективностью удаления, как у рукавных фильтров или электрофильтров (вторичные или отдельные системы обеспыливания) [363].

Когда пыль эффективно удаляется и впоследствии проходит через рукавный фильтр (или электрофильтр), можно достичь уровня выбросов меньше 10 мг/нм³ (около 1 г/т жидкой стали).

В некоторых случаях карбид кальция используется в процессе десульфуризации. Когда используется вода для целей охлаждения, для того чтобы предотвратить выбросы пыли, наблюдались тяжелые проблемы с запахами. Причиной этого было образование H₂S и органических сульфидов, которые, вероятно, появляются при реакции серы с остаточным карбидом. Путем использования оксида кальция вместо карбида кальция шлак можно охлаждать на воздухе при значительно меньших проблемах с запахом.

На одной установке выбросы SO₂ непрерывно контролировались. В 2006 г. ежесуточные значения выбросов SO₂ находились в диапазоне от 20 до 100 мг/нм³ (см. рис. 7.21). Около 85% получасовых средних значений SO₂ находились ниже 100 мг/нм³ (сравнительный период с января до мая 2005 г.); однако единичные значения были значительно выше (до 340 мг/нм³) [277].

Выбросы при работе кислородных конвертеров

Выбросы при работе кислородных конвертеров происходят в течение:

- загрузки конвертеров;
- продувки конвертеров кислородом;
- выбросов металла в течение кислородной продувки;
- выпуска жидкой стали и шлака из конвертера.

Выбросы при загрузке, продувке, выбросах металла в течение продувки конвертера и выпуске жидкой стали и шлака являются особенно важными, и они описаны здесь более подробно.

Вспомогательная вентиляция и системы обеспыливания при работе конвертеров

Пыль выбрасывается в течение всех вышеупомянутых процессов, таких как загрузка лома и заливке жидкого чугуна, продувки кислорода и в течение выпуска из конвертера. В течение операций загрузки или выпуска конвертер наклоняется. “Вспомогательная вентиляция” и система обеспыливания часто устанавливаются для уменьшения выбросов пыли, которые происходят. Система вспомогательной вентиляции обычно состоит из вытяжного зонта выше конвертера в наклонном положении и кожуха вокруг остальных конвертера. В течение продувки вспомогательная система удаляет большую часть выбросов, которые не улавливаются основной системой вентиляции. Последующая очистка удаляемых газов обычно выполняется с использованием рукавного фильтра или электрофильтра.

Основная вентиляция и системы обеспыливания при работе конвертера

В течение продувки кислорода конвертерный газ выделяется из конвертера. В этом газе содержится монооксид углерода (CO) и большое количество пыли (главным образом состоящей из оксидов металла, включая тяжелые металлы), относительно небольшое количество оксидов серы (SO₂) и оксидов азота (NO_x). Кроме того, происходит выброс очень небольших количеств PCDD/F и ПАХ (см. табл. 7.3).

В основном, можно использовать две системы для утилизации энергии из конвертерного газа:

- частичного/полного сжигания;
- подавления дожигания.

В системе полного (или открытого) сжигания технологический газ из конвертера сжигается в газоход. Для сжигания используется окружающий воздух основной вентиляции. В этом случае в технологическом газе содержится приблизительно 15 – 20 кг пыли на тонну жидкой стали, и приблизительно 7 кг монооксида углерода на тонну жидкой стали. Энергия утилизируется путем использования физического тепла этого газа в котле-утилизаторе. Отметим, что системы открытого сжигания характеризуются большим удельным расходом (500 – 1000 нм³/т жидкой стали), по сравнению с системами подавления дожигания (50 – 100 нм³/т жидкой стали). Это связано с введением воздуха в газоход конвертерного газа.

Конвертерный газ следует классифицировать как низкокалорийный газ с точки зрения его теплотворной способности и числа Воббе¹, но принадлежит к группе высококалорийных газов с точки зрения его параметров горения (и в

частности, его температуры сгорания). Состав конвертерного газа изменяется в зависимости от используемого процесса, метода утилизации, в частности от объема кислорода (см. табл. 7.5).

ТАБЛИЦА 7.5: СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА [200]

Параметр	Единица	Среднее значение (1)	Диапазон значений
Состав			
CO	% об.	72,5	55 – 80
H ₂	% об.	3,3	2 – 10
CO ₂	% об.	2	10 – 18
N ₂ + Ar	% об.	8,0	8 - 26
Характеристики			
Плотность	кг/м ³	1,33	1,32 – 1,38
Низшая теплотворная способность	кДж/м ³	9580	7100 - 10100
Теоретическая температура факела	оС	2079 (2)	
Удельное потребление воздуха (влажного)	м ³ /м ³	1,81	1,34 – 1,90
Удельное количество отходящих газов (влажных)	м ³ /м ³	2,43	

(1) Данные по газообразным продуктам сгорания относятся к условиям после конвертера в газгольдере при температуре 15оС, давлении 60 миллибар, барометрическом давлении 1013 Па и влажности 100%

(2) При общей влажности и 0оС

174

На рис. 7.11 показан сбор конвертерного газа в случае подавления дожигания. Она иллюстрирует как содержание CO в конвертерном газе, которое является ключевым параметром для использования, изменяется во времени. С учетом низкого содержания CO и по причинам безопасности конвертерный газ, образующийся в начале и конце продувки (несколько минут в обоих случаях), не собирается, но сжигается на свече после обеспыливания [363].

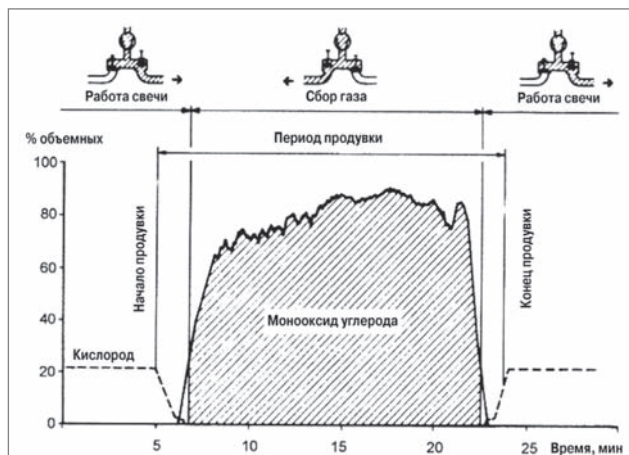


Рисунок 7.11: Сбор конвертерного газа в случае подавления сжигания [200]

¹ Число Воббе газообразного топлива (нижнее или высшее) – отношение объемной теплоты сгорания к корню квадратному из относительной плотности газообразного топлива.

Пыль обычно удаляется из конвертерного газа с помощью скрубберов Вентури, но также и с помощью сухих или мокрых электрофильтров. Когда используется подавление сжигания конвертерного газа, с помощью скрубберов Вентури можно достичь концентрации пыли 5 – 10 мг/нм³ в сетевом газе (возможны также более высокие концентрации, до 50 мг/нм³ в зависимости от распределения твердых частиц по размерам). Это соответствует 1 г/т жидкой стали. Содержание железа в утилизируемой пыли составляет 42 – 75%. Пыль в газораспределительной сети удаляется на участке сжигания газа [363]. До и после продувки сравнительно небольшие количества собранных отходящих газов сжигаются на свече, как показано на рис. 7.11 и 7.23.

При использовании полного сжигания выбросы пыли в атмосферу находятся в диапазоне 25 – 100 мг/нм³ после очистки. В результате намного большего расхода отходящих газов при открытом сжигании это соответствует выбросам пыли до 180 г/т жидкой стали. В табл. 7.6 подытожены выбросы в воздух от BOF при подавлении сжигания после очистки.

ТАБЛИЦА 7.6: УДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЫБРОСОВ В ВОЗДУХ ОТ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ С ПОДАВЛЕНИЕМ СЖИГАНИЯ СО ПОСЛЕ ОЧИСТКИ, ЕСЛИ НЕТ ДРУГИХ УКАЗАНИЙ [65], [365], [372]

Компонент		Удельные значения выбросов	Единица
Расход газа (конвертерного) при работе основной вентиляции	Расход газа основной вентиляции	65000 - 300000	нм3/ч
	Полное сжигание	500 - 100	нм3/т жидкой стали
	Подавление сжигания	50 - 120	нм3/т жидкой стали
Пыль от продувки кислорода	Без очистки	15 - 20	кг/т жидкой стали
	После первичного обеспыливания (BOF газ)	0,3 - 55	г/т жидкой стали
	Пыль с фильтра/шлам	12 - 23	кг/т жидкой стали
Расход для вспомогательной вентиляции		1300 - 4800	нм3/т жидкой стали
		300000 - 3441000	нм3/ч
Пыль от загрузки и слива	Без очистки	200 - 1000	г/т жидкой стали
	После вторичного обеспыливания	2 - 60	
	Не уловлено при закрытии	8 - 120	
Пыль от вторичного обеспыливания	Пыль с фильтра/шлам	0,1 - 1,2	кг/т жидкой стали
Тяжелые металлы	Al	0,60 - 0,68	г/т жидкой стали
	As	0,00 - 0,002	
	Cd	0,07 - 0,20	
	Cr	0,00 - 0,04	
		0,004	
	Cu	2,8 - 83	
	Fe	0,00 - 0,02	
	Hg	1,45 - 2,40	
	Mg	2,7 - 60	
	Mn	1,5 - 20	
Оксиды серы (SO ₂)	Pb	8,2	
	Zn	0,4 - 5,5	

Компонент	Удельные значения выбросов	Единица
Оксиды азота (NOx)	5,0 – 20	г/т жидкой стали
Монооксид углерода (CO)	7,0 – 16	кг/т жидкой стали
Фторид водорода (*)	0,008 – 0,01	г/т жидкой стали
РАН (Borneff 6)	0,08 – 0,16	мг/т жидкой стали
PCDD/F	<0,001 – 0,11	Мкг I-TEQ/т жидкой стали

(*) Когда плавиковый шпат (CaF₂) добавляется как флюс при десульфуризации горячего металла, выбросы фторидов могут быть немного выше.

Отметим, что существуют оттенки между подавлением сжигания и полным сжиганием; на некоторых заводах используют полное сжигание, в то время как на других заводах используют частичное подавление сжигания, а на других заводах все еще полностью подавляется сжигание конвертерного газа. В некоторых случаях конвертерный газ не утилизируется, а сжигается на свече. Однако подавление сжигания и последующая утилизация конвертерного газа является самым распространенным процессом. В случае подавления сжигания требуется большой газгольдер для непрерывного использования с контролируемым качеством конвертерного газа. Должно быть также местное использование утилизированного газа. Отсутствие вышеупомянутых предварительных условий объясняет, почему все еще имеются сталеплавильные цеха с кислородными конвертерами в ЕС, на которых не утилизируется конвертерный газ [363].

Фурменное отверстие является важным аспектом выбросов пыли. Так как кислородная фурма должна быть выдвигаемой, пыль в газоходе отходящих газов может проскакивать через фурменное отверстие и достигать атмосферы здания. Эти выбросы можно предотвратить с помощью экранов и продувки паром или инертным газом. Выбросы РАН можно снизить с помощью. Огнеупоров без смолы.

Другие источники выбросов в процессе производства стали в кислородных конвертерах, включая внепечную обработку стали и непрерывную разливку

Другие выбросы, упомянутые в п. 7.2.2.1 в кислородном конвертере, происходят в течение:

- операций выпуска (т.е. в ковшах, печах-ковшах, конвертерах и другом оборудовании, используемом при внепечной обработке стали);
- дегазации;
- подогрева огнеупоров (ковша, промежуточного разливочного устройства, дегазатора);
- манипуляций с добавками;
- непрерывного литья.

Некоторые из вышеупомянутых процессов связаны со вспомогательной вентиляцией и системой обеспыливания.

Выбросы пыли от различных процессов находятся в диапазоне 1 – 275 г/т жидкой стали [38]. Выбросы в воздух после очистки находятся в диапазоне 0,1 – 50 г/т жидкой стали.

Что касается производства стали, содержащей свинец (см. п. 7.3.2.3), то выбросы происходят в течение добавки свинца в ковш, в котором находится жидкая сталь. Образующиеся отходящие газы отсасываются и обычно очищаются в рукавном фильтре, предназначенном именно для этих отходящих газов, позволяющем достичь остаточное содержание пыли ($<5 \text{ мг/м}^3$). Но сам по себе ковш не является газоплотным, и, таким образом, происходят также и рассеянные выбросы, которые не улавливаются, но имеют существенное значение. Информация об удельных расходах и выбросах свинца не имеется. Такие выбросы свинца являются типичными для конвертеров для сортового проката из сталей, легированных свинцом, для вырубных прессов с числовым программным управлением [363].

Рассеянные выбросы из кислородных конвертеров

Рассеянные выбросы характерны для всех вышеупомянутых процессов, когда выбросы не полностью улавливаются. Рассеянных выбросов следует во всех случаях избегать. По этой причине должна быть оптимизирована, в частности, работа первичного и вторичного удаления. Обычно удаляемый поток в системах вторичного обеспыливания бывает довольно высоким. Эффективной мерой для предотвращения или снижения рассеянных выбросов и для ограничения необходимых удаляемых потоков является улавливание выбросов как можно ближе к источнику выбросов. Дополнительное устройство у крыши обычно считается менее экономичным вариантом, чем удаление у источника. Но, как уже упоминалось, не всегда возможно улавливать всю пыль; поэтому система отвода пыли под крышей может быть эффективным вариантом с экологической точки зрения, для того чтобы снизить общие выбросы от металлургического завода.

Как видно в табл. 7.7, большие объемы газа должны очищаться с относительно низкими концентрациями выбросов. Однако по всему миру только на нескольких заводах применяется отвод пыли под крышей.

ТАБЛИЦА 7.7: ИЗМЕРЕНИЕ ФОНАРНЫХ ВЫБРОСОВ ПЫЛИ ИЗ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ [15]

Единица	PM10 (мг/м ³)	Общая пыль (мг/м ³)	Расход газа (м ³ /ч)	Общий массовый поток пыли (кг/ч)
Выше крыши помещения для шихтоподготовки (1)				
Отверстие в крыше 1	1,8	3,7	1112000	4,1
Отверстие в крыше 2	1,5	4,4	1199000	5,3
Отверстие в крыше 3	2,2	4,5	1089000	4,9
В среднем:	1,8	4,2		
Итого:			3400000	14,3
Выше крыши здания конвертерного цеха				
Отверстие в крыше 1 (с 2 работающими конвертерами)	NA	2 - 13	1430000 - 2120000	5 - 26
Среднее из 10 среднесуточных значений	NA	7,2	1980000	14,3

Единица	PM10 (мг/м3)	Общая пыль (мг/м3)	Расход газа (м3/ч)	Общий массовый поток пыли (кг/ч)
Отверстие в крыше 1 (с одним работающим конвертером)	NA	2 - 22	1430000 - 2120000	5 - 46
Среднее из 10 среднесуточных значений	NA	3	1980000	2364

(1) Измерения проводились в июле и августе 2005 г. согласно VDI 2463, часть 7

Примечания: Это были непрерывные измерения в течение 10 дней в случае здания конвертера. Для помещения шихтоподготовки было отобрано только 6 часовых проб за два дня

NA = данных нет.

Рассеянные выбросы твердых частиц частично отлагаются в производственных цехах или удаляются через отверстия в крыше от открытых дверей и окон.

В настоящее время не имеется стандартизованного способа измерения выбросов для крыш (фонарных выбросов), в связи с чем оценка этих выбросов варьируется очень широко. В табл. 7.7 представлены результаты измерений в соответствии с методикой VDI 2463, часть 7f (Союз немецких инженеров), или данные по выбросам пыли в районе крыши. Хотя использовалась эффективная система вспомогательной вентиляции и система обеспыливания с зонтом, расположенным вблизи источников выбросов, при отводимом потоке с расходом 300000 – 1000000 м³/ч, значительное количество пыли все еще выбрасывалось через отверстия в крыше. По отношению к средней выплавке стали, удельные выбросы пыли составляли примерно 100 г/т. В общем, выбросы через крышу оцениваются в диапазоне 8 – 120 г/т нерафинированной жидкой стали. Некоторые условия процесса, например брызги металла из конвертера могут привести временно к повышенным значениям выбросов. Реальные выбросы в значительной степени зависят от эффективности улавливания и последовательности загрузки лома и заливки расплавленного чугуна [363].

В случае одного конвертерного цеха, где не было системы вторичного обеспыливания, рассеянные выбросы пыли в течение переливания из ковша в ковш на разливочной площадке, как сообщалось, составили 4 т в год, а в течение заливки чугуна и слива стали с одного конвертера – 56 т в год [359].

7.2.2.2 Сточные воды [363]

Вода используется для следующих целей:

- как скрубберная вода от очистки конвертерного газа
- как вода от создания вакуума
- как вода от прямого охлаждения для непрерывной разливки или разливки в слитки.

Для оптимизации использования сточных вод на металлургическом заводе с полным циклом единичные потоки могут быть смешаны и впоследствии очищены вместе (см. главу A2.4). В таких случаях информация о составе сточных вод от единичной производственной стадии не имеется в наличии [363].

Сточные воды от очистки конвертерного газа

Конвертерный газ очищается либо по мокрому, либо по сухому способу. В случае мокрой очистки обычно образуются сточные воды, которые подверга-

ются рециклингу после очистки. Эта очистка очень часто выполняется в две стадии: отделение крупных частиц (размер частиц >200 мкм) с последующим осаждением в радиальных отстойниках. Добавляются флокулянты для улучшения осаждения.

Цель электрической флокуляции состоит в удалении небольших и медленно осаждающихся частиц с помощью электрического поля. Для частиц одинаковой полярности характерна тенденция отталкиваться друг от друга, вследствие чего замедляется процесс осаждения. В случае электрической флокуляции поверхность частиц разряжается, когда они проходят через электрическое поле, что дает возможность скопления частиц.

Система электрической флокуляции состоит из нескольких сегментов, которые установлены в середине отстойника вблизи входа сточных вод. Каждый сегмент состоит из одного анода и четырех катодных трубок. Постоянный ток проводится от анода к катодам через сточные воды, и, таким образом, создается электрическое поле.

Емкость (электрическая) отстойника заметно возрастает, и нет необходимости в химической флокуляции. Процесс характеризуется также эффектом противодействия отложению, благодаря чему предотвращается осаждение частиц на поверхностях отстойника [363].

Шлам обезвоживается с помощью вращающихся вакуум-фильтров, камерных фильтр-прессов или центрифуг. Не имеется репрезентативных данных о расходе и качестве очищенных сточных вод после подпитки.

Сточные воды от создания вакуума

Для вакуумной обработки обычный удельный расход технической воды от создания вакуума находится в диапазоне от 5 до 8 м³/т жидкой стали. В нескольких случаях удельный расход технической воды бывает выше, в одном случае 41 м³/т жидкой стали (см. табл. 7.3). Эта вода почти полностью подвергается рециклингу. Следует упомянуть, что не вся жидкая сталь должна подвергаться вакуумной обработке. Поэтому средневзвешенный общий выход сточных вод от вакуумной обработки составляет 1,3 м³/т жидкой стали. Данные о составе и очистке или рециклинге не имеются [140], [363], [365]. Обычно эти сточные воды очищаются вместе с другими потоками от прокатных станов, когда они находятся в непосредственной близости.

Сточные воды от непрерывной разливки

Выбросы от непрерывной разливки образуются при работе системы непосредственного охлаждения. Эта вода используется для непосредственного охлаждения слабов, блюмов, заготовок и машин непрерывной разливки. Эта вода очень часто очищается вместе со сточными водами от прокатных станов, когда она находится в непосредственной близости от них. Количество сточных вод в значительной степени зависит от местных условий и управления водой. Удельный расход воды для непрерывной разливки составляет обычно от 5 до 35 м³/т жидкой стали [72]. Количество сточных вод, которое может появляться при непрерывной разливке, составляет до 2 м³/т жидкой стали.

7.2.2.3 Остатки процесса, такие как отходы и побочные продукты

Различные твердые остатки от процесса выплавки стали в кислородных конвертерах представлены с их удельными количествами в табл. 7.8 [363] в рамках обследования европейских производителей стали.

ТАБЛИЦА 7.8: ВИД И УДЕЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО ТВЕРДЫХ ОСТАТКОВ ОТ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ [363], [365]

Образующиеся твердые остатки (отходы/побочные продукты)	Удельное количество (диапазон) (кг/т жидкой стали)
Шлак от десульфуризации	3 - 21
Конвертерный шлак	85 - 165
Шлак от внепечной обработки стали	9 - 15
Шлак от непрерывной разливки	4,0 - 5
Брызги металла	2,8 - 15
Мелкая и грубая пыль	0,75 - 24
Прокатная окалина от непрерывной разливки	2,3 - 6,4
Пустая порода	0,05 - 6

Из табл. 7.8 можно получить следующие процентные доли: конвертерный шлак: приблизительно 80%, шлак от десульфуризации: приблизительно 10%, шлак от внепечной обработки стали: приблизительно 7% и шлак от непрерывной разливки: приблизительно 3% [363].

На конвертерный шлак приходится самая большая доля, как показано в табл. 7.9.

ТАБЛИЦА 7.9: ОБРАЗОВАНИЕ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА И ШЛАКА ОТ ВНЕПЕЧНОЙ СТАЛИ [174]

Виды шлаков	Количество (тыс. т)	(%)
Конвертерный шлак	9424	87,3
Шлак от внепечной обработки стали, включая шлак от десульфуризации и от внепечной обработки	1368	12,7
Итого	10792	100

Примечание: данные за 2004 г. относятся к следующим странам ЕС: Австрии, Бельгии, Германии, Дании, Испании, Франции, Финляндии, Люксембургу, Нидерландам, Швеции, Словакии

Шлак от десульфуризации

Шлак от десульфуризации является гетерогенным шлаком, который только частично расплавлен. Состав этого шлака в значительной степени зависит от используемых агентов для десульфуризации. Пример состава такого шлака представлен в табл. 7.10.

ТАБЛИЦА 7.10: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ШЛАКА ОТ ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ ГОРЯЧЕГО МЕТАЛЛА [363]

Параметр	Концентрация (% вес.)	Параметр	Концентрация (% вес.)
CaO	27,0	MnO	≤0,5
SiO ₂	18,0	P ₂ O ₅	≤0,2
Al ₂ O ₃	8,0	Cr ₂ O ₃	≤0,1
MgO	10,0	Свободный CaO	≤5
Общее Fe	20,0	S	≤4
Металлическое Fe	15,0	CaO/SiO ₂	1,5

Относительно высокое содержание серы и неудовлетворительные механические свойства не позволяют шлаку для десульфуризации стать идеальным шлаком для повторного использования. Он обычно подвергается рециклингу в смеси агломерационной шихты на металлургических заводах с полным циклом или частично используется при строительстве полигонов, но не используется при строительстве защитных барьеров. Он также подвергается полигонному депонированию (см. рис. 7.12) [363]. Новые исследования продемонстрировали, что шлак может использоваться как содержащий серу почвоулучшитель, так что может быть новое применение для этого вида шлака.



Рисунок 7.12: Виды использования шлака от десульфуризации металла в ЕС [30]

Конвертерный шлак

Химический состав конвертерного шлака зависит от используемого процесса (см. табл. 7.11) [46], [363], [365], [385]

ТАБЛИЦА 7.11: ПРИМЕРЫ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА

Процесс	LD-AC	LD 1	LD 2	LD 3	LD 4
CaO	50,0	50,0	52,4	51,4	44,2
Свободный CaO	≤7	≤10	8,2	4,8	<0,2
SiO ₂	9,0	15,0	12,6	14,8	23,7
CaO/SiO ₂	4	2,5			
Al ₂ O ₃	≤2	≤2	1,6	1,3	1,6
MgO	≤3	≤3	3,1	4,1	1,6
Общее Fe	12,0	16,0			
Металлическое Fe	≤1	≤1			
FeO			12,6	12,7	12,2
Fe ₂ O ₃			11,7	10,8	11,6
MnO ₂	0	≤4	4,3	4,9	2,4
Cr ₂ O ₃	≤1	≤1	0,4	0,3	0,16
TiO ₂			0,5	0,9	0,7
V ₂ O ₃			0,33	0,29	0,12
P ₂ O ₅	15,0	≤2			

Примечания: значения приведены в % вес.

LD-AC = Linz-Donavitz-Arbed-CRM процесс

LD = процесс Linz-Donavitz (четыре примера)

¹ Название процесса дано по названиям городов, где впервые был применен кислородно-конвертерный процесс (Линц и Донавиц), названию завода, первым применившим технологию (Aciéries Réunies de Burbach Eich Dudelange – Объединенные сталеплавильные заводы Бурбах Эйх Дюделанж – Люксембург) и названию института-разработчика CRM (Институт исследований в металлургии, Бельгия).

Минеральный состав этих шлаков различный и зависит от конкретных условий, как показано в табл. 7.12.

ТАБЛИЦА 7.12: ТРИ ПРИМЕРА ДИАПАЗОНА МИНЕРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОНВЕРТЕРНОГО ШЛАКА [365]

Минерал	Силикат трикальция	Силикат дикальция	Дикальций – оксид железа	Шпинели	Вюстит	Известь
Формула	$3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	$2 \text{ CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MeO} - \text{Me}_2\text{O}_3$	FeO	CaO
LD шлак 1	0	40	30	0	20	10
LD шлак 2	20	35	25	0	15	5
LD шлак 3	0	70	0	20	10	0

Примечания: значения приведены в % вес.

Большая часть конвертерного шлака используется в дорожном строительстве в качестве нижнего слоя покрытия, в асфальтовых смесях и при строительстве водных каналов (гидротехнических сооружений, например, для стабилизации берегов). Но некоторая часть конвертерного шлака все еще депонируется на полигонах вследствие рыночных условий.

Этот шлак может также частично использоваться в качестве источника извести в смеси агломерата или непосредственно в шихте доменной печи или также шихте кислородного конвертера (внутреннее использование). Это отчасти ограничено вследствие ограниченного количества фосфора, разрешенного в горячем металле. Значительное количество шлака все еще используется в качестве удобрения и агента для известкования вследствие относительно высокого содержания свободной извести [363]. Направления использования этого шлака показаны на рис. 7.13.

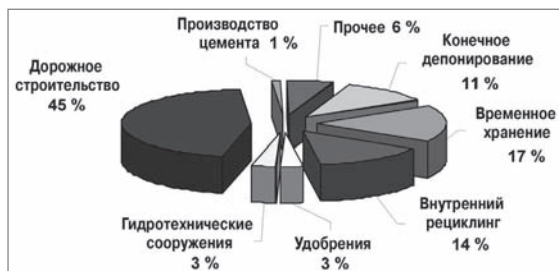


Рисунок 7.13: Использование конвертерного шлака в Европе в 2004 г. [174]

Шлак от внепечной обработки стали

Состав шлака от внепечной обработки стали существенно различается, и можно ожидать широкий диапазон составов, поскольку он зависит от технологии производственного процесса и от вида получаемой стали.

Шлак от внепечной обработки стали представляет небольшую долю остатков в сталеплавильных цехах, как показано в табл. 7.9.

Минеральный состав вторичных шлаков различный и зависит от условий производства. Он представлен в табл. 7.13. В табл. 7.14 приведен диапазон составов шлаков внепечной обработки стали.

ТАБЛИЦА 7.13: ОСНОВНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ШЛАКОВ ОТ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ [365]

Шлак внепечной обработки стали		
Наименование	Минерал	Формула
Бета-силикат дикальция	Ларнит	β -Ca ₂ SiO ₂
Гамма-силикат дикальция	Ингесонит	γ -Ca ₂ SiO ₂
Силикат кальция и магния	Бредигит	Ca ₇ Mg(SiO ₄) ₄
Силикат и фторид кальция	Куспидин	Ca ₄ F ₂ Si ₂ O ₇
	Шпинели	Me ₂ +(Me ₃ +) ₂ O ₄
Оксид кальция и алюминия	Майенит	Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₃
Оксид магния	Периклаз	MgO
Оксид кальция	Известь	CaO

Примечание: Me = сочетание металлов с валентностью 2 и 3 (например, Mg²⁺, Al³⁺)

ТАБЛИЦА 7.14: ДИАПАЗОН ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ШЛАКОВ ОТ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ [220]

Параметр	Нижнее предельное значение (%вес.)	Верхнее предельное значение(% вес.)
CaO	20	65
FeO	0,1	20
SiO ₂	1	40
MgO	2	20
Al ₂ O ₃	0,5	40
P ₂ O ₅	<0,01	1
MnO	0,3	7,7
TiO ₂	0,02	4
Cr	<0,01	2,6
F	<0,01	10
S общая	<0,05	4

Пыль и шлак от очистки конвертерного газа

Состав крупной пыли можно видеть в сравнении с тонкодисперсной пылью в табл. 7.15.

ТАБЛИЦА 7.15: СОСТАВ КРУПНОЙ И МЕЛКОЙ ПЫЛИ И ШЛАМА [55], [64], [365]

Параметр	Грубая пыль	Мелкая пыль	Первичное обеспыливание	Вторичное обеспыливание	Шлам
Общее Fe	30 - 85	54 - 70	38 - 85	32 - 63	48 - 70
Металлическое Fe	72	20	Неудовлетворительная информация о содержании Fe		
CaO	8 - 21	3 - 11	5,7 - 40	3,7 - 35	0,2 - 4,1
Zn	9,01 - 0,4	1,4 - 3,2	0,1 - 1,5(*)	0,5 - 13	0,2 - 4,1
Pb	0,01 - 0,04	0,2 - 1,0	0,05 - 0,4	0,09 - 0,8	0,04 - 0,14
S	0,02 - 0,06	0,07 - 0,12	0,02 - 1,3	0,1 - 1,1	0,03 - 0,35
C	1,4	0,7	0,1 - 6,5	1,0 - 8	0,7 - 4,6

(*) Возможны значения до 8,5% об. %

Значения приведены в % об.

Пыль с крупными частицами появляется на стадии первого обеспыливания, а тонкодисперсная пыль от стадии вторичного обеспыливания. Имеются различные системы для отделения грубой и тонкодисперсной пыли. Это можно сделать в самом процессе, например, с помощью индивидуального улавливания и разделении пыли в ходе последовательных стадий обеспыливания в рамках последующей очистки пыли/шлама, например, грубый осадок можно утилизировать в отстойнике для крупных частиц, а тонкодисперсные частицы – во вторичном отстойнике.

Грубая пыль после подготовки возвращать в процесс производства стали в кислородном конвертере, или она должна подвергаться рециклингу на агломерационную ленту или для получения брикетов с последующим использованием в доменных печах. В ЕС меньший процент направляется на полигон (см. рис. 7.14).

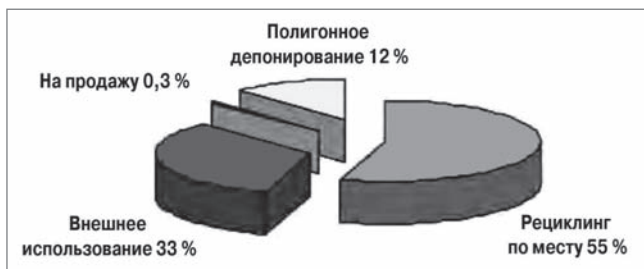


Рисунок 7.14: Пути использования пыли от сухой очистки конвертерного газа [30], [363]

В табл. 7.15 указано, что в мелкой пыли по сравнению с грубой пылью содержится значительно большее количество свинца и цинка. Основным источником этих тяжелых металлов обычно является металлолом, загружаемый в кислородный конвертер. В некоторых случаях имеется возможность контроля поступления свинца и в особенности цинка с металлоломом. Однако было отмечено, что доступность металлолома с низким содержанием цинка (например, менее 1%) непрерывно снижалась в течение последних лет. Вследствие содержания цинка меньшая часть мелкой пыли или шлама не может быть подвергнута рециклингу, а должна отправляться на полигон (см. рис. 7.14) [363].

Шлам образуется в течение обработки в гидроциклоне и (или) при осаждении взвешенных твердых веществ в скрубберной воде. Этот шлам может быть на 100% подвергнут рециклингу на металлургическом заводе, если поступление цинка с металлоломом будет строго ограничен, т.е. возвращен на агломерационную установку или в конвертер после холодного брикетирования (см. п. 2.5.4.4). На многих других металлургических заводах мира шламы не могут использоваться, и либо используются вне металлургического завода в цементном производстве или будут отправлены на хранение или депонирование.

Выплески расплавленного металла

Выплески расплавленного металла происходят вследствие пролива, вызываемого чрезмерным вспениванием в конвертере в течение продувки. В выпле-

сках имеется высокое содержание железа, которое отделяется и подвергается рециклингу на агломерационной установке. Остальные выплески в виде шлака (с меньшим содержанием железа) обычно подвергаются полигонному депонированию [363].

Прокатная окалина от непрерывной разливки

Диапазон составов прокатной окалины приведены в табл. 7.16.

Эти побочные продукты обычно подвергаются рециклингу на агломерационной ленте [363].

ТАБЛИЦА 7.16: СОСТАВ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ [150], [365]

Параметр	Прокатная окалина
Геобщее	33 - 72
Геметаллическое	NA
CaO	0,4 - 16
C	0,1 - 0,8
Масло	На практике содержание масла в прокатной окалине обычно бывает <1%. Иногда содержание может доходить до 8%. В грубой прокатной окалине почти не содержится масло

Примечание: значения приведены в % вес.

NA = данные отсутствуют.

Общее количество пыли/шлама и прокатной окалины от кислородно-конвертерного процесса составило 2,23 млн. т в 2004 г. (что охватывает 86% производства стали в странах ЕС-15). Их использование представлено на рис. 7.15.

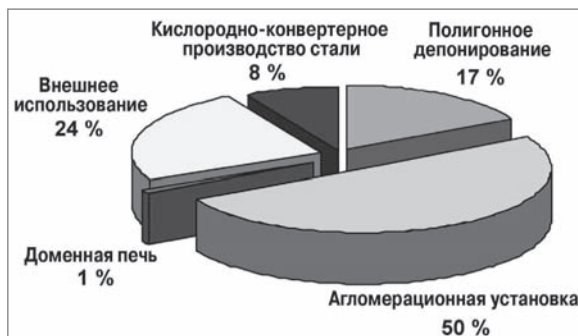


Рисунок 7.15: Использование пыли/шлама и прокатной окалины от кислородно-конвертерного производства стали [365]

Обломки

Обломки состоят главным образом из отработанных огнеупоров. Не имеется представительных данных об использовании этих твердых отходов/побочных продуктов. На некоторых металлургических заводах они частично подвергаются рециклингу в кислородном конвертере или повторно используется при производстве новых огнеупорных материалов. В других случаях они отправляются на полигон [363].

7.2.2.4 Потребление энергии

Кислородный конвертер

В кислородном конвертере топливо потребляется для подогрева и сушки конвертеров после замены футеровки и ремонта. Это потребление термической энергии в общей сложности составляет приблизительно 0,051 ГДж/т жидкой стали. Потребление электроэнергии оценивается в 23 кВт·ч/т жидкой стали или 0,08 ГДж/т жидкой стали. Эти данные включают производство кислорода и эксплуатацию конвертеров.

Технологический газ из конвертера содержит большие количества монооксида углерода (CO), и он горячий. Когда утилизируется энергия конвертерного газа (утилизация тепла и (или) утилизация конвертерного газа), кислородный конвертер становится нетто производителем энергии. На современных заводах утилизация энергии может достигать до 0,76 ГДж/т жидкой стали.

Непрерывная разливка

Потребление топлива для подогрева ковша, в котором находится жидкая сталь, оценивается в 0,02 ГДж/т жидкой стали. Потребление электроэнергии машиной непрерывной разливки стали оценивается в 0,04 ГДж/т жидкой стали [65].

7.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ

7.3.1 Первичное пылеулавливание

В этом разделе описаны технологии (или их сочетания) и соответствующий мониторинг, которые считаются имеющими потенциал для достижения высокого уровня защиты окружающей среды в деятельности, охватываемой этим документом.

Он охватывает технологии, интегрированные в технологический процесс, и технологии очистки в конце производственного цикла. Рассмотрены также вопросы предотвращения образования отходов и управления ими, включая минимизацию образования отходов и процедуры рециклинга. Кроме того, охвачены также технологии для снижения потребления сырьевых материалов, воды и энергии.

В Приложении III к Директиве перечислен ряд критериев для определения BAT (НДТ), и информация в этой главе относится к данным соображениям. Насколько возможно, как показано в табл. 7.17, используется стандартная структура для отражения информации, собранной для каждой технологии, что дает возможность сравнения технологий и оценки в отношении определения BAT, приведенного в Директиве.

Этот раздел необязательно дает исчерпывающий перечень технологий, которые могут применяться в секторе, и могут иметься или могут быть разработаны другие технологии, которые можно рассматривать при определении НДТ для индивидуальной установки.

ТАБЛИЦА 7.17: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КАЖДОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ОПИСАННОЙ В ЭТОМ РАЗДЕЛЕ

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Описание	Краткое техническое описание с использованием, при возможности, рисунков, диаграмм и технологических схем
Достигаемые экологические выгоды	Основные потенциальные экологические выгоды, достигаемые с помощью внедрения технологии (включая экономию энергии, воды, сырьевых материалов, а также рост производительности, эффективность использования энергии и т.д.)
Воздействия между средами	Потенциальные побочные воздействия на окружающую среду и ущерб для других сред вследствие внедрения технологии, включая подробности воздействий этой технологии на окружающую среду, по сравнению с другими технологиями (преимущества и недостатки, поддержанные данными, если таковые имеются), для того чтобы оценить воздействие технологии на окружающую среду в целом. Это может включать такие аспекты как: • потребление сырьевых материалов и воды • потребление энергии и вклад в изменение климата • потенциал разрушения стратосферного озона • потенциал создания фотохимического озона • подкисление в результате выбросов в воздух • твердые частицы в окружающей среде (включая микрочастицы и металлы) • эвтрофикация земли и водных объектов в результате выбросов в воздух или сбросов в воду • потенциал истощения кислорода в водных объектах • стойкие/токсичные/биоаккаплирующиеся компоненты в водных объектах или в почве (включая металлы) • образование или уменьшение (отходов) остатков • возможность повторного использования или рециклинга (отходов) остатков • шум и (или) запах • риск аварий
Эксплуатационные данные	Реальные эксплуатационные данные (включая сравнительные условия, периоды мониторинга и методы мониторинга) об уровнях выбросов, потребления (сырьевых материалов, воды, энергии) и количеств образующихся отходов. Любая другая полезная информация о работе, обслуживании и контроле технологии
Применимость	Указание о типе установок или процессов, в которых технология может или не может применяться, а также ограничения для внедрения в некоторых случаях, с учетом, например, возраста установки (новая или существующая), факторов, связанных с модернизацией (например, наличие места), размера установки (большая или меньшая), технологии, уже используемой, и типа или качества продукта
Экономика	Информация о затратах (инвестиции и эксплуатация) и любой возможной экономии (например, снижение потребления сырьевых материалов или энергии, платежей за размещение отходов) или доходах, включая подробности о том, каким образом они были рассчитаны/оценены. Должна быть включена экономическая информация, важная для строительства новых или модернизации существующих установок. Это должно дать возможность идентификации, когда возможно, общего экономического воздействия технологии
Движущие силы для внедрения	Конкретные местные условия, требования (например, законодательство, меры безопасности) или не экологические факторы (например, рост производительности, повышение качества продукции), которые являются движущей силой или стимулируют внедрение технологии
Пример установок	Ссылка на установку (установки), на которых внедрена технология и о которых была собрана информация и использована при написании раздела. Указание о степени использования технологии в Европе или мире
Справочная литература	Литература или другой справочный материал (например, книги, отчеты, исследования, веб-сайты), которые были использованы при написании раздела и в которых содержится более подробная информация о технологии

В течение продувки кислорода образуется конвертерный газ. Этот газ содержит большое количество пыли. Когда конвертерный газ утилизируется для использования в качестве топлива (см. п. 7.3.7). Когда конвертерный газ сжигается в газоходе, выделяются дымовые газы, и они должны соответствовать местным нормам на выбросы. В настоящее время на большинстве заводов конвертерный газ утилизируется в качестве топлива. В системах полного сжигания вводится окружающий воздух в систему из системы первичной вентиляции для сжигания конвертерного газа. Это приводит к большому удельному расходу дымовых газов (2000 – 3000 $\text{нм}^3/\text{т}$ жидкой стали); в системах подавления сжигания образуется только конвертерный газ (50 – 100 $\text{нм}^3/\text{т}$ жидкой стали) (см. табл. 7.6). Это приводит к значительным различиям в размерах системы первичного пылеулавливания. Сниженный удельный расход отходящих газов, характеризующий подавленное сжигание, приводит к более высокой массовой концентрации неочищенного газа, таким образом, что эффективность системы утилизации пыли должна возрасти для идентичной нагрузки очищенного газа по пыли. С точки зрения утилизации пыли, поэтому, принцип подавления сжигания позволяет использовать системы пылеулавливания, предназначенные для меньших объемных расходов, которые, тем не менее, достичь повышенных уровней утилизации пыли.

Первичное пылеулавливание обычно осуществляется с помощью скрубберов типа Вентури (приблизительно 60% от всего объема) или сухого и мокрого электрофилтра. Перед скруббером Вентури или электрофилтром обычно удаляются грубые твердые частицы с помощью дефлектора и т.д.

Особое внимание должно уделяться выбросам пыли из отверстия кислородной пыли. Выбросы из этого отверстия могут доходить до 50 г/т жидкой стали. Выбросы можно уменьшить с помощью подвижного “жернова”, который покрывает отверстие во время кислородной продувки и (или) вдувания инертного газа (N_2/CO_2) или пара в отверстие фурмы для рассеивания пыли. Другие конструкции уплотнений отверстия фурмы также эффективно сочетаются с устройствами для очистки фурмы.

Достигаемые экологические выгоды

Достигаемые экологические выгоды для каждой из технологии первичного пылеулавливания приведены ниже:

- сухое пылеулавливание и подавление сжигания: с помощью применения электрофилтра остаточная концентрация пыли в конвертерном газе может быть снижена до такой малой величины как 10 $\text{мг}/\text{нм}^3$ (что эквивалентно 0,5 – 1,0 г/т жидкой стали) и при любом расходе ниже 50 $\text{мг}/\text{нм}^3$. Перед очисткой газа в электрофилтре удаляется грубая пыль в зоне отражения, а газ достигает требуемого состава в испарительном охладителе
- сухое пылеулавливание и открытое сжигание: выбросы пыли с конвертерным газом могут быть снижены до 20 – 50 $\text{мг}/\text{нм}^3$
- очистка газа и подавление сжигания: сначала применение мокрой системы, грубые частицы удаляются в сепараторе мокрого разделения, затем удаляется мелкая пыль в скрубберах Вентури. Концентрация пыли в конвертерном газе

после газоочистки обычно находится в диапазоне от 15 до 50 мг/нм³, но может быть и меньше чем 10 мг/нм³

- газоочистка и открытое сжигание: когда конвертерный газ сжигается в газоходе и очищается с помощью скрубберов Вентури, остаточное содержание пыли будет находиться в диапазоне от 10 до 50 мг/нм³.

В табл. 7.18 представлены достигаемые концентрации выбросов, когда используются технологии мокрой очистки.

ТАБЛИЦА 7.18: ДОСТИГАЕМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫБРОСОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМ МОКРОЙ ОЧИСТКИ [244]

Параметр	Скруббер и мокрый электрофильтр	Скруббер
PM	32,5	<42
CO	15	2
NOx	25	
Hg		0,002
Cd, TI	0,003	
As, Co, Ni, Se, Te	0,02	
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,4	
Pb		0,3
PCDD/F	0,04	
HF	<0,5	

Примечание: Значения приведены в мг/нм³, за исключением PCDD/F, для которых значения выражены в нг I-TEQ/нм³. Это ежегодные средние значения

Взаимодействия между средами

В удаляемых пыли и шламах могут содержаться высокие концентрации цинка; таким образом, затрудняется их повторное использование. Использование лома с низким содержанием цинка может дать возможность рециклинга шламов/пыли от кислородного конвертера на агломерационной установке. При использовании электрофильтров можно проводить горячее брикетирование твердых отходов и подвергать рециклингу брикеты непосредственно в процессе выплавки стали (см. п. 7.3.5).

Кроме того, мокрое пылеудаление связано с образованием загрязненного потока сточных вод.

Помимо этого, при работе системы пылеудаления потребляется энергия. В системе подавления сжигания это будет соответствовать 0,001 – 0,005 ГДж/т стали для скруббера Вентури и <0,001 ГДж/т стали для сухого электрофильтра.

В системе открытого сжигания это будет соответствовать 0,04 – 0,15 ГДж/т стали для скруббера Вентури и <0,005 ГДж/т стали для сухого электрофильтра.

Эксплуатационные данные не передавались.

Применимость

Первичное пылеудаление может применяться как на новых, так и на существующих конвертерах. На некоторых из них применяются сухие электрофильтры.

Экономика

Инвестиционные затраты для первичного пылеудаления находятся в диапазо-

не от 24 до 40 млн. евро для конвертерного цеха с производительностью 1 млн. т/год. Эксплуатационные затраты находятся в диапазоне 2 – 4 евро/т стали.

Мотивация для реализации

Для утилизации конвертерного газа с помощью подавления сжигания необходима очистка с высокой эффективностью. В случае отсутствия утилизации или утилизации с помощью сжигания конвертерного газа, последний необходимо очищать для соответствия существующим предельным значениям выбросов.

Пример установок

Примерами установок для различных систем пылеудаления являются:

- сухой электрофильтр и подавление сжигания:
 - компания ThyssenKrupp Steel AG, Дуйсбург, Германия
 - кислородно-конвертерный цех № 3 компании Voestalpine Stahl GmbH,

Линц, Австрия

- компания Voestalpine Stahl GmbH, Донавиц, Австрия
- компания Salzgitter AG, г. Зальцгиттер, Германия

- сухой электрофильтр и открытое сжигание:
 - компания ArcelorMittal Ruhrort GmbH, Дуйсбург, Германия

- газоочистка и подавление сжигания:

- кислородно-конвертерные производства; многие европейские компании, например, Corus, Эймейден, Нидерланды

- ArcelorMittal
- ArcelorMittal, г. Бремен, Германия
- ArcelorMittal, Дюнкерк, Франция
- ArcelorMittal, Фос-сюр-Мер, Франция
- ArcelorMittal, г. Флоранж, Франция
- ArcelorMittal, г. Гент, Бельгия
- ArcelorMittal, г. Авилес, Испания
- Riva Group, г. Таранто, Италия

Справочная литература: [19], [65], [66], [76], [140], [241], [244], [363]

7.3.2 Вторичное пылеулавливание

7.3.2.1 Сбор и подавление вторичных выбросов

Обеспыливание вторичных выбросов имеет место при следующих операциях:

- переливание горячего металла из миксерного ковша (или миксера для жидкого чугуна) в загрузочный ковш
- улавливание и снижение вторичных выбросов от загрузки конвертера и выпуска жидкой стали и шлака из конвертера и ковшей и оборудования внепечной обработки стали (см. п. 7.3.2.1)
- предварительная подготовка горячего металла, такая как переливание из ковша в ковш, скачивание шлака и десульфуризация горячего металла (п. 7.3.2.2)
- обращение с добавками
- разливка в слитки и непрерывная разливка (п. 7.3.2.3)

Вплоть до начала 1970-х годов кислородные конвертеры строились без оборудования для вторичного пылеулавливания. В результате установки для улавливания вторичных и второстепенных первичных источников выбросов были усовершенствованы. Эффективность таких систем в значительной степени зависела от местных условий. Они играют особенно важную роль, когда приходится делать выбор и проектировать систему утилизации (ограждения, зонты и т.д.) Определение расхода отходящих газов часто зависит от местных условий и от наличия площадей для установки трубопроводов, вместе с возможным размером поперечного сечения трубопроводов. Как для новых, так и для существующих установок фактически невозможно заранее определить эффективность утилизации с какой-либо степенью определенности. Любые попытки оценки дополнительно усложняются чрезвычайными трудностями при измерении результатов. Даже оптимальная конструкция и высокий расход отходящих газов для полного технического улавливания отходящих газов не будет гарантировать, что можно последовательно достигать 100% улавливания на долговременной основе в процессе работы кислородного конвертера. Изменение типичных условий эксплуатации и экологических факторов, таких как необычное воздушное течение в заводских корпусах, может привести к выбросу неутилизованных потоков пыли, которая будет выделяться как неизбежные вторичные выбросы через фонари крыши.

191

Выбросы из этих источников, связанные с вышеупомянутыми процессами выплавки стали в кислородных конвертерах, которые обычно рассматриваются как вторичные отходящие газы, улавливаются с помощью центральной системы вспомогательной вентиляции и пылеулавливания. Иногда выбросы от предварительной обработки горячего металла, загрузки кислородного конвертера и слива, а также систем внепечной обработки стали отводятся и очищаются раздельно; обычно они являются частью системы вторичного пылеулавливания [114], [182], [211].

Оценки количества вторичных выбросов изменяются от 2 до 200 г/т жидкой стали, когда степень улавливания системы вторичного пылеулавливания находится в диапазоне от 93 до 99,6% [363]. Операции загрузки и слива конвертера вносят вклад в большую часть этих выбросов пыли. Данный диапазон отличается от данных, приведенных в табл. 7.3. Данные в табл. 7.3 основаны на семи кислородных конвертерах, в то время как вышеупомянутые данные отражают оценку для всего сектора кислородно-конвертерного производства. Еще одно объяснение этого и более широкого разброса можно найти в том факте, что вторичные выбросы трудно определить с какой-либо степенью определенности, а используемые меры утилизации часто бывают известны в недостаточной мере. Эти результаты в зоне перекрытия между данными о выделяемых веществах и данными о реальных выбросах логически вытекают из реализации соответствующих стадий улавливания и очистки.

Предварительная обработка горячего металла, такая как переливание горячего металла и спуск шлака

Транспортирование горячего чугуна из миксерного ковша в загрузочный ковш происходит в закрытом стенде. Из кабины оператора конвертерного цеха имеется возможность непосредственного мониторинга процесса перемещения. Ковш с горячим чугуном перемещается ниже уровня пола цеха на чугуновозе. Этот чугуновоз имеет защитный экран, который изолирует горловину, тем самым образуя закрытую камеру. Когда невозможно обеспечить полное закрытие, имеется возможность установления дымоотводящего камина над ковшом.

Для процесса скачивания шлака ковш, перевозящий расплавленный металл, наклоняется в позицию скачивания шлака, и в то же самое время поддерживается краном или кантователем. Свободное поперечное сечение каминов ограничивается соответствующими внутренними элементами для достижения более высокой скорости подачи. Камин может быть передвижного типа таким образом, что он может обслуживать несколько позиций скачивания шлака. Стенд для скачивания шлака обычно разделяется перегородками, которые позволяют обеспечить достаточное перемещение для этой операции. Отверстия закрываются уплотняющими экранами, закрепленными на ковше.

Загрузка конвертера и выпуск жидкой стали и шлака из конвертеров и ковшей

В течение заливки жидкого чугуна и загрузки лома и выпуска стали из конвертеров происходят выбросы пыли. В зависимости от качества используемого лома, при загрузке могут происходить выбросы различных органических загрязнителей, таких как РАН, РСВ и PCDD/F, в результате термического разложения органических материалов (масла, краски, смазочные вещества или пластмассы).

Система основной вентиляции работает полностью только в течение кислородной продувки, когда конвертер находится в вертикальном положении. Образующиеся в течение загрузки и выпуска выбросы улавливаются системой вторичного улавливания. Загрузка и выпуск занимают только несколько минут, что составляет около 10% времени продолжительности плавки от выпуска до выпуска.

Вспомогательная вентиляция, которая входит в операции конвертера, обычно состоит из вытяжного зонта, расположенного непосредственно над горловиной конвертера в наклонном положении, и кожуха вокруг остающихся конвертера (см. рис. 7.16). Вытяжной зонт предпочтительно размещать как можно ближе к конвертеру. В некоторых существующих конвертерных цехах не имеется возможности размещать вытяжной зонт как можно ближе к конвертеру. В этом случае вытяжной зон может быть установлен ближе к крыше, что снижает эффективность, в зависимости от условий, таких как размер зонта и удаляемого объема или условий местного потока в здании.

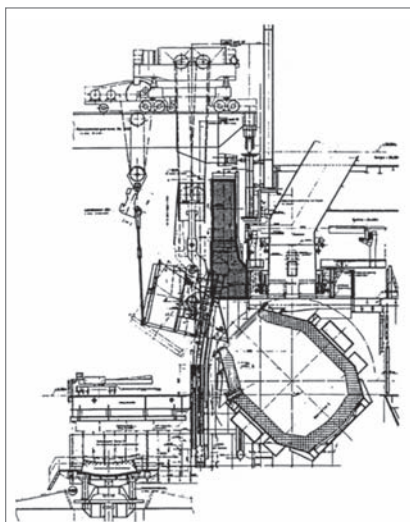


Рисунок 7.16: Удаление вторичных выбросов в течение разливки жидкого чугуна и загрузки лома в конвертер

Расход отходящих газов от вторичного обеспыливания находится в диапазоне от 300000 до 344100 $\text{нм}^3/\text{ч}$, а очистка обычно выполняется с помощью рукавного фильтра, хотя используется также электрофильтр. Некоторые данные о применяемых системах вторичного обеспыливания и характеристиках выбросов при загрузке и выпуске подытожены в табл. 7.19.

193

ТАБЛИЦА 7.19: ДАННЫЕ О ПРИМЕНЯЕМЫХ СИСТЕМАХ ВТОРИЧНОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКАХ ВЫБРОСОВ ПРИ ЗАГРУЗКЕ И ВЫПУСКЕ ПЛАВКИ [363], [365]

Конвертер	Емкость конвертера	Количество конвертеров	Количество плавов в месяц	Объем отходящих газов ($\text{нм}^3/\text{ч}$)
1	112	2	1658	1250000
2	125	3	1983	372000
3	156	3	2179	3441000 (1)
4	240	2	866	300000
5	295	2	2322	1300000
6	330	2	974	1000000
7	264	3	1885	2119457
8	325	3	1698	720000
9	330	3	1125	393500

(1) Этот конвертер имеет две независимых системы вторичного обеспыливания, и приведенное значение относится к двум системам

Внепечная обработка стали

Выбросы от внепечной обработки стали могут происходить в течение следующих процессов:

- операций выпуска (т.е. с использованием ковшей, печей-ковшей, конвертеров и другого оборудования, применяемого при внепечной обработке стали)

- дегазации
- подогрева огнеупоров (ковша, промежуточного устройства, установки дегазации)
- обращении с добавками.

Для двух конвертеров, на которых выбросы от процессов внепечной обработки стали отводятся отдельно и очищаются с помощью рукавных фильтров, измеренные концентрации выбросов пыли были ниже $10 \text{ мг/нм}^3/\text{ч}$ [182], [211].

Достижимые экологические выгоды

Выбросы находятся главным образом под влиянием эффективности удаления пыли, образующейся в течение загрузки и выпуска плавки.

Достижимая степень улавливания пыли от отходящих газов в системе внепечной обработки стали применительно к выплавке стали в кислородных конвертерах представлена в табл. 7.20.

ТАБЛИЦА 7.20: ДОСТИГАЕМАЯ СТЕПЕНЬ УДАЛЕНИЯ ПЫЛИ ОТ ВТОРИЧНЫХ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ (%) [38]

Предварительная обработка жидкого металла		Работа конвертера			
Отделение подготовки ковшей	Предварительная обработка жидкого металла	Загрузка лома	Заливка жидкого чугуна	Продувка	Выпуск жидкой стали и шлака
94 - 99	94 - 99	24 - 64	89 - 94	89 - 99	49 - 55

Примечание: предположим, что 100% представляет общее количество пыли, выделяемой в течение работы конвертера (что эквивалентно технически достижимому уровню); при этом более низкие значения относятся к обычно достижимой эффективности, а более высокие значения – к максимально достижимым результатам.

Данные для этой таблицы получены из проб, отобранных в цехе, и модельных испытаний, расчетов и эмпирических наблюдений, и они могут изменяться в соответствии с рассматриваемым источником выбросов и конкретной технологий. Данные диапазоны указывают, что для процедур предварительной обработки горячего металла типа перелива из ковша в ковш и десульфуризации, и в течение продувки конвертера эффективность может быть очень высокой, вплоть до почти полного удаления. Напротив, удаление выбросов в течение загрузки лома и заливки горячего чугуна и при сливе расплавленной стали и шлака намного менее эффективно.

С помощью электрофильтров и рукавных фильтров можно достичь выбросов от точечных источников ниже 5 г/т жидкой стал для каждого из вышеупомянутых единичных выбросов в воздух. Как показано в табл. 7.21, это соответствует концентрациям выбросов $2 - 13 \text{ мг пыли/нм}^3$.

ТАБЛИЦА 7.21: ДОСТИГАЕМЫЕ УРОВНИ ВЫБРОСОВ ПРИ ВТОРИЧНОМ ОБЕСПЫЛИВАНИИ В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ [182], [244]

Параметр	Электрофильтр	Рукавный фильтр
Пыль	6	<2 - 13
Pb, Cr, Cu, Mn, V	0,01	
PCDD/F	0,03	

Примечание: Значения выражены в мг/нм^3 , за исключением PCDD/F, для которых используются нг I-TEQ/м^3 . Все значения являются ежегодными средними.

На некоторых конвертерах (например, в Японии) закрыта вся крыша цеха, и удаление выбросов достигает общей эффективности 100%.

Взаимодействия между средами

В течение вторичного обеспыливания образуется 0,5 кг твердых отходов на тонну жидкой стали (до 1,2 кг/т жидкой стали). Повторное использование таких твердых отходов с высоким содержанием железа зависит в значительной степени от содержания цинка. На некоторых заводах имеется возможность их повторного использования, а другие их депонируют.

Для работы системы вентиляции и оборудования для очистки пыли требуется энергия. Для вспомогательной вентиляции требуется производительность удаления приблизительно 300000 – 3441000 м³/ч. В одном примере сообщалось об удельном потреблении энергии в 13 МДж/т жидкой стали, когда применялись рукавные фильтры. Сообщалось и о других значениях порядка 0,72 – 7,2 МДж на 1000 очищенных м³. Потребление энергии зависит главным образом от падения давления и производительности соответствующих вентиляторов. На рис. 7.17 приведено удельное потребление энергии для различных операций обеспыливания на металлургических заводах с полным циклом. Можно видеть, что удельное потребление энергии для вторичного обеспыливания относительно высокое, по сравнению с другими операциями обеспыливания. Вследствие высоких уровней отсоса системы вторичного обеспыливания могут вносить значительный вклад в шумовые выбросы. Поэтому могут потребоваться дополнительные меры для защиты от шума, такие как бетонное основание для вентиляторов, дополнительная изоляция фильтров и гаситель колебаний в дымовой трубе.

Эксплуатационные данные

Как рукавные фильтры, так и электрофильтры могут работать без проблем. Самыми трудными аспектами вторичного обеспыливания являются эффективность удаления, предотвращение взрывов в газоходах и рециклинг образующихся твердых отходов.



Рисунок 7.17: Удельное потребление энергии для различных операций обеспыливания на заводах с полным циклом [108]

Применимость

Вторичное обеспыливание может применяться для новых и существующих конвертеров. Для существующих конвертеров конструктивные параметры цеха могут ограничить возможности для надлежащего удаления.

Экономика

Общие инвестиции для технологий удаления и очистки вторичных выбросов были на уровне 29 млн. евро в 2004 г., включая меры по защите от шума.

Потребление электроэнергии составляет приблизительно 13 МДж/т жидкой стали с применением рукавных фильтров. Таким образом, эксплуатационные затраты, которые зависят в значительной степени от цен на электроэнергию, следует учитывать. Необходимы дополнительные затраты на обслуживание, например, фильтров. Затраты были оценены в 19896 г. в диапазоне от 0,8 до 4 евро/т жидкой стали.

Капитальные затраты на обеспыливание вторичных отходящих газов: 10 – 30 млн. евро. Внедрение полного обеспыливания вторичных отходящих газов обойдется в 30 млн. евро на существующем металлургическом заводе с производительностью 5 млн. т жидкой стали в год (сравнительный завод: компания ArcelorMittal, г. Гент, Бельгия).

Мотивации для внедрения

Основной движущей силой было предотвращение визуальных выбросов в течение выпуска стали и загрузки и лучшие рабочие условия в конвертерном цехе, и дополнительной движущей силой является необходимость содействия в повышении надежности заливочных кранов.

Пример установок

На большинстве заводов с полным циклом в ЕС и мире применяется вторичное обеспыливание.

Конвертерный цех компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия, состоит из трех кислородных конвертеров, каждый из которых имеет емкость 158 т жидкой стали. Общая производительность цеха составляет 5,2 млн. жидкой стали в год. В начале 2006 г. существующие установки вторичного обеспыливания 1 и 2 (объем отсоса 1 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$) были дополнены еще одной установкой (на объем отсоса 1 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$). Поэтому вторичное обеспыливание состоит из трех отдельных воздуходувок и фильтров для управления воздухом, отсасываемым из различных мест, включая перелив горячей стали из ковша в ковш, предварительную обработку, скачивание шлака, загрузку и выпуск стали и шлака из конвертеров, конвертерный отсек и загрузочное отделение (см. рис. 7.18). Система обеспечивает, что даже в случае, когда одна система обеспыливания выходит из строя, основные выбросы можно уловить с помощью другой системы вторичного обеспыливания. В итоге можно достичь снижения выбросов пыли на 370 т в год, или около 300 т в год выбросов PM10.

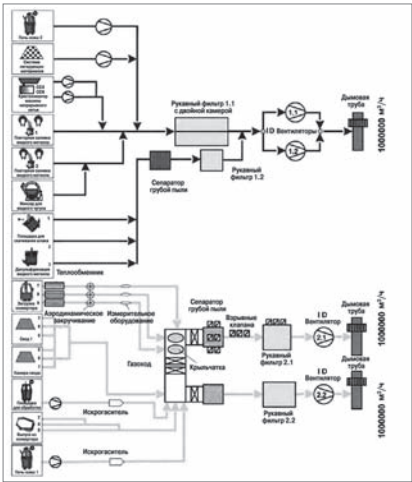


Рисунок 7.18: Пример системы вторичного обеспыливания, состоящей из трех отдельных воздуходувок и фильтров для очистки воздуха, отводимого из различных точек отбора

В табл. 7.22 приведены ключевые технические данные для вышеупомянутой системы вторичного обеспыливания.

ТАБЛИЦА 7.22: КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМЫ ВТОРИЧНОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВОК 1 И 2 КОМПАНИИ VOESTALPINE STANL GMBH В Г. ЛИНЦ, АВСТРИЯ [277], [361]

Установка с фильтрами 1	Расход (млн. нм3/ч)	Установка с фильтрами 2	Расход (млн. нм3/ч)
Весь расход пыли	1	Весь расход пыли	1
Заливка жидкого чугуна	1	Слив стали	0,2
Загрузка лома	0,3	Печь-ковш	0,12
Продувка кислорода	0,18	Площадка для обработки	0,06
Выпуск	0,35	Система для вытяжки дыма под крышей	0,6
Выплески шлака	0,15		
Мощность вентиляторов	2680 кВт		2680 кВт
Характеристики фильтровальной установки	9 камер 9770 м3		10 камер 10850 м3

Выбросы пыли из установок 1 и 2 измерялись непрерывно. Среднее ежегодное значение выбросов составило 7,1 и 3,7 мг/нм³ от установок 1 и 2, соответственно, в 2004 г.

Недавние средние значения выбросов находились в диапазоне от 0,3 до 10 мг/нм³ для установки 1 и около 0,5 мг/нм³ для установки 2, с единичными значениями до 4 мг/нм³. Выбросы тяжелых металлов и PCDD/F измерялись дискретно.

На рис. 7.19 представлены средние значения выбросов для установки 2 в системе вторичного обеспыливания применительно к конвертеру компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия, в течение периода в три месяца.

Справочная литература: [19], [38], [65], [244], [247], [252], [277], [363], [365]

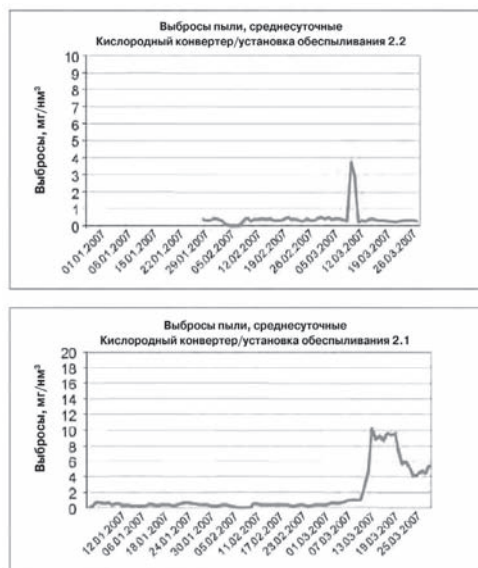


Рисунок 7.19: Среднесуточные значения выбросов на Установке 2 вторичного обеспыливания на кислородном конвертере компании Voestalpine Stahl GmbH, Линц, Австрия [277]

198

7.3.2.2 Снижение запыленности при предварительной обработке жидкого металла

В течение трех стадий предварительной обработки жидкого металла (десульфуризация, отделение шлака и транспортирование, и взвешивание жидкого металла) происходят выбросы пыли. Удельные выбросы пыли (перед очисткой) изменяются от 110 до 830 г/т жидкой стали [38]. Эти выбросы улавливаются (см. рис. 7.20), и они обычно очищаются с помощью рукавных фильтров. Стенды для проведения десульфуризации обычно бывают закрытого типа. Ключевые меры по утилизации пыли включают в себя использование крышек для ковшей, контролируемое введение агентов для десульфуризации, комплексные операции скачивания шлака, использование систем удаления закрытого типа и установку подвижной створки в процессе (см. рис. 7.20).

В удаляемых газах содержится до 10000 мг/нм³ пыли. В некоторых случаях применяются сухие электрофильтры.

Важной характеристикой является эффективность удаления с помощью системы вентиляции. Должно быть оптимизировано положение вытяжных зонтов для достижения эффективности отвода. Расход дымовых газов для автономной системы пылеудаления находится в диапазоне от 30000 до 1 млн. нм³/ч. При автономной системе можно лучше контролировать производимость пылеудаления и повторного использования различных типов уловленной пыли. В настоящее время на некоторых заводах обеспыливание оборудования для десульфуризации является частью централизованной системы вторичного обеспыли-

вания, и ее нельзя характеризовать отдельно. Эти системы имеют расход от 300 тыс. до 2,2 млн. $\text{нм}^3/\text{ч}$. В некоторых случаях можно корректировать производительность системы отвода на основе различных условий процесса.

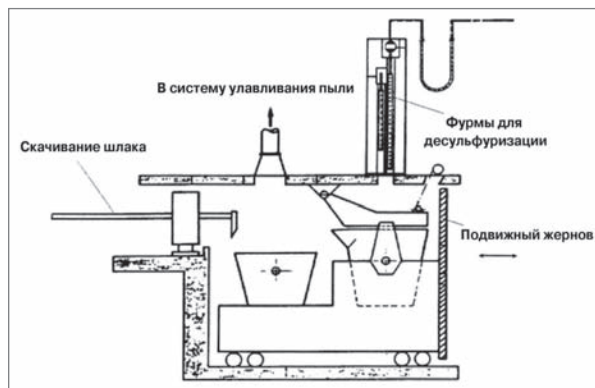


Рисунок 7.20: Улавливание пыли на площадке десульфуризации жидкого металла [38]

Достигаемые экологические выгоды

Когда пыль эффективно отбирается и впоследствии направляется в рукавный фильтр (или электрофильтр), можно достичь выбросов меньше чем $1 - 10 \text{ мг}/\text{нм}^3$ (около $1 \text{ г}/\text{т}$ жидкой стали).

На заводе компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, скачивание шлака и десульфуризация проводятся в закрытом помещении, из которого отбираются выбросы. Они направляются в рукавный фильтр. Результаты точечных замеров для выбросов пыли составили $2 \text{ мг}/\text{нм}^3$ в 2001 г. и $1 \text{ мг}/\text{нм}^3$ в 2004 г.

На установке по обеспыливанию компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия, объем отвода составил около $1 \text{ млн. нм}^3/\text{ч}$, а места отвода включали предварительную обработку жидкого металла, десульфуризацию, отделение шлака, управление жидким металлом и один ковш-печь. Выбросы пыли измерялись непрерывно. Среднегодовой уровень выбросов пыли в 2004 г. составил $7,1 \text{ мг}/\text{нм}^3$. Недавно определенные среднесуточные значения выбросов пыли находились в диапазоне $0,2 - 1 \text{ мг}/\text{нм}^3$. С 2006 г. проводится непрерывный мониторинг также и выбросов SO_2 . Среднесуточные значения выбросов этого загрязнителя, измеренные в течение трех месяцев в 2007 г., находились в диапазоне $20 - 100 \text{ мг}/\text{нм}^3$. Мониторинг данных как для выбросов пыли, так для выбросов диоксида серы в течение периода в три месяца приведен на рис. 7.21. Однако единичные получасовые средние значения выбросов доходили до $340 \text{ мг}/\text{нм}^3$.

Взаимодействия между средами

Насосы откачки потребляют энергию, и образуются твердые отходы, которые можно подвергать рециклингу в процессе спекания (при высоком содержании железа). Однако при этом в процессе спекания будут повышенные выбросы серы. Состав пыли с установки десульфуризации жидкого металла зависит в значи-

тельной степени от используемого агента для десульфуризации. Или же уловленная пыль может быть возвращена в кислородный конвертер после холодного брикетирования (см. п. А2.5.4.4) или использоваться в цементной промышленности.

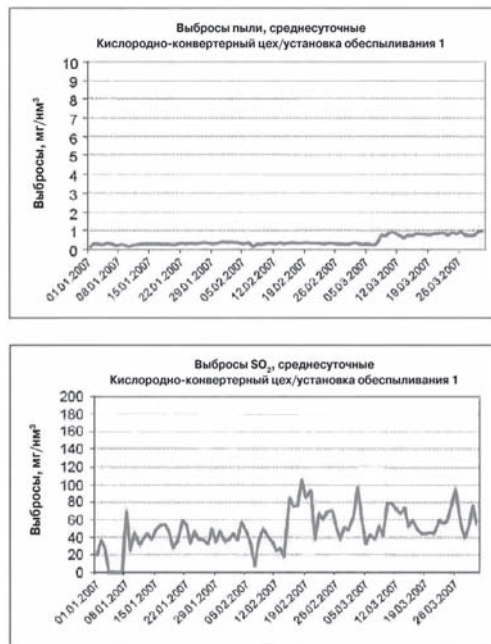


Рисунок 7.21: Среднесуточные значения выбросов с Установки 1 вторичного обеспыливания на кислородном конвертере компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия [277]

Эксплуатационные данные

Как рукавные фильтры, так и электрофильтры могут работать без проблем.

Применимость

Очистка от пыли для установок по предварительной обработке жидкого металла может применяться как на новых, так и на существующих предприятиях.

Экономика

Инвестиции для применения этой технологии составляют приблизительно 10 млн. евро.

Мотивация для внедрения

Основными движущими силами для внедрения очистки от пыли при предварительной обработке жидкого металла являются предельные значения выбросов или другие законодательные требования.

Пример установок

Очистка от пыли в течение предварительной обработки жидкого металла практикуется во многих странах мира.

Справочная литература: [19], [65], [247], [277], [367]

7.3.2.3 Снижение запыленности при разливке в слитки и непрерывной разливке

При разливке в слитки должны использоваться кожуха для защиты расплавленного потока металла от загрязнения кислородом и для снижения образования дыма до незначительного уровня. Если не удастся предотвратить значительное образование дыма, то следует использовать отведение дыма и очистку. Как в случае непрерывной разливки, важным является специализированное оборудование для отвода и очистки дыма применительно к сталям, содержащим свинец.

Оборудование для газо-кислородной резки с железным порошком используется, когда разливается нержавеющая сталь. При этом образуется бурый дым, и требуется отвод газов и их очистка с использованием, например, рукавных фильтров.

При разливке сталей, содержащих свинец, или при введении добавок свинца верхняя часть ковша и промежуточного устройства должны быть закрыты. Требуется рассмотреть возможность применения установки для вдувания, которая потребуется для минимизации риска выделения газов, содержащих свинец. Должен быть предусмотрен отвод дыма вокруг литейной формы и для самой системы разливки в рукавный фильтр, предназначенный для очистки от газов, содержащих свинец.

Если используется кислородная фурма для прочистки сопла, дым должен быть ограничен и отведен, вместе с другими газами, содержащими свинец. Вся пыль от разливки стали, содержащей свинец, должна улавливаться с помощью специальных систем с рукавными фильтрами.

Достигаемые экологические выгоды

В табл. 7.23 показаны достигаемые уровни выбросов для двух разливочных установок с применением рукавных фильтров.

ТАБЛИЦА 7.23: ДОСТИГАЕМЫЕ УРОВНИ ВЫБРОСОВ ДЛЯ ДВУХ МЕТОДОВ РАЗЛИВКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РУКАВНОГО ФИЛЬТРА [244]

Параметр	Разливка в слитки и непрерывная разливка	Непрерывная разливка
Пыль	0,5	0,5
Ni	0,002 (1)	0,014
Cr, Mn, V	<0,004(1)	0,016
Ni, Cr, Mn, V	<0,006	0,03
Cr (VI)	<1 (1)	0,0014

(1) Максимальные значения на основе получасовых средних значений

Примечание: - единицы в мг/нм³ являются среднегодовыми

- данные только для производства нержавеющей стали

Данные не передавались о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

Приведенные значения достигнутых значений выбросов взяты только применительно производству нержавеющей стали в электродуговой печи и с использовани-

ем рукавных фильтров. В принципе, эта технология применима для кислородных конвертеров, производящих нержавеющую сталь, при сопоставимых условиях.

Пример установок

Рукавные фильтры на установках для разлива применяются на двух установках для производства нержавеющей стали в электродуговой печи.

Эта технология используется в Соединенном Королевстве.

Справочная литература: [240], [244]

7.3.2.4 Основные технологии для предотвращения или контроля рассеянных и неорганизованных вторичных выбросов

Основные технологии для предотвращения рассеянных и неорганизованных выбросов от вторичных источников процесса выплавки стали в кислородных конвертерах включают:

- (1) независимые устройства для улавливания вторичных выбросов для каждого вспомогательного процесса в конвертерном цехе
- (2) правильное управление установкой десульфуризации для предотвращения выбросов в воздух
- (3) общее закрытие установок десульфуризации
- (4) обслуживание крышки, когда ковш для жидкой стали не задействован, и содержание ковшей для жидкой стали в чистоте на регулярной основе
- (5) обслуживание ковша с жидким чугуном перед конвертером в течение примерно двух минут после заливки чугуна в конвертер, если не применяется система вытяжки под крышей
- (6) компьютерный контроль и оптимизация процесса выплавки стали, например, таким образом, чтобы предотвращались или уменьшались выбросы (т.е. когда шлак вспенивается таким образом, что он вытекает из конвертера)
- (7) выбросы в течение выпуска стали можно снизить с помощью ограничивающих элементов и использования противовспенивающих агентов
- (8) закрытие дверей в конвертерном цехе в течение продувки кислорода
- (9) камера непрерывного наблюдения за видимыми выбросами в районе крыши
- (10) использование системы отвода выбросов под крышей.

Достижимые экологические выгоды

Технология 1: Эта технология может помочь в оптимизации эффективности улавливания и в содействии возможностям повторного использования. С другой стороны, комбинированные системы вторичного обеспыливания, которые работают в большинстве сталеплавильных цехов, обладают идентичными экологическими характеристиками, что и отдельные системы, которые дают одно решение в одной из стран. В случае потребления энергии комбинированные системы имеют преимущества.

Технология 2: Использование реагентов, оксида кальция вместо карбида кальция в процессе десульфуризации, что приводит к снижению выбросов РМ и образованию запахов и к иному (более полезному) составу образующегося шлака (см. п. 7.2.2.1)

Технология 3: Эта мера позволяет провести полное удаление загрязненного воздуха через систему пылеулавливания.

Технология 4: При использовании этой технологии ковши охлаждаются медленно, и, поэтому, предотвращается дымление ковшей, что приводит к снижению выбросов РМ.

Технология 5: Эта мера позволяет избавиться от дыма, выбросы которого могут происходить, если не применяется система отвода выбросов под крышей.

Технологии 4, 5, 6 и 8: В одном конкретном случае при использовании этих технологий и адекватном контроле выбросов, которые могут появляться из жернова (см. п. 7.3.1), выбросы под крышей от миксерного ковша становятся ниже 0,14 кг/т жидкого металла, а для всего конвертерного процесса можно достичь значений ниже 10 г/т жидкой стали [359].

Технология 9: Когда происходит непрерывное наблюдение за видимыми выбросами в районе крыши, изменение или ненормальные условия эксплуатации, которые могут происходить, становятся причиной роста наблюдаемых видимых выбросов, которые регистрируются камерой.

Данные не передавались о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные.

Применимость

Технология 1: Данные не передавались.

Технология 4: Эта мера применяется, если не используется система удаления выбросов в районе крыши.

Мотивация для внедрения

Непрерывный мониторинг предоставляет возможность принятия ранних корректирующих действий, которые могут иметь экономические выгоды.

Пример установок

Технологии 4, 5, 6 и 8: компания Cogus, Эймейден, Нидерланды.

Справочная литература: [208], [241], [247], [249], [359], [360], [361]

7.3.3 Очистка сточных вод после мокрого обеспыливания

На большинстве кислородных конвертеров используются скрубберы для снижения выбросов в воздух от потока первичного газа (конвертерного газа) (см. п. 7.3.7). Этот потенциальный перенос загрязнений из воздуха в вод таким образом, что образуются сточные воды, которые обычно подвергаются рециклингу и очищаются перед сбросом.

Вода от скрубберов содержит главным образом взвешенные твердые вещества; цинк и свинец являются основными имеющимися тяжелыми металлами.

Большая часть взвешенных твердых веществ в скрубберной воде может быть удалена с помощью гидроциклонов и (или) осаждения. После корректировки рН большую часть воды можно подвергнуть рециклингу.

Слив можно очистить с помощью осаждения и (или) фильтрации перед сбросом.

Достигаемые экологические выгоды

В табл. 7.2.4 приведены примеры определенных сбросов в воду от систем мокрого обеспыливания в кислородно-конвертерном производстве.

ТАБЛИЦА 7.24: ПРИМЕРЫ УДЕЛЬНЫХ СБРОСОВ В ВОДУ ОТ УСТАНОВОК МОКРОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ДЛЯ КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРОВ[65]

Параметр	Единицы	Системы подавления сжигания		
		Corus, Эймейден, Нидерланды (1)	Stelco LEW, Онтарио, Канада	LTV Steel Cleveland Works, США
Расход сброса	м3/т жидкой стали	0,52	1,1	0,002
Взвешенные твердые вещества	г/т жидкой стали	20	5,5	0,0083
Цинк	мг/т жидкой стали	73	210	0,36
Свинец	мг/т жидкой стали	31	110	0,057

(1) Выбросы для компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, относятся к значениям 1994 г.

Самыми эффективными мерами для минимизации сброса сточных вод являются:

(1) Повышение уровня рециркуляции скрубберной воды. Высокий уровень рециркуляции может быть достигнут с помощью двухстадийного процесса осаждения в потоке скрубберной воды с вдуванием диоксида углерода (CO_2) перед стадией второго осаждения, для того чтобы увеличить осаждение карбонатов. Отметим, что вдувание CO_2 возможно только в системах, работающих в рамках подавления сжигания.

(2) Очистка слива. Хотя может быть достигнут эффективный уровень рециркуляции, при сливе необходимо избегать накопления некоторых минералов/солей. В сливе содержатся взвешенные твердые вещества (включая цинк, свинец и т.д.) как самые важные загрязнители. Слив очищается с помощью осаждения и фильтрации.

Взаимодействие между средами

Шлам образуется в течение обработки с использованием гидроциклона и (или) осаждения взвешенных твердых частиц в скрубберной воде. Этот шлам может подвергаться рециклингу на уровне 100% в черной металлургии, если поступление цинка с металлоломом жестко ограничен, т.е. может быть возвращен на агломерационную установку или кислородный конвертер после холодного брикетирования (см. п. A2.5.4.4). На многих других заводах мира шлам нельзя использовать, и он либо используется вне сектора, в цементной промышленности или подвергается либо хранению, либо депонированию.

Не передавались эксплуатационные данные, о экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

Высокая эффективность рециркуляции и дополнительная очистка может применяться как на новых, так и на существующих заводах.

Пример установок

Примерами установок с высокой степенью рециркуляции и очистки слива являются:

Компания Corus, Эймейден, Нидерланды; ArcelorMittal, Гент, Бельгия; ArcelorMittal, Кливленд, США.

Справочная литература: [65], [138], [363]

7.3.4 Очистка сточных вод от непрерывной разливки

Вода используется в машинах непрерывного литья заготовок для прямого охлаждения слэбов, блюмсов и заготовок. Поэтому образуется поток загрязненной технической воды. Во многих случаях эти сточные воды очищаются вместе с потоками сточных вод от станов горячей прокатки. После очистки происходит рециркуляция этих вод.

Кристаллизатор и внутренняя часть роликов обычно охлаждаются водой в замкнутом контуре, и здесь это не рассматривается.

Основными загрязняющими веществами являются взвешенные твердые вещества и масла. Основными мерами для снижения сбросов в воду являются высокий уровень рециркуляции вместе с осаждением и (или) фильтрацией слива. Для удаления масел могут использоваться баки-сепараторы.

Впрыскиваемая вода обычно осаждается с помощью фильтрации через песок после охлаждения в испарительной градирне. Фильтрация через песок помогает в обеспечении низких уровней твердых частиц и нефтяного загрязнения для достижения удовлетворительной длительной работы сопел вторичного впрыска в машине непрерывного литья заготовок. Слив из открытой системы для контроля уровня растворенных твердых частиц должен осуществляться из расположенной далее по технологической цепи установки для песчаной фильтрации для минимизации сброса взвешенных твердых частиц и любых загрязнителей в виде масел/жиров. Для предотвращения засорения установки песчаной фильтрации перед ней необходимо установить систему сбора нефти.

Достижимые экологические выгоды

В табл. 7.25 приведены удельные сбросы в воду от непрерывной разливки.

ТАБЛИЦА 7.25: ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБ УДЕЛЬНЫХ СБРОСАХ В ВОДУ ОТ УСТАНОВОК МОКРОГО ОБЕСПЫЛИВАНИЯ [65], [135]

Параметр		Corus, Эймейден, Нидерланды (1)	Stelco LEW, Онтарио, Канада	ArcelorMittal, Индиана, США
Расход сброса	м ³ /т разливаемой стали	0,04	1,4	0,076
Уровень рециркуляции	%	98	78	99
Взвешенные твердые	мг/т разливаемой стали	0,8 0,2(2)	26	1,4
Цинк	мг/т разливаемой стали	<1	-	8,0
Свинец	мг/т разливаемой стали	<1	-	8,7
Масло	мг/т разливаемой стали	20	2000	160

(1) Данные относятся к 2004 г.

(2) Данные за 2007 г. указывают тенденцию снижения

Пример концентрации загрязняющих веществ в сточных водах от непрерывной разливки после очистки в конвертерном цехе компании ArcelorMittal в г. Бремен, Германия приведен в табл. 7.26 [362], [363].

ТАБЛИЦА 7.26: ПРИМЕР КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В СТОЧНЫХ ВОДАХ ОТ НЕПРЕРЫВНОЙ РАЗЛИВКИ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТЕРЕ КОМПАНИИ ARCELORMITTAL В БРЕМЕНЕ, ГЕРМАНИЯ [260], [362]

Параметр	Количество измерений	Среднее значение	Медианное значение	Максимальное значение	Минимальное значение	Стандартное отклонение
Pb (мкг/л)	33	3,03	2,00	16,00	<2,00	3,11
Cr (мкг/л)	33	2,99	2,00	13,00	<2,00	2,17
Cu (мкг/л)	33	6,03	5,70	15,00	0,50	2,74
Zn (мкг/л)	33	87,12	62,00	340,00	<20,00	73,89
Cd (мкг/л)	33	0,20	0,20	0,27	<0,20	0,01
Fe (мг/л)	33	0,59	0,14	8,50	0,05	1,63
Ni (мкг/л)	33	021,88	22,00	37,00	11,00	6,15
Nминеральный (мг/л)	31	5,09	5,07	7,16	3,29	1,21
АОХ (мкг/л)	33	41,06	40,00	66,00	21,00	11,00
Взвешенные твердые (мг/л)	33	2,77	1,00	19,00	0,80	4,37
DOC (мг/л)	33	5,31	5,00	10,00	4,30	1,11
ТОС (мг/л)	33	5,68	40	10,70	,60	1,22
Углероды нефтепродуктов (мг/л)	31	16	0518	0,40	<0,10	0,07
Токсичность икринок рыбы	8	1,25	1,00	2,00	1,00	0,430,43

Примечание: измерения методом случайной выборки с февраля 2000 по ноябрь 2006 г.

Взаимодействия между средами

При стадии осаждения образуется шлам, в котором содержится железо, которое можно подвергнуть рециклингу на агломерационной установке или непосредственно вдувать в фурмы доменной печи.

Не приводились эксплуатационные данные, о экономике, мотивации для внедрения.

Высокий уровень рециркуляции и очистка слива могут применяться как на новых, так и на существующих заводах.

Пример установок

ArcelorMittal, Индиана, США

Corus, Эймейден, Нидерланды

ArcelorMittal, Гент, Бельгия

Voestalpine Stahl GmbH, Линц, Австрия

Справочная литература: [65], [240], [362], [363]

7.3.5 Пыль от горячего брикетирования и рециклинг с утилизацией окатышей с высокой концентрацией цинка для внешнего использования

Когда применяется сухой электрофильтр в качестве средства для очистки конвертерного газа в результате кислородной продувки, образуется твердая пыль. Эта имеет высокое содержание железа (40 – 65%) и может использоваться в качестве ценного материала, когда она прессуется с получением брикетов. Хотя грубая и мелкая пыль подвергается брикетированию на одинаковых установках, они шихтуются раздельно вследствие их различных свойств (см. табл. 7.15). Брикет из грубой пыли содержит около 70% металлического железа, и их можно использовать в качестве замены лома в кислородном конвертере. Брикет из мелкой пыли содержит от 7 до 20% металлического железа, и их можно использовать как добавку в качестве охладителя в плавке [2]. Горячее брикетирование выполняется на установке горячего брикетирования (см. рис. 7.22). Сначала пыль нагревается до 750°C в реакторе с подвижным слоем с помощью горячего воздуха и автотермической реакции. На второй стадии с помощью цилиндрического пресса готовятся брикеты.

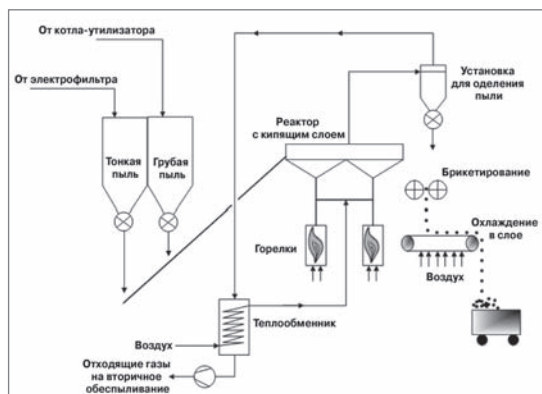


Рисунок 7.22: Установка для горячего брикетирования пыли с кислородных конвертеров [38]

При рециклинге пыль постепенно обогащается цинком. Когда брикеты из пыли достигают средней концентрации цинка, по крайней мере, 17% по весу, они транспортируются внешним переработчиком для утилизации цинка. Для технической и экономической реализации процесса утилизации цинка содержание цинка должно быть от 20 до 24%, что достигается путем смешения поступающих материалов.

Так как цинк в этой закрытой системе распределен очень неравномерно, пыль с содержанием цинка значительно выше 17% по весу также находит свой путь в цикле, описанном здесь. Это приводит к тому, что значительные количества цинка необязательно использовать в цикле и повторно восстанавливать, испарять, окислять и брикетировать в каждом последовательном цикле.

Эта пилообразная особенность последовательного обогащения и удаления пыли приводит к большой флуктуации в загрузке брикетов в кислородный конвертер. Это, в свою очередь, не только оказывает влияние на металлургию процесса (выпуск шлака, накопление наносов пыли в газоходе отходящих газов), но оказывает также значительное воздействие на тепловой баланс (жидкий чугун/лом). Необходим регулярный аналитический контроль для обеспечения того, чтобы качество выплавляемой стали и шлака не ухудшалось вследствие любого чрезмерного роста содержания цинка.

Для оптимизации процесса была разработана технология определения в реальном режиме уровня цинка в пыли. Эта технология называется LIBS (спектроскопия возбуждения лазерным пробоем). Устройство непрерывно измеряет содержание цинка в пыли на конвейере. Знание содержания цинка в пыли дает возможность выбора, в случае необходимости, удаления, гранулирования и транспортирования переработчику.

На рис. 7.23 приведен схематический обзор мер для оптимизации рециклинга пыли из кислородного конвертера.

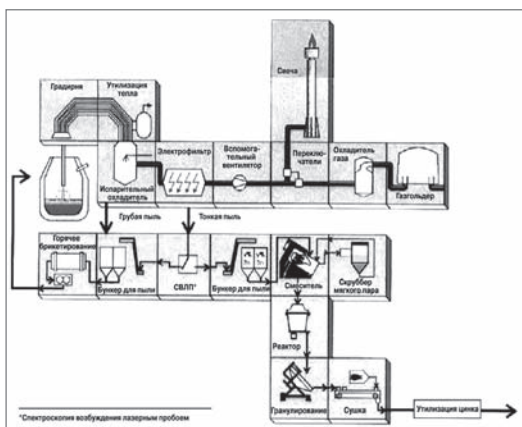


Рисунок 7.23: Общее представление о мерах для оптимизации рециклинга пыли от кислородного конвертера [57]

Взаимодействия между средами

Для установки горячего брикетирования требуется энергия, но экономятся сырьевые материалы.

Не приведены эксплуатационные данные, о экономике.

Применимость

Этот метод применим, когда используется сухой электрофильтр для очистки конвертерного газа. Некоторые эксперименты продемонстрировали, что утилизация цинка с помощью брикетирования не является решением в случае мокрым систем обеспыливания по причине неустойчивого осаждения в отстойниках в связи с образованием водорода (вследствие реакции металлического

цинка с водой). По причинам безопасности содержание цинка в шламе должно быть ограничено 8 – 10%.

В будущем может появиться возможность перерабатывать шламы после скрубберов Вентури, но для этого потребуется дополнительная энергия для испарения воды.

Мотивация для внедрения

Основными движущими силами для внедрения этой технологии являться ограниченные возможности и высокие затраты на депонирование пыли.

Пример установок

- Кислородно-конвертерный цех с 3 конвертерами компании Voestalpine Stahl GmbH в г. Линц, Австрия (в этом цехе практикуется утилизация цинка в форме гранул для внешнего повторного использования)

- Металлургический завод в г. Квангъян компании POSCO, Корея

- Металлургический завод в г. Баошань компании Baoshan Iron and Steel, Китайская народная республика

- Днепропетровский металлургический комбинат, Украина

- Кислородно-конвертерные цеха №№ 1 и 2 компании Thyssen Krupp Stahl в г. Дуйсбург, Германия

- Компания BHP, Ньюкасл, Австралия.

Справочная литература: [2], [57], [116], [154], [363]

7.3.6 Снижение содержания цинка в ломе

Высокое содержание цинка в доменной печи оказывает негативное воздействие на правильную работу. Поэтому рециклинг материалов с высоким содержанием цинка ограничен. Пыль и шламы, собранные после устройств обеспыливания конвертерного газа, могут содержать относительно высокие концентрации тяжелых металлов, в особенности цинка (см. табл. 7.15). Источником этого цинка является главным образом лом, загружаемый в кислородный конвертер. Выбросы цинка могут заметно колебаться от одной плавки до другой, согласно типу загружаемого внешнего лома и условий продувки. Та же самая проблема, но в меньшей степени, связана со свинцом и кадмием.

Для выполнения требований по рециклингу пыли, можно использовать лом с низким содержанием цинка. Тем самым исключается лом, в котором содержатся продукты гальванической обработки.

Достижимые экологические выгоды

На некоторых заводах практикуется жесткая политика в отношении использования лома с низким содержанием цинка. Шлам от систем обеспыливания конвертерного газа имеет содержание цинка порядка 0,1 – 0,3%, что позволяет проводить рециклинг 100% пыли на агломерационной установке.

Взаимодействие между средами

Решение этой проблемы следует рассматривать как местное решение. Общее воздействие на выбросы цинка, вероятно, равно нулю, поскольку большие количества оцинкованной стали производятся во всем мире, что приводит к образованию шламов с относительно высоким содержанием цинка, когда сталь

становится доступной в виде лома в сталеплавильном производстве. На большинстве кислородных конвертеров цинк улетучивается из конвертера в течение первых нескольких минут кислородной продувки.

Эксплуатационные данные

Эта технология работает без проблем.

Применимость

Применение возможно как на новых, так и на существующих заводах. Однако это в значительной степени зависит от наличия лома с низким содержанием цинка, свинца и кадмия и экономических факторов использования лома этого типа. Поэтому способ не практикуется во всех случаях и в сильной степени зависит от рынка лома. В вышеупомянутом примере завода компании Corus в Эймейдене, Нидерланды, процесс основан на ломе с низким содержанием цинка. Лом с цинковым покрытием не используется. Его следует применять предпочтительно на заводах без систем рециклинга пыли, как описано в п. 7.3.5.

Экономика

Лом с низким содержанием цинка является более дорогим, и в этом случае возрастают затраты на тонну выплавленной жидкой стали. Ожидается, что лом с низким содержанием цинка будет все труднее получать. С другой стороны, использование лома с низким содержанием цинка дает возможность рециклинга шламов и пыли после очистки конвертерного газа.

Данные не приводились о мотивации для внедрения.

Пример установок

Компания Corus, Эймейден, Нидерланды; компания British steel, Скаторп, Соединенное Королевство.

Справочная литература: [13], [65]. [105], [247], [363]

7.3.7 Утилизация энергии конвертерного газа

Меры по утилизации энергии конвертерного газа связаны как с эффективным использованием физического тепла, так и химической энергии конвертерного газа. В прошлом большая часть химической энергии рассеивалась при сжигании на свече.

Конвертерный газ, который образуется в течение кислородной продувки, выходит из горловины конвертера и впоследствии улавливается системой первичной вентиляции (отвода). Температура этого газа составляет приблизительно 1200°C, а удельный расход составляет порядка 50 – 100 нм³/т стали. В газе содержится порядка 70-80% монооксида углерода (СЩ), когда он покидает конвертер, и он имеет теплотворную способность порядка 8,8 МДж/нм³.

Как правило, можно использовать две системы утилизации энергии конвертерного газа:

(1) Сжигание конвертерного газа в газоходе конвертера с последующей утилизацией физического тепла в котле-утилизаторе для производства пара

Конвертерный газ можно полностью или частично сжигать, позволяя окружающему воздуху попасть в газоход системы первичной вентиляции. Таким об-

разом, физическое тепло и общий поток газа в системе первичной вентиляции возрастает, и можно произвести больше пара в котле-утилизаторе. Количество воздуха, подмешиваемого к конвертерному газу, определяется количеством вырабатываемого пара.

В полном цикле выплавки стали (приблизительно 30 – 40 мин) кислородная продувка длится приблизительно 15 мин. Поэтому процесс производства пара, который непосредственно связан с кислородной продувкой, является дискретным.

(2) Подавление сжигания конвертерного газа и направление конвертерного газа в газгольдер для последующего использования

Сжигание конвертерного газа в системе первичной вентиляции можно подавить путем опускания водоохлаждаемой выдвижной юбки над горловиной конвертера. При этом монооксид углерода остается, и конвертерный газ можно использовать в качестве источника энергии в других местах. Газ очищается для соответствия требованиям сетевого газа, и его можно подавать в газгольдер. Можно установить котел-утилизатор для утилизации физического тепла, которое содержится в не сожженном конвертерном газе. Следует отметить, что конвертерный газ не собирается в начале и конце продувки вследствие низкого содержания СО. В течение этих периодов, которые продолжаются несколько минут, вместо этого происходит сжигание газа на свече (см. рис. 7.11).

Имеется тенденция к подавлению сжигания с последующей утилизацией конвертерного газа. Для этого имеются две основные причины:

- при подавлении сжигания снижается количество дымовых газов, и, таким образом, снижаются затраты на вентиляторы и удаление пыли. Снижение расхода дымовых газов, типичное для подавления сжигания, приводит к неочищенному газу с повышенной массовой концентрацией. Таким образом, для идентичной концентрации очищенного газа должна использоваться более эффективная система утилизации пыли (см. п. 7.3.1);
- большие объемы пара производятся в системах полного сжигания. Однако поскольку пар производится дискретно, его невозможно всегда полностью утилизировать. Использование утилизированного конвертерного газа с подавлением сжигания намного гибче. Использование конвертерного газа в сочетании с доменным и коксовым газом как третьего печного продукта в газовой фазе дает существенные преимущества, если появляется возможность замены значительных количеств ресурсов первичной энергии, таких как природный газ. На некоторых заводах конвертерный газ используется в основном для обогащения доменного газа [66]. Коксовый и природный газ только подмешиваются на станциях смешения в качестве второго и третьего приоритета (ступенчатое управление) [66].

В табл. 7.27 показаны преимущества и недостатки подавления сжигания со специальным рассмотрением использования конвертерного газа.

ТАБЛИЦА 7.27: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ ПОДАВЛЕНИЯ СЖИГАНИЯ С ОТДЕЛЬНЫМ РАССМОТРЕНИЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА [38]

Преимущества	• Снижение объемного расхода отходящих газов • Большие размеры компонентов транспортирования газа, позволяющие достичь более равномерных скоростей в камине конвертера • Снижение потребления энергии вентилятором отходящих газов • Снижение потребности в воде для охлаждения отходящих газов • Конструирование систем утилизации пыли для меньших объемов отходящих газов • Возможность использования отходящих газов • Снижение выбросов газа от условий плавления с бурным кипением вследствие размещения различных конструкций герметичной юбки
Недостатки	• Более сложное технологическое оборудование в отношении стандартов техники безопасности • Необходимость в дополнительных элементах • Необходимы дополнительные меры техники безопасности

Состав конвертерного газа в случае подавления сжигания показан в табл. 7.6. Когда применяется полное сжигание, содержание СО намного ниже, а содержание СО₂ соответственно выше.

Достижаемые экологические выгоды

В табл. 7.28 приведены примеры производства пара в котлах-утилизаторах на заводах компании Thyssen Stahl AG, Германия.

ТАБЛИЦА 7.28: ГЕНЕРАЦИЯ ПАРА В КИСЛОРОДНЫХ КОНВЕРТЕРАХ КОМПАНИИ THYSSEN STAHN AG [66]

Параметр	Единица	Ruhrort	Beeckerwerth	Bruckhausen
Производительность	(т жидкой стали/плавку)	4 × 140	3 × 250	2 × 380
Коэффициент забора воздуха (*)	-	>2,00	4	0,15
Расход дымовых газов	(нм ³ /т жидкой стали)	250	115	87
Генерация пара	(кг пара/т жидкой стали)	380	230	80

(*) Коэффициент забора воздуха указывает, сколько воздуха вводится в газодымовых газов, т.е. коэффициент 2 означает, что количество забираемого воздуха в 2 раза больше количества, образующегося конвертерного газа

Рурорт, Бекерверт и Брюкхаузен – районы г. Дуйсбурга, Германия, в которых находятся заводы компании Тиссен Крупп.

Утилизация энергии от системы полного сжигания с котлом-утилизатором, как сообщают, производится с КПД 80% от общего количества отводимого тепла. Когда применяется подавление сжигания, утилизируется только 10 – 30% (0,1 – 0,3 ГДж/т жидкой стали) от общего выхода энергии в котле-утилизаторе [66]. Еще 50 – 80% утилизируется в виде химической энергии (СО) в конвертерном газе, в зависимости от коэффициента забора воздуха. Когда газ сжигается на свече, и, таким образом, не утилизируется, эта энергия теряется.

При общей утилизации энергии, когда применяется подавление сжигания, утилизация конвертерного газа и КПД использования физического тепла в котле-утилизаторе может достичь 90%[1], [66].

Когда утилизируется конвертерный газ, экономия энергии составляет 0,35 – 0,7 ГДж/т жидкой стали, по сравнению со сжиганием на свече. Система без утечек, разработанная Nippon Steel corporation, приводит к тому, что экономия энергии достигает 0,98 – 1,08 ГДж/т жидкой стали, и возрастает производство

расплавленной стали на 0,4%, по сравнению со сжиганием на свече.

Взаимодействия между средами

Для утилизации конвертерного газа требуется надлежащая очистка сырого газа для соответствия требованиям сетевого газа. Когда применяется полное сжигание, дымовые газы непосредственно выбрасываются в атмосферный воздух. Общие выбросы в воздух снижаются, когда применяется подавление сжигания. Кроме того, значительно больший объем дымовых газов от систем полного сжигания предполагает и более дорогую и относительно менее эффективную очистку от пыли.

Утилизация энергии может привести к экономии первичных энергетических ресурсов.

Утилизация конвертерного газа потенциально опасна и требует жестких мер безопасности (взрывоопасность, утечки монооксида углерода и т.д.)

Не передавались эксплуатационные данные, о мотивации для внедрения.

Применимость

Как утилизация тепла отходящих газов, так и утилизация конвертерного газа с помощью подавления сжигания может применяться на новых и существующих заводах. В некоторых случаях это может оказаться экономически нецелесообразно, или в отношении надлежащего управления энергией, невозможно утилизировать конвертерный газ с помощью подавления сжигания. В этих случаях конвертерный газ можно сжигать с производством пара. Вид сжигания зависит от местного управления энергетикой.

Экономика

Инвестиции, которые требовались в 2007 г., составили 30,5 млн. евро на реализацию проекта, в состав которого входили газгольдер на 80000 м³, дутьевые вентиляторы, газоходы, трехходовые клапаны в системах отходящих газов, меры безопасности, монтаж и инженерно-технические работы и т.д. Около 80% конвертерного газа должно утилизироваться, а в итоге ежегодная экономия энергии составит 2600 ТДж/год = приблизительно 12 евро/ГДж инвестиций. Срок окупаемости составляет около пяти лет, с учетом экономии от закупок природного газа, затрат на эксплуатацию, кредитов за сокращение выбросов CO₂, снижения потерь при сжигании на свече, продаж газа производителем электроэнергии и снижения производства пара.

Пример установок

Утилизация энергии с помощью систем полного сжигания или систем подавления сжигания широко применяется во всем мире. Имеется тенденция к системам подавления сжигания, главным образом вследствие логистических преимуществ, по сравнению с системами полного сжигания.

Справочная литература: [1], [65], [66], [363]

7.3.8 Отбор проб в реальном времени и анализ стали

Производство стали в кислородных конвертерах является периодическим процессом. Каждая загрузка жидкого чугуна должна быть очищена для достижения требуемого качества стали. Для мониторинга успешности проведения процесса отби-

раются пробы из ванны расплавленной стали для проведения анализа. Результаты анализа используются для определения дополнительного времени, необходимого для кислородной продувки с тем, чтобы сталь достигла требуемого качества.

Новейшие системы динамического моделирования и мониторинга достигли точности, которая делает отбор проб в течение продувки излишним. Тогда контрольная проба отбирается в течение периода разливки. Эта технология исключает выбросы вследствие отбора проб.

Раньше было необходимо прервать кислородную продувку и наклонить конвертер для отбора пробы. Для этого процесса требовалось время, и при этом возрастали выбросы от конвертера. На современных заводах пробы отбираются в реальном масштабе времени в течение кислородной продувки при использовании вспомогательной фурмы или подобного устройства. Это дает возможность продолжать процесс доводки плавки при анализе проб. При этом сокращается время производственного цикла, и, следовательно, возрастает производительность. Выбросы ниже по сравнению с прежним методом отбора проб, так как позиция кислородного конвертера не изменяется.

Достижимые экологические выгоды

Снижается время на проведение плавки, так что возрастает производительность. Снижаются выбросы в воздух, так как нет необходимости в наклонении конвертера.

Взаимодействие между средами

Нет сведений о взаимодействии между средами.

Не передавались эксплуатационные данные, о мотивации для внедрения.

Применимость

Эта технология применима для всех заводов. Существующие цеха необходимо модернизировать для установления системы для отбора проб.

Экономика

Затраты, вероятно, снизятся в результате роста производительности.

Пример установок

На большинстве европейских заводов применяется отбор проб в реальном масштабе времени и динамическое моделирование.

Справочная литература: [65], [363]

7.3.9 Повышение эффективности использования энергии в сталеплавильных цехах с помощью автоматизации

В этом разделе включено два варианта автоматизации сталеплавильного цеха:

- (a) автоматизированная система управления крышкой ковша;
- (b) автоматизированная система выпуска плавки из конвертера.

Технология (a) Автоматизированная система управления крышкой ковша

Сталеразливочный ковш используется для вторичной обработки и транспортирования жидкой стали из кислородных конвертеров на непрерывную разливку. При обычной практике ковши не покрываются в течение обработки в ковше и транспортировании, но крышка постоянно используется для предотвращения чрезмерных потерь тепла в течение непрерывной разливки. После разливки и

обслуживания ковша ковши, находящиеся в работе, подогреваются с помощью горелок, обычно с использованием коксового или природного газа для поддержания их в нагретом состоянии до следующей разливки.

На металлургическом заводе Raahе Steel Works в г. Раахе, Финляндия, в работе постоянно находится от восьми до десяти ковшей. Ковши оснащены крышками, которые удаляются только в течение выпуска из конвертера и в течение обработки в ковше. Горелки не требуются для поддержания ковшей горячими после обслуживания. Кислородные конвертеры и площадки для внепечной обработки стали оснащены стендами с крышками, на которых автоматически устанавливаются и (или) удаляются с ковша в зависимости от стадии процесса. Система является системой с “откидной крышкой”, которая также дает возможность сливать шлак после разливки без удаления крышки. Такая система изображена на рис. 7.24.



Рисунок 7.24: Автоматизированная система управления крышкой ковша [208]Т

Технология (b) Автоматизированная система выпуска плавки из конвертера

С помощью использования имеющейся системы вспомогательной фурмы можно оценить температуру стали и содержание углерода в ней без наклона конвертера в горизонтальное положение. Следовательно, выпуск плавки может начаться в течение 2-3 мин после окончания продувки, в зависимости от времени после перемешивания. В 2004 г. приблизительно 75% плавков выпускается в течение трех минут. Последовательность выпуска, инициируемая оператором, состоит из следующих автоматизированных стадий:

- выпуска плавки
- шлакового покрытия, и при необходимости всплеска шлака
- слива шлака.

Инфракрасная камера, которую можно использовать для выявления различия между сталью и шлаком, показывает, когда шлак входит в разливаемый поток, и когда автоматически завершается выпуск плавки.

На рис. 7.25 схематически показана система автоматического выпуска.



Рисунок 7.25: Схема автоматизированной системы выпуска металла [208]

Достигаемые экологические выгоды

Повышается эффективность использования энергии (улучшается контроль температура) и образуется меньше пыли.

Технология (а) Автоматизированная система управления крышкой ковша

Поскольку теряется меньше тепла в течение цикла работы ковша, средняя температура выпуска плавки на 10оС. Пониженная температура выпуска плавки дает возможность повысить на 8 кг/т долю лома в конвертере без добавки дополнительного тепла, и, таким образом, повышается производительность. Еще одна возможность состоит в производстве стали с меньшим на 8 кг/т горячего металла, что эквивалентно снижению выбросов CO₂ на 15 кг/т. Отклонение температуры выпуска плавки снижается на 4оС, что является существенным для контроля устойчивости процесса. Температура стали становится более стабильной в течение всего процесс выплавки стали, что снижает прекращения разливок на машине непрерывной разливке. Ковши практически свободны от кусков стали и шлака. Нет необходимости в дополнительной энергии на площадках обслуживания ковшей, что позволяет использовать коксовый газ для других применений на металлургическом заводе. Крышки снижают выбросы пыли и прямое излучение тепла от сталеразливочных ковшей в течение транспортирования. Несколько улучшается ситуация с износом огнеупоров конвертеров и ковшей.

Технология (b) Автоматизированная система выпуска плавки из конвертера
Технология демонстрирует несколько основных экологических выгод:

- снижается целевая температура выпуска плавки для стали примерно на 15оС. Это дает возможность повысить долю лома, следовательно, снизить отношение жидкого чугуна в шихте. При снижении на 15оС температуры выпуска плавки появляется возможность снижения отношения доли жидкого чугуна примерно на 9 кг на т нерафинированной стали, что эквивалентно возможному

общему снижению образования CO₂ на 16 кг на тонну нерафинированной стали:

- вследствие предотвращения наклона конвертера в горизонтальное положение для отбора проб после завершения продувки, выбросы горячих газов и пыли снижаются;
- при точном определении времени прекращения выпуска стали в конвертере остается меньше стали, и меньшее ее количество сливается вместе со шлаком в шлаковый ковш. Меньшее количество стали в шлаковом ковше приводит не только к стабилизации процесса, но также и к меньшим выбросам пыли при опустошении ковшей;
- более высокая степень шлакового покрытия приводит к большему сроку службы футеровки, и снижается необходимость в керамических материалах. Грубая оценка такова, что при автоматизированном выпуске на 20% повышает срок службы футеровки.

Эффективность использования энергии не только повышает общую производительность вследствие сокращения времени между выпусками стали, но также снижается и температура выпуска стали, и это можно использовать для повышения рециркуляции лома, а также повышения выхода стали.

Взаимодействия между средами

С использованием этой новой практики не были зарегистрированы какие-либо негативные взаимодействия между средами.

Не передавались эксплуатационные данные.

217

Применимость

Технология (а)

Автоматизированная система управления крышкой ковша, в принципе, применима для всех металлургических заводов, с учетом характеристик существующих установок. Крышки могут быть очень тяжелыми, поскольку они изготовлены из огнеупорных кирпичей. Грузоподъемность кранов и конструктивные особенности всего здания ограничивает применимость существующих установок. Имеются различные технические проектные решения для реализации системы с учетом реальных условий на заводе.

Технология (b)

Практика автоматизированного выпуска стали из конвертера может быть применена в любом конвертерном цехе, который оснащен системами быстрой и точной регистрации температуры и содержания углерода в стали в конце продувки, а также системой обнаружения шлака.

Экономика

Технология (а)

Автоматизированная система управления крышкой ковша позволяет сталеварам значительно снизить производственные расходы.

Технология (b)

Практика автоматизированного выпуска стали из конвертера в значительной степени связана с повышением производительности, снижением затрат на обслуживание и снижением износа огнеупоров.

Мотивация для внедрения**Технология (а)**

Движущими силами для внедрения технологии являются повышение производительности, лучший контроль процесса с повышенным выходом, повышение эффективности использования энергии и экономия затрат.

Технология (b)

Повышение производительности и потребления лома являются результатом практики автоматизированного выпуска стали. Движущими силами для повышения степени автоматизации этой практики являются:

- стабилизация и повышение производства стали, и повышение времени использования
- улучшение контроля процесса
- улучшение рабочих условий
- повышение срока службы.

Примеры установок

Примером внедрения технологий а) и б) является завод в г. Рууки, Финляндия.

Технология б) практика автоматизированного выпуска стали на металлургическом заводе компании SSAB Tunnpl t AB в г. Лулео, Швеция была постепенно внедрена в течение конца 1990-х г. Первым шагом стало внедрение технологии прямого и быстрого выпуска конвертерной стали (QDT), с последующей автоматизацией всей последовательности выпуска плавки, включая выпуск шлака.

Справочная литература: [208]

7.3.10 Прямой выпуск стали из конвертера

Обычно дорогие устройства типа или сенсорные тестовые системы используются без ожидания на проведение химического анализа отобранных проб (прямой выпуск). Компания Ovaako на своем заводе в г. Коверхар, Финляндия, разработала практику для достижения прямого выпуска без таких устройств. На практике концентрация углерода при продувке снижается до 0,04%, и одновременно температура ванны жидкого металла снижается до заданного значения. Перед выпуском плавки измеряют температуру и активность кислорода (с использованием кислородного концентрационного элемента) в жидкой стали для принятия дальнейших действий.

Уровень повторной продувки на этом заводе в настоящее время составляет приблизительно 5%.

Достижимые экологические выгоды

При прямом выпуске стали достигается повышение эффективности использования энергии, и оказываются положительные воздействия на окружающую среду.

Преимуществом практики прямого выпуска стали является главным образом повышение энергоэффективности. После продувки ванна жидкого металла может охладиться на 200C. В то же самое время, сокращается время от выпу-

ска до выпуска на 20%. Это означает значительное повышение производительности. Вследствие повышения теплооборота объем лома возрастает на 5%, по сравнению с практикой не прямого выпуска. Это означает снижение выбросов CO₂ приблизительно на 15 кг/т.

Срок службы футеровки повышается примерно на 10%. Вследствие этого достигается также и большее количество использования рециркулируемого материала (лома), и снижается воздействие на окружающую среду.

Данные не приведены о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные.

Применимость

Практика принципиально применима на конвертерах с некоторыми предварительными условиями. Реализация практики без дополнительных устройств означает несколько лет опытно-конструкторских работ.

Для успешных результатов при прямой продувке необходимы некоторые предварительные условия, типа подходящего анализатора жидкой стали и устройств для предотвращения вытекания шлака. Наличие печи-ковша облегчает реализацию практики.

Экономика

Экономические выгоды связаны с ростом производительности, снижением потребления энергии и износа огнеупоров.

Мотивация для внедрения

Возрастающая эффективность использования энергии является движущей силой для внедрения технологии. Другими движущими силами являются повышение производительности, экономия затрат и снижения воздействия на окружающую среду.

Пример установок

Прямой выпуск стали использует компания Овако на заводе Коверхар, Финляндия с 2001 г. почти для всех сортов стали, и он годится почти для всех видов стали, за исключением некоторых специальных сталей. Доля прямого выпуска составляет в настоящее время 99% для всех плавов.

Справочная литература: [208]

7.3.11 Непрерывное литье полосы по форме, близкой к окончательной

Непрерывное литье полосы по форме, близкой к окончательной, означает непрерывную разливку полосы с толщиной менее 15 мм. Процесс литья объединяется с прямой горячей прокаткой, охлаждением и навиванием полосы без промежуточной нагревательной печи, используемой для методов обычного литья, например, непрерывного литья слябов или тонких слябов. Поэтому литье полосы представляет способ производства плоских заготовок различной ширины и толщины менее 2 мм.

Процесс разлива можно разделить на различные способы. Все они характеризуются движущимися кристаллизаторами без использования литейного порошка, как изложено в работе [141] (см. рис. 7.26).

Достигаемые экологические выгоды

Достигаемые выгоды для экономии энергии по существу основаны на том факте, что нагрев не является необходимым, а также на снижении уровня горячей прокатки. По сравнению с обычной разливкой слабов, нет необходимости в дополнительной энергии для достижения температуры, требующейся для горячей прокатки. Расчеты в отношении потребления энергии уже были сделаны в прошлом. Соотношение между потреблением первичной энергии и выбросами CO₂ для различных методов разливки приведены на рис. 7.27 [141] вместе с основными стадиями процесса. Переоценка потребления энергии для разливки полосы является частью проекта, выполняемого BMBF (Федеральное министерство образования и науки) [146].

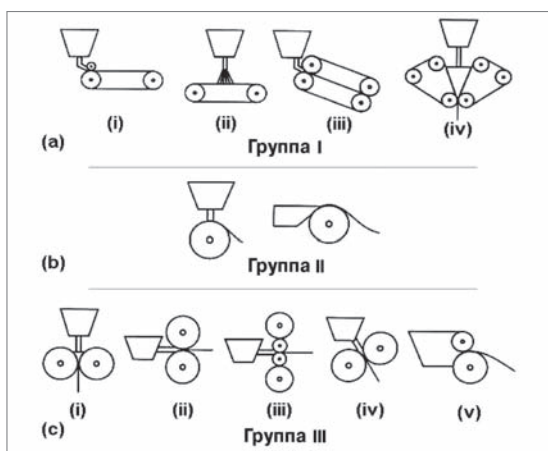


Рисунок 7.26: Возможная схема классификации для процессов непрерывного литья полосы [142]

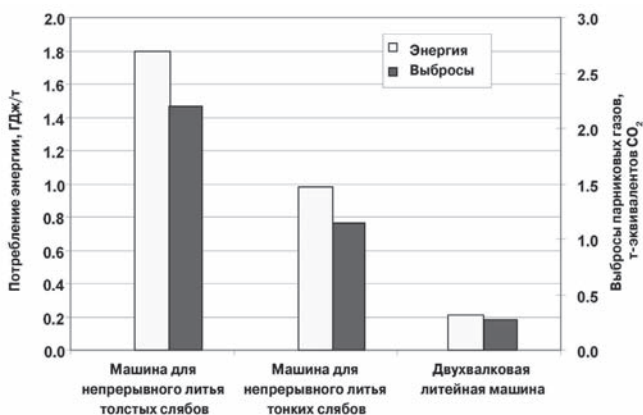


Рисунок 7.27: Соотношение между потреблением первичной энергии и выбросами CO₂ (сравнение установок промышленного масштаба) для различных технологий разливки [141]

Взаимодействия между средами

Не сообщалось о взаимодействиях между средами.

Эксплуатационные данные

Данные об уровнях потребления не имеются.

Применимость

Технология разливки полосы применимы как для новых, так и для существующих заводов. Требуется относительно небольшая площадь (приблизительно 100 м длины) для возможности интеграции машины для непрерывного литья полосы при модернизации.

Процесс разливки может применяться как к конвертерным цехам, так и к электродуговым цехам. Дополнительные металлургические технологии относятся к сортам стали, но не для процесса разливки полосы.

Применимость зависит также и от производимых сортов стали (например: нельзя производить толстый лист при этом процессе) и к ассортименту продукции отдельного металлургического завода.

Экономика

Имеется три важные экономических стимулы для установления технологии разливки полосы: капитальные затраты, экономия энергии и требуемая площадь. Кроме того, технология полезна для широкого диапазона сортов стали и производительности одной линии разливочной машин в 1,5 млн. т/год.

Мотивация для внедрения

Движущие силы для внедрения этой технологии являются многогранными:

- материальные соображения: машины непрерывного горизонтального литья позволяют предотвратить воздействие вследствие изгиба и выпрямления заготовки. В частности, преимуществом является производство сортов с важнейшими свойствами пластичности при высокой температуре с помощью применения этой технологии. Можно производить высоколегированные сорта стали (особенно с высоким содержанием алюминия), поскольку нет взаимодействия с литейным порошком
- экономические и экологические соображения: основными экономическими причинами является отсутствие подогрева полосы и уменьшение горячей прокатки. Это приводит к снижению выбросов.

Пример установок

Установка для непрерывного литья полос (двухвалковая литейная машина) эксплуатируется на заводе компании ThyssenKrupp в г. Бохум, Германия (400000 т/год); компания Nucor Crawfordsville, Индиана, США (400000 т/год) и компания Nippon Steel, Япония. Проводятся проекты компаниями Nucor Castrip в штате Арканзас, США (500000 т/год) и компании POSCO, Корея (600000 т/год) [149].

Запланирован на 2010 г. пуск машины непрерывного горизонтального литья с производительностью 500000 т/год.

Справочная литература: [141], [142], [146], [149].

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭКОЛОГИИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**СПРАВОЧНИК
НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
В ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ**

Некоммерческое партнерство
«ЦЕНТР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕРТИФИКАЦИИ –
ЗЕЛЕННЫЕ СТАНДАРТЫ»

Москва, 2013

Издатель
ООО «Деловые Медиа»

Содержание

8. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧАХ И РАЗЛИВКА	6
8.1 Применяемые процессы и технологии	6
8.1.1 Транспортировка и хранение сырьевых материалов	6
8.1.2 Предварительный нагрев лома.....	8
8.1.3 Загрузка.....	9
8.1.4 Плавление и рафинирование в электродуговой печи	10
8.1.5 Выпуск стали и шлака	11
8.1.6 Внепечная обработка стали	11
8.1.7 Транспортирование и переработка шлака	13
8.1.8 Разливка	13
8.2 Нынешние уровни потребления и выбросов.....	14
8.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления и производства	14
8.2.2 Экологические проблемы для процесса производства в электродуговых печах	17
8.2.2.1 Выбросы в воздух	17
8.2.2.2 Сточные воды	28
8.2.2.3 Остатки производства, такие как отходы и побочные продукты.....	29
8.2.2.4 Потребление энергии	34
8.2.2.5 Шумовые выбросы	35
8.2.2.6 Загрязнение почвы	35
8.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ	35
8.3.1 Оптимизация выплавки стали в EAF	37
8.3.2 Предварительный подогрев лома.....	40
8.3.3 Снижение выбросов пыли от переработки шлака.....	46
8.3.4 Современные системы отвода пыли.....	47
8.3.5 Современные технологии очистки первичных и вторичных выбросов в воздух от электродуговых печей	49
8.3.5.1 Снижение запыленности с помощью рукавного фильтра и электростатических пылеуловителей.....	49
8.3.5.2 Снижение выбросов PCDD/F с помощью дожигания и закалки в сочетании с рукавным фильтром.....	53
8.3.5.3 Снижение выбросов PCDD/F с помощью адсорбирующих материалов в сочетании с рукавным фильтром	57
8.3.6 Очистка сточных вод от непрерывной разливки.....	60
8.3.7 Система водоохлаждения с замкнутым контуром	62
8.3.8 Переработка пыли EAF для утилизации тяжелых металлов	62
8.3.9 Переработка шлака EAF.....	63

8.3.10 Переработка шлаков от выплавки высоколегированной и нержавеющей стали.....	66
8.3.11 Непрерывное литье полосы с формой, близкой к заданной.....	67
8.3.12 Технологии для предотвращения шумового загрязнения.....	67

9. ОБЛАСТЬ ДЕЙСТВИЯ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ ПО НДТ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ 69

9.1 Общие заключения по НДТ	69
9.1.1 Система управления окружающей средой (экологического менеджмента).....	69
9.1.2 Управление энергией.....	72
9.1.3 Управление материалами	74
9.1.4 Управление остатками производства, такими как побочные продукты и отходы.....	76
9.1.5 Рассеянные выбросы пыли от хранения, обращения и транспортирования сырья и промежуточных продуктов	76
9.1.6 Управление водой и сточными водами.....	80
9.1.7 Мониторинг	80
9.1.8 Вывод из эксплуатации.....	83
9.1.9 Шум	83
9.2 Заключения по БАТ для агломерационных установок	83
9.3 Заключения по БАТ для установок для получения окатышей.....	90
9.4 Заключения по НДТ для коксогазовых заводов	93
9.5 Заключения по БАТ для доменных печей	99
9.6 Заключения по НДТ для кислородных конвертеров и разливки	103
9.7 Заключения по НДТ для электродуговых печей и разливки	107

10. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧЦГУНА 111

10.1 Прямое восстановление (DRI).....	111
10.2 Восстановительная плавка (SR).....	115
10.2.1 Процесс Corex и Finex.....	115
10.2.2 Процессы в стадии разработки	119
10.3 Сравнение обычной технологии плавки в доменной печи с прямым восстановлением и восстановительной плавкой	123

11. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 126

11.1 Стратегии снижения выбросов диоксида углерода (проект ULCOS)	126

11.1.1 Доменная печь с рециклингом колошникового газа	126
11.1.2 Улавливание и хранение CO ₂	130
11.1.3 Керамические фильтры для снижения выбросов твердых частиц и оксидов азота в газовых потоках	133
11.1.4 Сжигание и рециклинг сухой уловленной пыли	134
11.2 Новые технологии для агломерационных установок	135
11.2.1 Использование плستиков, пропитанных углем, для адсорбции PCDD/F	135
11.2.2 Подавление образования PCDD/F с помощью добавки соединений азота к дымовым газам	136
11.2.3 Закалка	138
11.3 Новые технологии для коксовых печей	138
11.3.1 Коксовая печь повышенного качества	138
11.3.2 Способ контроля давления в одной печи	139
11.3.3 Альтернативы использования коксового газа	142
11.4 Новые технологии для доменных печей	142
11.4.1 Снижение выбросов CO от воздухонагревателей с камерой внутреннего сгорания	142
11.4.2 Утилизация тепла шлака	143
11.4.3 Вдувание отходов в доменную печь	143
11.5 Новые технологии для кислородных конвертеров и разливки	143
11.5.1 Повышение стабильности конвертерного шлака для длительного применения	143
11.5.2 Повышение степени очистки отходящих газов в кислородных конвертерах с помощью модернизации гибридных фильтр-циклонов	144
11.5.3 Зонт с вихревым отсосом для вторичного обеспыливания	145
11.5.4 Рециклинг шлака в сталеразливочных ковшах кислородного конвертера и электродуговой печи в качестве флюса в электросталеплавильном производстве	146
11.6 Новые технологии для электродуговых печей	147
11.6.1 Непрерывная плавка губчатого железа в электродуговой печи	147
11.6.2 Рукавный фильтр с интерметаллическим соединением для минимизации выбросов пыли, PCDD/F и тяжелых металлов	149
11.6.3 Утилизация старых шин в EAF	149
11.6.4 Рециклинг шлаков (конвертерного и электродугового) в качестве флюса в электросталеплавильном производстве	149
12. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ БУДУЩИХ РАБОТ	150
Список использованных источников	156

8. ПРОИЗВОДСТВО СТАЛИ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧАХ И РАЗЛИВКА

8.1 Применяемые процессы и технологии

8.1.1 Транспортировка и хранение сырьевых материалов

Непосредственная плавка материалов, в которых содержится железо, таких как металлолом, обычно проводится в электродуговых печах (ЕАФ), которые играют все более важную роль в современных методологиях металлургического производства (см. рис. 8.1). В настоящее время доля электродуговой стали в общем производстве стали в странах ЕС-27 составляет 41,8% [286]. При доле 61% в Италии и 77% в Испании производство электродуговой стали значительно выше, чем в кислородных конвертерах (без учета государств-членов, в которых сталь производится исключительно в электродуговых печах).



Рисунок 8.1: Электродуговая печь [200]

Основным сырьем для ЕАФ является лом черных металлов, в котором может содержаться лом самих металлургических заводов, отходы производителей изделий из стали (например, производители транспортных средств) и тяжеловесный лом или потребительский лом (например, изделия, отслужившие свой срок). Железо прямого восстановления (DRI) также все чаще используется как сырье вследствие низкого содержания в нем пустой породы, изменяющихся цен на лом и пониженного содержания нежелательных металлов (например, меди). Ферросплавы можно использовать в качестве дополнительного сырья в больших или меньших количествах для корректировки желаемых концентраций цветных металлов в готовой стали.

Электродуговая печь обычно загружается ломом с помощью металлических корзин (мульд), нависающих над открытой камерой, как можно видеть на рис. 8.2.

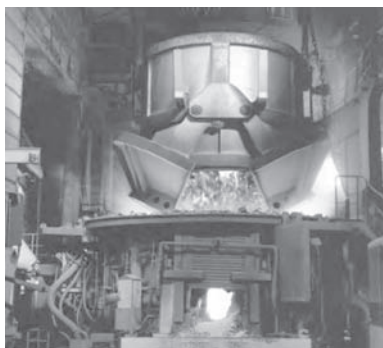


Рисунок 8.2: Загрузка электродуговой печи [200], [260]

Как и в кислородном конвертере, шлак образуется из извести, собирая нежелательные компоненты в стали [260], [373]. В электродуговой печи шлак образуется при выплавке углеродистой стали, когда происходит плавление стального лома при добавке известняка и (или) доломита в качестве флюса при температуре около 1600°C . Производство высоколегированной стали связано с протеканием различных процессов, в течение которых образуется несколько видов шлаков в качестве побочных продуктов [177].

Общее представление о процессе выплавки стали в электродуговой печи можно увидеть на рис. 8.3.

Для высоколегированных специальных сталей последовательность операций является более сложной, и происходит корректировка с учетом требований для конечного продукта. Процесс делится на две стадии: плавление в электродуговой печи и обезуглероживание в процессе AOD (аргоно-кислородное обезуглероживание) или VOD (вакуум-кислородное обезуглероживание).

После обезуглероживания проводятся различные виды обработки в ковше (внепечная обработка стали), такой как:

- десульфуризация;
- дегазация для удаления растворенных газов типа азота и водорода.

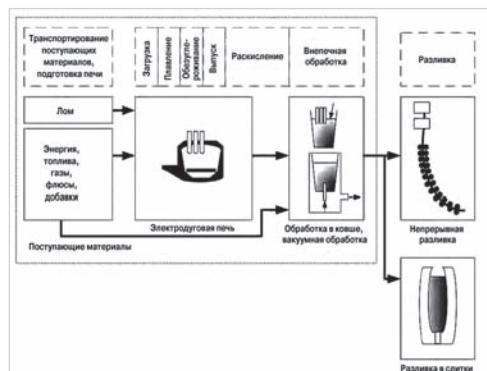


Рисунок 8.3: Представление о процессах, связанных с выплавкой стали в электродуговых печах [16]

Металлолом обычно хранится за пределами предприятия на крупных площадках, не покрытых и часто не мощеных. Лом черных металлов загружается в корзины с помощью магнитов или грейферных ковшей. Покупка лома происходит на основе специальных международных технических условий, которые минимизируют содержание неметаллических включений. При транспортировке минимизируются любые инородные немагнитные материалы типа камней, древесины и цветных металлов, которые не должны поступать в процесс. Некоторые типы и качество лома в течение операций хранения металла и его транспортирования могут привести к отложению остаточных материалов на земле, а также отложению тяжелых металлов и углеводородов.

В зависимости от типов и качества перерабатываемого лома, операции транспортирования также могут привести к неорганическим (пыль) и органическим выбросам при определенных погодных условиях. Некоторые типы лома также могут стать причиной шумовых выбросов при транспортировании [220].

В некоторых случаях проводится сортировка лома для снижения риска включения опасных загрязняющих веществ. Лом, образующийся на предприятии, можно разрезать на управляемые размеры с использованием резки кислородным копьем. Лом можно загружать в мулды на скрапном дворе или транспортировать во временное отделение лома внутри электросталеплавильного цеха. В некоторых случаях лом подогревают в шахте или на конвейере (см. подогрев лома). В некоторых случаях могут быть проблемы с радиоактивным ломом. Следует обратиться к п. 2.3.1 [260].

Другие сырьевые материалы, включая флюсы в кусках или порошке, известь-пушонку и углерод, легирующие добавки, раскислители и огнеупоры обычно хранятся под покрытием. После поставки транспортирование минимизируется, и по необходимости, может использоваться оборудование для пылеулавливания. Порошкообразные материалы могут храниться в герметичном бункере (известь должна храниться в сухом виде) и перемещаться с помощью пневмотранспорта или храниться в заваренных мешках.

8.1.2 Предварительный нагрев лома

За последние несколько лет все большее число новых и существующих электродуговых печей оснащается системой предварительного нагрева лома с помощью отходящих газов для утилизации энергии. Подогрев лома успешно использовался более 40 лет в странах с высокой ценой на электроэнергию, таких как Япония. Такой подогрев лома выполняется либо в загрузочных корзинах, либо в загрузочной шахте (шахтной печи), добавленной к дуговой печи, или в специально спроектированной системе транспортирования шлака, позволяющей делать непрерывную загрузку в течение процесса плавления (например, процесс CONSTELL и ESC – система испарительного охлаждения). В некоторых случаях в процессе подо-

грева добавляется даже дополнительная энергия в виде дополнительного ископаемого топлива [373].

Шахтная технология разрабатывалась последовательно. В 1988 г. немецкая компания Fuchs System Technik GmbH (в настоящее время SIMETAL) начала разработку для преодоления недостатков подогревателей скраповой корзины и предпочла непосредственную загрузку лома в шахту, которая была расположена на своде электродуговой печи. С использованием одной шахтной печи можно подогреть, по крайней мере, 50 % лома [125].

Дополнительные изменения заключались в изготовлении шахтной печи с двойными стенками в двух экземплярах, которые размещались рядом друг с другом и обслуживались одним комплектом электрододержателя. Лом частично нагревался с помощью отходящих газов и частично с помощью горелок, установленных в боковой стенке.

Очень эффективной конструкцией шахтной печи является шахтная печь с удерживающими пальцами. В конструкции шахтной печи используется уникальная система удерживания лома пальцами, которая позволяет осуществлять подогрев 100% лома [162]. Первая корзина подогревается в течение рафинирования предыдущей плавки, а вторая в течение расплавления первой плавки. В 1994 г. первая шахтная печь с удерживающими пальцами была пущена в эксплуатацию компанией Hylsa в г. Монтерей, штат Нуэво Леон, Мексика. С помощью использования отходящих газов печи в течение цикла нагрева лом можно подогревать до температуры приблизительно 800оС перед заключительной плавкой в камере дуговой печи. Это означает значительную экономию энергии и затрат, при существенном снижении времени от плавки к плавке.

Недавняя разработка процесса подогрева лома заключается в технологии COSS, которая объединяет выгоды систем шахтных печей с подогревом лома до высокой температуры с выгодами процесса CONSTELL, состоящими в непрерывной подаче лома [364].

8.1.3 Загрузка

Лом обычно загружается в корзинах вместе с известью или доломитовой известью, которая используется в качестве флюса для образования шлака. Загружаются также углеродсодержащие материалы, необходимые для осуществления металлургических функций в печи. На некоторых печах загружается также кусковой уголь для корректирования содержания углерода. Хотя это не было подтверждено до настоящего времени измерениями выбросов, такой режим может привести к существенным выбросам бензола (а также толуола и ксилола). Электроды в печи поднимаются в верхнюю позицию, затем отводится свод для загрузки. Обычно садка состоит из 50-60% начального лома с первой корзиной; затем свод закрывается, а электроды опускаются до лома. На расстоянии 200 – 300 мм от лома происходит розжиг электрической дуги. После расплавления первой садки добавляется остав-

шаяся часть лома из второй или третьей корзины [260], [273], [373]. Количество лома, загружаемого в электродуговую печь, прямо пропорционально размеру печи. Например, в электродуговую печь с диаметром 6,7 м загружается около 60 т лома [260], [273].

Серийно производимая система известна как шахтная печь, которая позволяет часть лома загружать в вертикальную шахту, интегрированную с печным сводом, и, таким образом, предотвращается открытие свода печи наполовину в течение процесса плавления. Лом, находящийся в шахте, нагревается с помощью горячих газов из печи [373].

Еще одной системой загрузки, которая была принята некоторыми операторами, это процесс CONSTEEL, когда лом непрерывно подается с помощью горизонтальной конвейерной системы в дуговую печь. Это также дает возможность подогревать лом отходящими газами печи, которые движутся противоточно.

8.1.4 Плавление и рафинирование в электродуговой печи

В течение начального периода плавления поддерживается низкий уровень поставляемой мощности для предотвращения повреждения стенок печи и свода от излучения, и в то же самое время электроды могут добраться до лома. Как только дуга экранируется окружающим ломом, можно повысить подаваемую мощность до завершения расплавления. Все больше и больше используются кислородные фурмы и (или) кислородо-топливные горелки для оказания помощи на ранних стадиях плавления. Топлива включают природный газ и мазут. Кроме того, можно подать кислород в жидкую сталь с помощью специальных сопел в поду или боковой стенке EAF.

Кислород в электродуговом производстве стали все больше применяется в последние 30 лет, и не только по металлургическим причинам, но также и в связи с требованиями роста производительности. Цель использования кислорода многообразная:

- совместное кислородное дутье и вдувание гранулированного угля позволяет получить пенистый шлак, благодаря образованию пузырьков CO. Технология “пенистого шлака”, которая в настоящее время широко используется при выплавке углеродистых сталей, так как она улучшает экранирование стен печи от излучения от дуги и позволяет повысить передачу энергии от дуги в ванну расплавленной стали [260]
- по металлургическим причинам кислород используется для обезуглероживания расплава и удаления других нежелательных элементов, таких как фосфор и кремний
- кислород также вдувается в верхнюю часть печи для “дожигания”, чтобы он прореагировал с CO и углеводородами перед тем, как газы покинут печь с целью удержания как можно большего количества тепла, образуяся при прохождении экзотермических реакций в печи [373].

Вдувание кислорода приводит к росту образования газов и дыма в печи, CO и CO₂, чрезвычайно мелких частиц оксидов железа и других продуктов. В случае дожигания содержание CO становится ниже 0,5% об. [373].

Аргон или другие инертные газы могут вдуваться в расплав для обеспечения перемешивания и выравнивания температуры. С помощью этой технологии улучшается также равновесие в системе шлак – металл.

Дым и газы, образующиеся в течение операции плавления, перерабатываются на установке для очистки дымовых газов, которая включает устройства для отвода и очистки с целью снижения выбросов загрязняющих веществ.

8.1.5 Выпуск стали и шлака

Может потребоваться удаление шлака в течение нагрева и окисления в конце нагрева, перед выпуском. Печь наклоняется назад к шлаковому окну, и шлак сливается или собирается в ковш или на площадку ниже печи, в результате чего образуются пыль и дым. Для специальных сталей, главным образом легированной стали, по металлургическим причинам шлак выпускается с жидкой сталью в ковш. Большая часть шлака отделяется от стали на площадке для скачивания шлака в шлаковый ковш. Дым, образующийся при этом, должен улавливаться с помощью системы вытяжки.

8.1.6 Внепечная обработка стали

Углеродистая сталь

Внепечная обработка стали проводится для расплавленной стали после выпуска ее из сталеплавильной печи в месте разлива. Она обычно проводится на площадках для обработки в ковше, в то время как расплавленная сталь остается в ковше. Эти площадки для обработки обычно состоят из установки с дуговым нагревом (печь-ковш), которая дает возможность корректировать конечную температуру жидкой стали для операции разлива. Обработка включает в себя добавку раскислителей и легирующих элементов для корректировки химического состава готовой стали. В некоторых случаях используются установки для вакуумной обработки с целью достижения специальных требований, относящихся к концентрации таких элементов, как водород, азот и кислород в готовой стали. Для достижения хорошего усреднения в ковш вдуваются инертные газы (аргон или азот) для цели перемешивания. Некоторые площадки для небольшой обработки основаны на оборудовании для вдувания инертного газа или порошка. На рис. 8.4 показана блок-схема с множеством возможных видов внепечной обработки стали. В зависимости от типа производимой стали, применяется одна или несколько видов такой обработки. Некоторые из этих видов обработки применяются для стали, находящейся в ковше; для других видов требуется отдельный сосуд для обработки. Некоторые виды обработки проводятся под вакуумом, другие при использовании инертного газа [373].

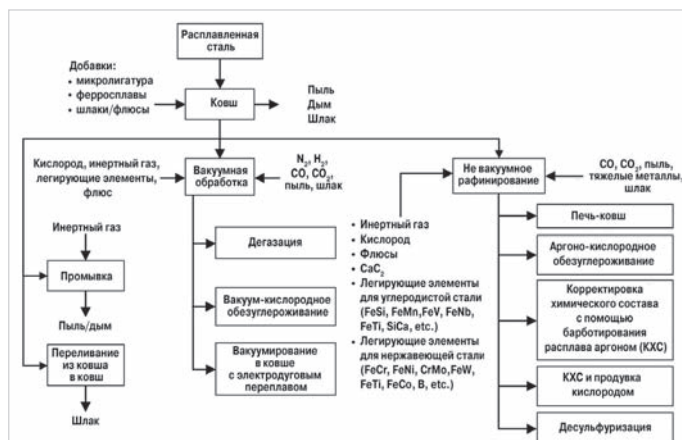


Рисунок 8.4: Блок-схема возможных видов внепечной обработки стали в ковше для различных сортов стали (углеродистой, нержавеющей или высоколегированной) [147]

В случае производства сталей, содержащих свинец, отходящие газы, которые содержат свинец, должны подвергаться специальной очистке (см. информацию о внепечной обработке стали в кислородно-конвертерном производстве в п. 7.3.2.3).

Нержавеющая сталь

Внепечная обработка нержавеющих сталей должна выполняться под вакуумом в ковше (процесс VOD – вакуум-кислородное обезуглероживание) или в отдельном металлургическом агрегате, называемом AOD-конвертером (аргоно-кислородное обезуглероживание) с последующей обработке в ковше. В зависимости от сорта стали, который должен производиться, некоторые операторы применяют сочетание AOD и VOD [373].

Графическое представление цеха выплавки нержавеющей стали с AOD-конвертером приведено на рис. 8.5.

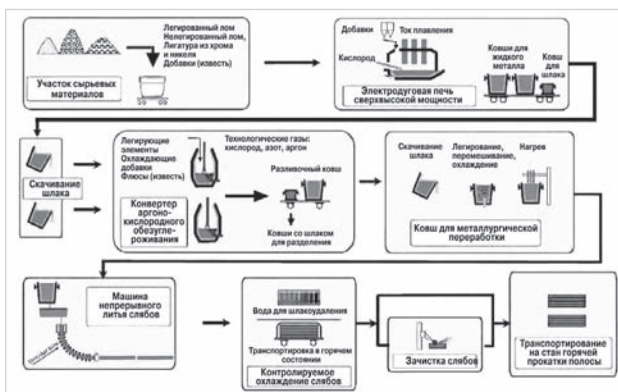


Рисунок 8.5: Поток материалов в цехе выплавки нержавеющей стали с конвертером аргано-кислородного обезуглероживания [369], [373]

Легированная сталь

Внепечная металлургия легированных сталей, которые содержат (помимо углерода) существенные количества легирующих элементов, но не классифицируются как нержавеющие стали, включает обычно печь-ковш и, при необходимости, вакуумную обработку, в зависимости от сорта производимой стали.

В течение большинства процессов внепечной металлургии шлаки используются для улавливания неметаллических соединений, образующихся при обработке [373].

8.1.7 Транспортирование и переработка шлака

Если шлак собирается в шлаковый ковш после EAF (или после установок для внепечной металлургии типа AOD или VOD), он должен быть разлит в наружные бассейны для шлака для затвердевания. Охлаждение шлака можно повысить с помощью орошения водой. Некоторые участки работают с переработкой шлака в течение жидкой фазы для повышения качества конечного шлака и стабильности его размеров, с помощью добавки кремнезема, глинозема, бора (бората кальция или бората натрия) и проверки длительности охлаждения. На некоторых установках шлаки из различных процессов смешиваются в жидкой фазе, для того чтобы они были более пригодны для дальнейшей переработки.

Если шлак разливается на пол, его предварительно дробят после отвердевания с использованием экскаваторов или ковшовых погрузчиков и перемещают на внешнюю площадку хранения.

После определенного периода времени шлак перерабатывается в устройствах для дробления и просеивания, для того чтобы он получил желаемую консистенцию. В течение этой операции любые металлические частицы, содержащиеся в шлаке, отделяются с помощью магнитов, вручную или с использованием выемки, дробления и просеивания для рециклинга в процессе производства стали. Утилизируемые из шлака металлы особенно чувствительны для металлов с высокой коммерческой ценностью. При дроблении шлака и утилизации металлов могут происходить выбросы пыли [373].

Иногда используется вода для охлаждения шлака в течение выпуска слова, что улучшает его микроструктуру, достигаются лучшие механические свойства. Этот черный шлак перерабатывается для получения материалов для дорожного строительства, в то время как белый шлак можно использовать, например, в качестве известкового удобрения [260], [273].

8.1.8 Разливка

В целях контролируемого отвердевания электродуговой стали в основном применяются те же самые технологии, что и для конвертерной стали. Применяется описание в п. 7.1.5.

В то время как общая тенденция состоит в вытеснении разливки в слитки непрерывной разливкой, разливка в слитки будет продолжать применяться для некоторых специальных сталей, производимых в электродуговых печах.

8.2 Нынешние уровни потребления и выбросов

8.2.1 Обзор массовых потоков и данных потребления и производства

На рис. 8.6 представлен обзор входов и выходов для электродуговых печей. Этот обзор можно использовать для сбора данных от электродуговой печи.

Были определены удельные показатели для потоков материалов, а также удельные показатели выбросов для электродуговых печей. Эти показатели представлены в табл. 8.1. Данные получены из различных источников, упомянутых в сносках.

Вне всяких сомнений, основным источником железа для электродуговых печей является лом. Жидкий чугун и железо прямого восстановления используются довольно небольшим количеством операторов, обычно достаточно случайно. Таким образом, трудно указать репрезентативные диапазоны. Жидкий чугун и железо прямого восстановления могут использоваться для корректировки состава для некоторых сортов стали. В некоторых случаях поступление железа прямого восстановления или жидкого чугуна может быть также связано с экономическими причинами. Брикетированное железо (НВІ) по существу является горячо брикетированным железом прямого восстановления. Оно лучше годится для обращения и транспортирования и меньше подвергается атмосферному окислению.

14

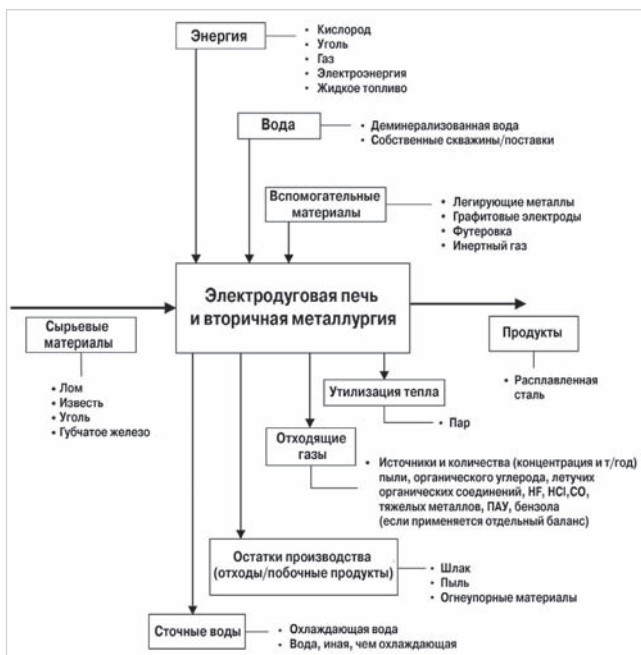


Рисунок 8.6: Общее представление о массовых потоках в электродуговых печах [200]

ТАБЛИЦА 8.1: ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ В ЕС [140], [200], [220], [234], [367], [371], [372]

Вход			Выход		
Сырьевые материалы			Продукты		
Вход металла			Жидкая сталь	кг	1000
Лом	кг/т жидкой стали	1039 - 1232			
Чугун в чушках	кг/т жидкой стали	0 - 153	Выбросы в воздух		
Жидкий чугун(1)	кг/т жидкой стали		Расход отходящих газов	млн. нм3/ч	1 - 2
DRI (HBI)	кг/т жидкой стали	0 - 215		нм3/т жидкой стали	800 – 10000
Известь/доломит(2)	кг/т жидкой стали	25 - 140	Пыль	г/т жидкой стали	4 – 300
Уголь (включая антрацит и уголь)	кг/т жидкой стали	3 - 28		мг/м3	0,35 - 52
Графитовые электроды	кг/т жидкой стали	2 - 6	Hg	мг/т жидкой стали	2 – 200
Огнеупорная футеровка	кг/т жидкой стали	4 - 60	Pb	мг/т жидкой стали	75 – 2850
Лигатура Углеродистая сталь Высоколегированная и нержавеющая сталь	кг/т жидкой стали кг/т жидкой стали	11 – 40 23 - 363	Cr	мг/т жидкой стали	12 – 2800
			Ni	мг/т жидкой стали	3 – 200
Газы			Zn	мг/т жидкой стали	200 – 24000
Кислород	м3/т жидкой стали	5 – 65	Cd	мг/т жидкой стали	1 – 148
Аргон	м3/т жидкой стали	0,3 – 1,45	Cu	мг/т жидкой стали	11 - 510
Азот	м3/т жидкой стали	0,8 - 12	HF	мг/т жидкой стали	0,04 - 15000
Пар (3)	кг/т жидкой стали	33 - 360	HCl	мг/т жидкой стали	5800 – 35250
			SO2	г/т жидкой стали	13 – 460
Энергия			NOx	г/т жидкой стали	13 – 460
Электроэнергия	кВт-ч/т жидкой стали МДж/т жидкой стали	404 – 748 1454 - 2693	CO	г/т жидкой стали	50 – 4500
Топлива (природный газ и жидкие топлива)	МДж/т жидкой стали	50 - 1500	CO2	кг/т жидкой стали	72 – 180
			TOC	г/т жидкой стали	35 – 260

Вход			Выход		
Вода	м3/т жидкой стали	1 – 42,8	Бензол	мг/т жидкой стали	30 – 4400
			Хлорбензолы	мг/т жидкой стали	0,2 – 12
			РАН(4)	мг/т жидкой стали	9 – 970
			PCB(5)	мг/т жидкой стали	0,01 – 5
			PCDD/F	мкг I-TEQ/т жидкой стали	0,04 – 6
			Остатки производства (отходы/побочные продукты)		
			Шлак от печи	кг/т жидкой стали	60 – 270
			Шлак от ковша	кг/т жидкой стали	10 – 80
			Пыль	кг/т жидкой стали	16 – 22,8
			Отходы огнеупоров	кг/т жидкой стали	
			Шум	дБ(А)	90 – 133

(1) Жидкий чугун используется только в специальных случаях (около 275 кг/т жидкой стали), когда качество лома ниже

(2) Обычно используется известь, но в небольшом количестве случаев используется один доломит или доломит вместе с известью (например, в весовом соотношении 63/37)

(3) Пар обычно не используется при выплавке стали в электродуговых печах, за исключением установок вторичной металлургии с вакуумной обработкой

(4) Нет согласованной базы данных, некоторые результаты представляют итог 16 EPA РАН, другие – только часть

(5) Нет согласованной базы данных: значения относятся к различным PCB

Примечания: - некоторые методологии измерений могут значительно изменяться от страны к стране и от завода к заводу. Не все выбрасываемые вещества измеряются на всех заводах. Программы измерений изменяются в значительной степени, в зависимости от требований в разрешениях

- данные собраны из информации, представленной операторами сталеплавильных цехов (углеродистая сталь, легированная сталь, нержавеющая сталь), которая представляют 374 млн. т произведенной стали. Это близко к 50% от общего количества стали, произведенной в 11 странах ЕС в 2004 г.

Удельные выбросы, указанные в табл. 8.1, являются результатом обследования. Широкий диапазон, наблюдаемый для некоторых удельных выбросов, может иметь следующее происхождение:

- различия в характеристиках природоохранного оборудования;
- различия в предельных значениях выбросов, предписанных национальными или местными органами власти;
- различия в качестве измерений – частоте, точности, отборе проб, лабораторных методологиях и т.д.;
- различия в поступающих материалах;
- различия в характеристиках печей;
- тип производимой стали (выбросы металлов);
- производительность печи [220], [373].

8.2.2 Экологические проблемы для процесса производства в электродуговых печах

8.2.2.1 Выбросы в воздух

Процесс выплавки стали в электродуговых печах является источником главным образом выбросов пыли и твердых отходов/побочных продуктов. Потребление энергии также играет важную роль в выплавке стали в электродуговых печах. Когда технологии очистки применяются для снижения выбросов, происходят взаимодействия между средами. В основном, в ниже представляемых п.п. 8.2.2.1 – 8.2.2.6 описано большинство самых важных экологических проблем в процессе выплавки стали в дуговых печах.

Улавливание первичных выбросов

Первичные отходящие газы представляют приблизительно 95% общих выбросов от электродуговых печей [22]. На большей части дуговых печей отбираются первичные выбросы из четвертого отверстия с патрубком для газоотсоса (в случае трех электродов – печи на переменном токе (см. рис. 8.7) или из второго отверстия с патрубком для газоотсоса (в случае одного электрода – печи на постоянном токе). Таким образом, 85-90% всех выбросов в течение полного цикла от плавки к плавке можно отводить [22]. Все еще имеется небольшое количество печей, в которых нет четвертого отверстия, но имеется шумопылезащитный кожух; полное закрытие печи с адекватным отводом газа [373].

Улавливание вторичных выбросов

Отходящие газы, которые образуются при разделке лома, загрузке и выпуске плавки, а также при выбросах из печных отверстий типа дыма (т.е. отверстий, в которых установлены электроды, и окон), улавливаются с помощью вытяжного зонта, обычно размещаемого выше печи. В них могут содержаться все загрязняющие вещества, описанные в разделе первичных выбросов.

Самые современные печи часто устанавливаются в зданиях с закрытыми верхними частями и мощной системой отсоса в районе крыши. В зависимости от размеров здания и мощности печи расход газов в систем отсоса может превышать 1 млн. м³/ч [373].

Применяются следующие конфигурации для улавливания:

- электродуговые печи с улавливанием первичных отходящих газов от печи (2-е и 4-е отверстие) и вытяжной зонт для улавливания вторичных отходящих газов, установленный в здании с открытой секцией крыши
- электродуговые печи с улавливанием первичных отходящих газов от печи (2-е и 4-е отверстие) и шумопылезащитным кожухом, улавливающим весь дым из печи, с отводом в одну систему вытяжки, установленную в здании с открытыми секции крыши.
- электродуговые печи с улавливанием первичных отходящих газов от печи (2-е и 4-е отверстие), установленные в здании с полностью закрытой крышей, со сбором потока вторичных отходящих газов
- в некоторых случаях улавливание происходит только из одного отверстия (2-го или 4-го).

На рис. 8.7 показано три основных типа систем улавливания отходящих газов для печей на переменном токе с 4-м отверстием для отсоса.

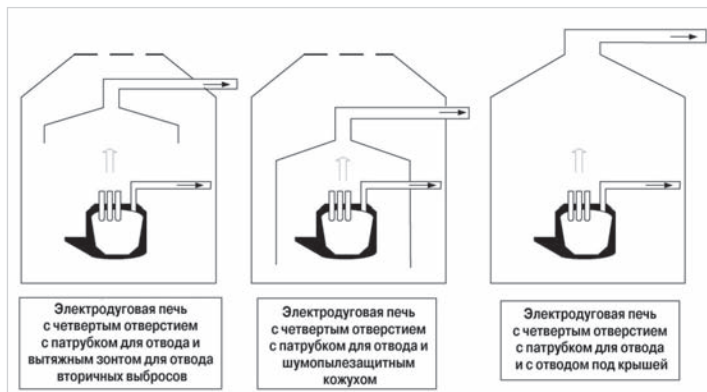


Рисунок 8.7: Системы улавливания на дуговых печах [140], [373]

Шумопылезащитный кожух может иметь различные конструктивные варианты. Имеется большое количество таких кожухов, когда шихтовый кран входит (или почти входит) в верхнюю часть кожуха, которая закрыта в течение загрузки и кожух работает как зонтик. Другой тип шумопылезащитного кожуха небольшого размера, и он полностью открыт в течение загрузки. В этом случае необходим дополнительный зонтик для улавливания шлейфов дыма при загрузке.

Если внепечная металлургия (внепечная обработка стали) проводится в том же здании, где находится электродуговая печь, выбросы можно также улавливать с помощью вытяжного зонтика и отвода под крышей [373].

В табл. 8.2 оценена качественная эффективность улавливания выбросов от основных операций при выплавке стали в электродуговых печах.

ТАБЛИЦА 8.2: СИСТЕМЫ УЛАВЛИВАНИЯ ВЫБРОСОВ ИЗ EAF [22], [373]

Источники выбросов	Загрузка	Плавнение (в EAF)	Выпуск плавки	Внепечная металлургия(1)	Непрерывная разливка(1)
4-е отверстие	Нет	Да	Нет	Да, если оснащена	NA
Вытяжной зонтик	Да, частично	Да	Да, частично	Да, если оснащена	Да, если оснащена
Шумопылезащитный кожух	Только, если закрыт(2)	Да	Да	Да, если оснащена	NA
Общее удаление из здания	Да	Да	Да	Да	Да

(1) Если находится в том же здании

(2) Обычно шумопылезащитный кожух не закрывается в течение загрузки, так как это мешает доступу к EAF

NA = данных нет

На рис. 8.8 показаны процентные значения систем улавливания отходящих газов для выборки из 51 EAF в странах ЕС. Улавливание из 4-го отверстия первичных выбросов у свода печи почти полностью распространено. На значительном количестве печей имеются либо вытяжные зонты, либо здание является полностью защитным. Некоторые печи все еще работают только с улавливанием из 4-го отверстия.

За исключением загрязняющих веществ в микроколичествах, типа хлорорганических соединений, в особенности PCDD/F, загрязнение от вторичных отходящих газов (в основном утечки из EAF) вносит вклад в общие выбросы. Для минимизации общих выбросов PCDD/F необходимо учитывать также и вторичные выбросы, что подчеркивает необходимость полного удаления выбросов из здания.

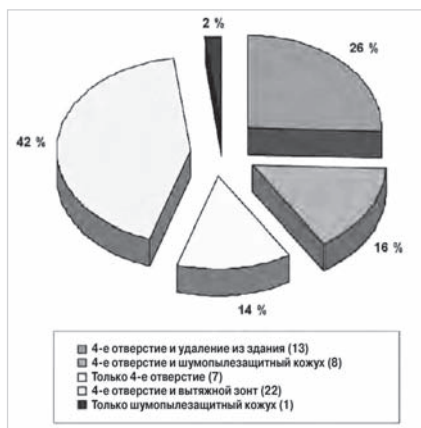


Рисунок 8.8: Процентные доли существующих систем обеспыливания для 51 EAF в ЕС [140]

Первичные и вторичные выбросы и очистка

В отходящих газах первичных и вторичных выбросов с электродуговых печей содержатся пыль, металлы, оксиды азота и серы и органические вещества (например, летучие органические соединения, PCB, PAH, PCDD/F). Выбросы органических веществ зависят главным образом от качества лома. В некоторых видах лома имеются краски, масла и другие органические вещества [367].

Информация о вторичных выбросах ограниченная. При загрузке EAF обычно происходят выбросы 0,3 – 1 кг пыли/т жидкой стали, а при выпуске плавки обычно 0,2 – 0,3 кг пыли/т жидкой стали (выбросы до очистки) [22]. Что касается утечек дыма, то в течение работы EAF сообщают об удельных выбросах пыли от 0,5 до 2 кг пыли/т жидкой стали [30].

Удельные выбросы как сумма из трех упомянутых источников (загрузка, выпуск плавки, утечки дыма) варьируются от 1,4 до 3 кг пыли/т жидкой стали перед очисткой [30]. Это можно считать подтверждением того, что первичные выбросы примерно в десять раз выше, чем вторичные выбросы.

Обычно очистка различных потоков отходящих газов (т.е. первичных и вторичных выбросов) осуществляется в одном и том же устройстве, в основном в рукавных фильтрах [373]. Только в нескольких случаях имеются электрофильтры и применяются мокрые скрубберы.

В табл. 8.3 приведены примеры достигаемых концентраций выбросов в воздух от процесса в EAF после очистки с применением рукавных фильтров или электрофильтров.

ТАБЛИЦА 8.3: КОНЦЕНТРАЦИИ ВЫБРОСОВ В ВОЗДУХ ОТ EAF ПОСЛЕ ОЧИСТКИ [244], [277]

Параметр		Рукавный фильтр	Электрофильтр (1)	Единица
Пыль		0,35 – 3,4	1,8	мг/нм ³
CO		88 – 256		мг/нм ³
NO _x		0,97 – 70		мг/нм ³
SO _x		8 – 17		мг/нм ³
	Hg	0,016 – 0,019	<0,0003	мг/нм ³
Металлы	Итого (включая Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Se, Te, Ni, Co, Sn)	0,016 – 0,022	0,01 – 0,07	мг/нм ³
	Cr (исключая Cr (VI))	0,013		
	Mn	0,036		
	Ni	0,003		
PAH		<0,00001	<0,001	мг/нм ³
PCDD/F		0,0015 – 0,1 (2)		нг/нм ³
HF		0,085 – 0,2		мг/нм ³
HCl		3 – 5,4		мг/нм ³
Cl ₂		<3		мг/нм ³

(1) Значения относятся к одной немецкой печи, выплавляющей нержавеющую сталь

(2) Верхняя граница диапазона относятся к измерениям, проведенным в 1997 г.

Примечание: представлены средние ежегодные значения, и они относятся к централизованной системе пылеудаления

В PAH содержатся бен-а-пирен и дибензо-(a, h)-антрацит

Пыль

В отходящих газах содержится 10 – 30 кг пыли/т жидкой углеродистой стали, или для низколегированной стали, и 10 – 18 пыли/т жидкой высоколегированной стали перед очисткой. В EAF для выплавки нержавеющей стали максимальное значение образования пыли составляет 30 кг/т. В случае конвертера типа AOD в отходящих газах (EAF и AOD) содержится 10 – 46 кг/т легированной стали. Состав пыли можно проверить из анализа пыли, удаленной из отходящих газов в рукавных фильтрах или в электрофильтрах (см. табл. 8.10). Большая часть тяжелых металлов главным образом связывается с пылью, и, таким образом, удаляется в значительной степени из отходящих газов при очистке от пыли. Эти тяжелые металлы находятся в газовой фазе, например, ртуть, и они не удаляются при фильтрации или из электрофильтра [373].

Диапазон удельных выбросов после очистки можно видеть в табл. 8.1. Около 96% пыли относится к PM₁₀ [83], [288]. Диапазон довольно широкий (три порядка величины), что указывает на большие различия в эффек-

тивности улавливания и очистки. Что касается концентрации, то выбросы находятся в диапазоне от 0,5 до 50 мг пыли/нм³ (большая часть печей работает в нижнем конце диапазона). Обычно эти удельные значения выбросов или концентрации включают и вторичные выбросы, поскольку первичные и вторичные выбросы часто очищаются в одном и том же оборудовании [366], [373].

Тяжелые металлы

Для некоторых выбросов в табл. 8.1 имеется широкий диапазон. Повышенные значения могут иметь высокое экологическое значение. Цинк является металлом с максимальными удельными выбросами. Выбросы хрома и никеля по очевидным причинам обычно бывают выше при производстве нержавеющей стали [373]. Часть выбросов может происходить в виде шестивалентного хрома. Это имеет особое значение вследствие его высокой канцерогенности в случае ингаляции.

На трех ЕАФ удельные выбросы мышьяка были измерены в диапазоне от 0,025 до 14 г/т [288], [234].

Выбросы ртути могут в значительной степени различаться от плавки к плавке, в зависимости от состава/качества лома [137], [144]. Выбросы ртути в секторе, как ожидается, будут снижаться вследствие постепенного прекращения использования ее вследствие полного исполнения нескольких уже действующих директив, таких как Директива о вышедших из эксплуатации транспортных средствах¹, Директива об отходах электротехнического и электронного оборудования² и Директива об ограничении применения опасных веществ в электротехническом и электронном оборудовании³, а также Директива о батареях⁴ [273]. Тем не менее, наблюдались существенные превышения содержания ртути в вышедших из эксплуатации транспортных средствах, и это указывает на то, что ртуть содержащие компоненты все еще находятся в источниках лома, и, очевидно, они не всегда удаляются при переработке автомобильного лома на шредерах. Выбросы ртути достигают 170 мг/т жидкой стали, несмотря на усилия по снижению содержания ртути в покупном ломе, как это видно из ежегодных наблюдений, и картина выглядит сходной как отечественного, так и импортируемого лома [81].

Оксиды серы и азота

Выбросы SO₂ зависят главным образом от количества угля и мазута в поступающей шихте, но они не имеют большого значения. Выбросы оксидов азота также не требуют специального рассмотрения.

¹ Директива 2000/53/ЕС Европейского Парламента и Совета от 18 сентября 2000 г. о вышедших из эксплуатации транспортных средствах.

² Директива 2002/96/ЕС Европейского Парламента и Совета от 27 января 2003 г. об отходах электротехнического и электронного оборудования. В настоящее время она заменена Директивой 2012/19/EU от 4 июля 2012 г. об отходах электротехнического и электронного оборудования.

³ Директива 2002/95/ЕС Европейского Парламента и Совета от 27 января 2003 г. об ограничении использования некоторых опасных веществ в электротехническом и электронном оборудовании.

⁴ Директива 2006/66/ЕС Европейского Парламента и Совета от 6 сентября 2006 г. о батареях и аккумуляторах и отходах батареек и аккумуляторов.

Другие неорганические загрязнители [288]

Фториды и хлориды являются другими важными неорганическими загрязнителями, но дополнительная информация не была представлена.

Летучие органические соединения

Летучие органические соединения (ЛОС) могут появляться в результате попадания органических веществ в сырьевые материалы (например, растворители, краски), загружаемые в печь. В случае использования сырого угля (антрацита) могут выделяться такие соединения как бензол перед выгоранием [373].

Полициклические ароматические углеводороды (РАН)

Выбросы РАН относительно высокие (9 – 970 мг/т жидкой стали – см. табл. 8.1), но не имеется значительного количества данных об измерениях. РАН также уже находятся в поступающем ломе [120], но могут также образовываться при работе электродуговой печи. Предполагается, что РАН адсорбируются к пыли от фильтров в значительной степени (это также зависит от температуры отходящих газов), но это не удалось подтвердить при исследованиях в Люксембурге, где выбросы РАН не изменялись перед и после очистки в рукавном фильтре, когда были достигнуты низкие остаточные уровни содержания пыли (<5 мг/нм³) как среднесуточное значение [167]. В выбросах РАН доминируют более летучие соединения с двумя или тремя кольцами, такие как фталейн, ацефтафен, антрацен и фенантрен [388].

Стойкие органические загрязнители (СОЗ)

С 1990-х годов возрастает внимание, уделяемое СОЗ. В наличии имеется ограниченное количество результатов анализов для ограниченного количества соединений. Измеряют хлорорганические соединения, такие как хлорбензолы, РСВ и PCDD/F.

Существует сильная корреляция между концентрациями PCDD/F и ВОЗ-12 РСВ¹, причем I-TEQ PCDD/F примерно в 16,5 раз выше, чем ВОЗ-12 РСВ. Это дает основания предполагать, что механизмы образования РСВ и PCDD/F взаимосвязанные [388].

Хлорбензолы были обнаружены на нескольких электродуговых печах (0,3 – 12 мг/л жидкой стали – см. табл. 8.1). Из измерений на одной электродуговой печи известно, что в отходящих газах находился гексахлорбензол [373].

Полихлорированные бифенилы (PCB)

Полихлорированные бифенилы относятся к классу хлорированных полу летучих органических соединений, состоящих из 209 конгенов (родственных соединений) Группа из 12 PCB, которая характеризуется поведением, близким к поведению диоксинов, была идентифицирована ВОЗ. Основной вклад в ВОЗ-12 I-TEQ носит PCB 126.

Другими обнаруженными конгенерами PCB являются PCB 28, 52, 101, 138, 153 и 180, которые известны как шесть конгенов Балшмиттера (Ballschmitter²) [338]. Токсикологическая цель определения двух групп PCB не одна и та же. Об-

¹ 12 полихлорированных бифенилов, которые ВОЗ в 1998 г. отнесла к соединениям, проявляющим свойства, подобные свойствам диоксинов.

² Карлхайнц Балшмиттер – немецкий химик-аналитик, исследующий стойкие органические загрязнители.

щим подходом для адекватной оценки “общих РСВ” является умножение суммы 6 конгенов Бальшмиттера (6Ballschmitter/DIN PCB) на пять.

Был определен уровень выбросов РСВ и измерен на нескольких электродуговых печах. Сообщалось о таких низких значениях как 0,01 мг/т жидкой стали, и таких высоких как 5 мг/т жидкой стали. Кроме того, еще не известно, образуются ли РСВ с помощью ново синтеза в течение процесса и (или) в устройствах для очистки отходящих газов. Эти неопределенности говорят о трудности, если не невозможности сделать общее заключение о процессах образовании и разложения РСВ в отходящих газах электродуговых печей.

PCB могут находиться в поступающем ломе, который может быть доминирующим источником их измеренных выбросов [120]. Регламенты, например, относящиеся к управлению вышедшим из эксплуатации электротехническим оборудованием, в значительной степени помогают в предотвращении введения элементов оборудования, которые содержат РСВ (например, небольшие конденсаторы в нескольких технических устройствах типа стиральных машин, сушилок, кухонных вытяжек, мазутных форсунок, люминесцентных ламп и т.д.) В одном исследовании показано, что РСВ практически не удаляются в рукавных фильтрах [167]. В недавнем исследовании, проведенном в Швеции, продемонстрирована корреляция между диоксиноподобными РСВ и PCDD/F, но было также показано, что выбросы РСВ WHO-TEQ намного менее важны, чем выбросы PCDD/F [373].

В общем, был сделан вывод, что обычные системы очистки дымовых газов (например, рукавные фильтры, электрофильтры, скрубберы) более эффективны при удалении выбросов PCDD/F, чем в случае выбросов РСВ. Специфические различия между соединениями можно объяснить разницей в летучести между конгенерами трех групп соединений. Различия в эффективности могут быть также связаны с различиями в эффективности разделения пыли, температуре газа и адсорбционных свойствах пыли [370].

Полихлорированные дибензо-п-диоксины и фураны (PCDD/F)

В течение термической обработки лома, в котором содержатся краски, масла (например, смазочно-охлаждающие жидкости), поливинилхлорид или другие органические вещества, PCDD/F выделяются или образуются при очистке сточных вод и выбрасываются в атмосферу вместе с испарениями от печи [367]. Эти выбросы являются особенно важными в течение фазы начала плавления лома в электродуговой печи, когда температура все еще низкая. Даже, если в последующей стадии процесса температура будет достаточно высокой для разрушения PCDD/F, они будут образовываться в течение этой начальной фазы и будут оказывать влияние на образование в последующем процессе [375], [388].

PCDD/F повторно образуются также при сжигании при низких температурах (250 – 500°C) из хлорорганических соединений, которые могут находиться в садке, а также с помощью ново синтеза, катализатором которого являются металлы (например, медь и в меньшей степени железо). Имеющиеся данные указывают, что профиль распределения температур явля-

ется более важным, чем средняя температура при определении концентрации PCDD/F в отходящих газах [388]. Что касается PCDD/F, то многие имеющиеся данные измерений показывают, что выбросы находятся в диапазоне от 0,04 до 6 мкг ITEQ/т жидкой стали [220] (см. табл. 8.1). Были измерены концентрации от 0,02 до 9,2 нг ITEQ/нм³ [367]. На рис. 8.9 приведен пример распределения гомологов PCDD/F в отходящих газах электродуговой печи с двойной стенкой, с предварительным подогревом лома и с последующей очисткой. Доминируют гомологи PCDD/F с четырьмя и пятью атомами хлора.

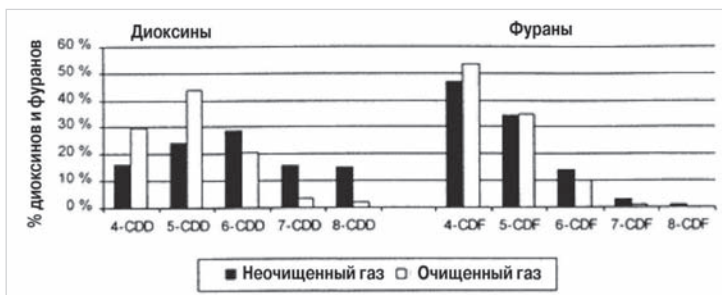


Рисунок 8.9: Распределение гомологов PCDD/F в отходящих газах EAF с двойной стенкой с предварительным подогревом лома до и после очистки [167]

24

Что касается абсолютных выбросов PCDD/F, то имеется корреляция между температурой отходящих газов (см. рис. 8.10) и содержанием пыли (см. рис. 8.11) [366].

На рис. 8.10 указано, что когда температура очищенного газа станет ниже 75°C, выбросы PCDD/F будут оставаться ниже 1 нг I-TEQ/нм³. Физическое объяснение этого связано со снижением летучести PCDD/F при снижении температуры [126]. При низких температурах PCDD/F все в большей степени абсорбируется на пыли фильтра.

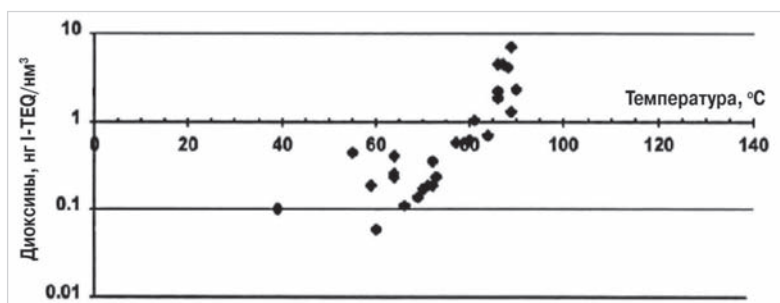


Рисунок А.10: Корреляция выбросов PCDD/F с температурой отходящих газов после очистки в рукавном фильтре EAF [167]

Наблюдения, свидетельствующие о тесной связи между выбросами пыли и PCDD/F должны указывать о связи с температурой отходящих газов. Само по себе содержание пыли зависит от размеров и качества рукавного фильтра, но также и от относительной влажности отходящих газов, которая может быть высокой в случаях заковки охлаждающих газов или при расположении вблизи моря (см. рис. 8.12).

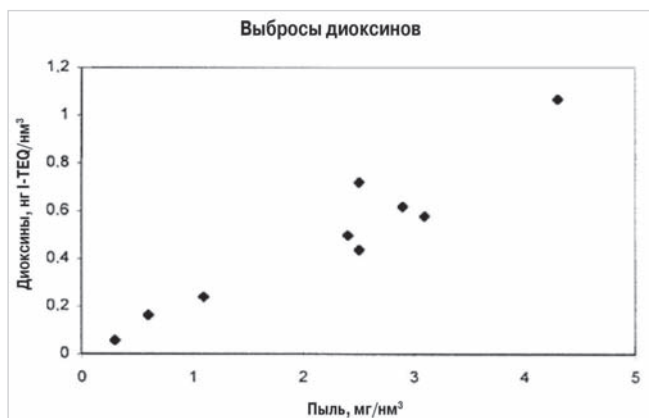


Рисунок 8.11: Корреляция остаточного содержания пыли с концентрациями PCDD/F после очистки в рукавном фильтре в отходящих газах EAF при температуре ниже 850°C [23]

25

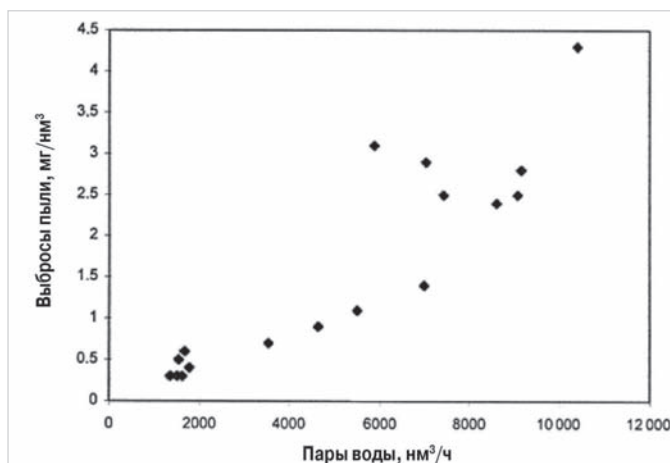


Рисунок 8.12: Корреляция содержания водяных паров и остаточной пыли после очистки в рукавном фильтре в отходящих газах EAF [1996]

PCDD/F обычно выражаются в Международных эквивалентах токсичности (I-TEQ) согласно НАТО/CCMS, 1988 (Комитет НАТО по вызовам современному обществу). Это также относится к существующему законодательству и действующим разрешениям. Пересмотренные разрешения IPPC¹ (комплексное предотвращение и контроль загрязнений) для металлургических заводов в Валлонском регионе Бельгии сформулированы в WHO-TEQ для PCDD/F и диоксиноподобных PCB плюс отдельные предельные значения для общих PCB², которые выбрасываются как сумма Ballschmitter/DIN (массовая концентрация).

В 1998 г. ВОЗ разработала новый эквивалент токсичности для PCDD/F (WHO-TEQ), который был интегрирован в эту оценку для 12 диоксиноподобных PCB [219].

В 2005 г. были представлены пересмотренные эквиваленты токсичности (WHO 2005-TEQ), которые были приняты ВОЗ [366], [315]. На рис. 8.13 приведены результаты измерений, выраженные как I-TEQ по сравнению с WHO-TEQ, включая диоксиноподобные PCB.

Общий уровень PCDD/F, включая PCB, выраженный как WHO 2005-TEQ, варьируется от значения на 11% ниже до значения на 21% выше, чем PCDD/F, выраженные как I-TEQ [80], [315].

Согласно информации, предоставленной Eurofer (Европейская стальная федерация, созданная в 1975 г.), выбросы диоксинов от производства нержавеющей стали ниже, чем в случае производства углеродистой стали. Однако это утверждение было подтверждено только на нескольких заводах [209].

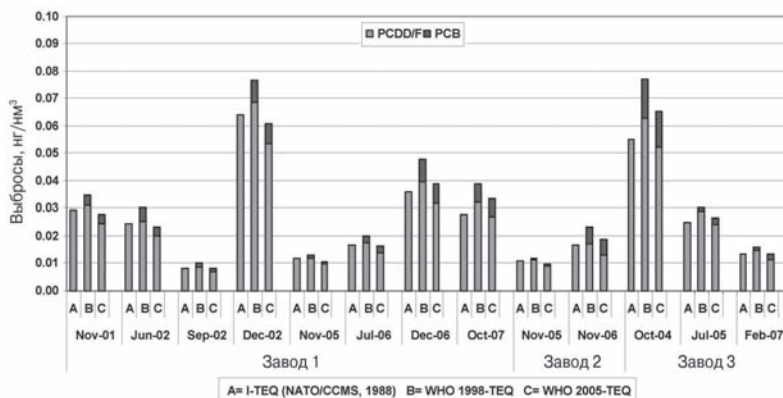


Рисунок 8.13: Выбросы PCDD/F как I/TEQ (международный токсический эквивалент), включая диоксиноподобные PCB

В табл. 8.4 показаны удельные и годовые выбросы PCDD/F в воздух от шведских сталеплавильных цехов, оцененные для производства в 2005 г. Со-

¹ Директива 2008/1/ЕС Европейского Парламента и Совета от 15 января 2008 г. о комплексном предотвращении и контроле загрязнений.

общенные значения соответствуют TEQ при использовании самой последней схемы оценки ВОЗ [315], включая как PCDD/F, так и диоксиноподобные РСВ. Вклад диоксиноподобных РСВ находился в диапазоне 10-20%. Значение TEQ сообщалось как интервал, когда некоторые токсичные конгенеры были ниже предела определения.

ТАБЛИЦА 8.4: УДЕЛЬНЫЕ И ГОДОВЫЕ ВЫБРОСЫ PCDD/F И РСВ В ВОЗДУХ ОТ ШВЕДСКИХ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧЕЙ [370]

Печь	PCDD/F (мкг TEQ/т жидкой стали)	PCDD/F (г TEQ/год)	РСВ (мкг TEQ/т жидкой стали)	РСВ (г TEQ/год)
A	0,67	0,29	0,22	0,096
B	0,41	0,025	0,04	0,02
C	0,091	0,008	0,015	0,0013
D	0,0080	0,015	0,02	0,0034
E	3,7	1,8	0,42	0,21
F	0,056	0,015	0,012	0,032
G	2,4	1,0	0,28	0,12
H	0,17	0,003	0,56	0,01

Выбросы от процессов внепечной обработки стали и непрерывной разливки

Информация о выбросах от процессов внепечной обработки данных (главным образом выбросы пыли) и от непрерывной разливки очень ограниченная. В работе [30] сообщается о выбросах перед очисткой от семи установок рафинирования стали AOD/VOD в пределах от 6 до 15 кг пыли/т жидкой стали и одном низком значении 1,25 кг пыли/т жидкой стали. Эти семь агрегатов имеют систему для обеспыливания независимо от обеспыливания на электродуговых печах. Значения выбросов, сообщенные в табл. 8.1, включают выбросы от вторичной обработки стали.

Очистка уловленных потоков отходящих газов от систем вторичной обработки стали проводится в устройствах такого же самого типа, главным образом в рукавных фильтрах, как первичных, так и вторичных выбросов. В табл. 8.5 показаны некоторые значения выбросов для различных частей внепечной обработки после очистки.

ТАБЛИЦА 8.5: ВЫБРОСЫ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВНЕПЕЧНОЙ ОБРАБОТКИ ПОСЛЕ ОЧИСТКИ [244]

Параметр	Первичное обеспыливание ковшевой металлургии	Разливка в слитки и непрерывная разливка (1)	Вакуумная обработка и установка кислородной продувки
PM	0,6 - 1	0,5	4,1 – 13,2
Pb, Co, Ni, Se, Te	0,006		
Sb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Sn	0,01	0,01 – 0,03	

(1) Только для производства нержавеющей стали

Примечание: значения являются среднегодовыми и приведены в мг/м³

Выбросы от предварительного нагрева лома

Предварительный нагрев лома может привести к важному образованию органических загрязняющих веществ вследствие возможного наличия органических веществ в ломе, которые сжигаются в течение нагрева в очень неблагоприятных условиях. Это может привести к росту выбросов ЛОС и PCDD/F. В этом случае отходящие газы должны подвергаться дополнительной обработке с джиганием.

Выбросы от переработки шлака

Если шлак собирается в шлаковый ковш у электродуговой печи, его нужно сливать во внешние шлакоотстойники для отвердевания. Охлаждение шлака можно интенсифицировать с помощью впрыска воды, в результате чего может образоваться дым. Этот дым может обладать высокой щелочностью, если в шлаке содержится свободный CaO (см. табл. 8.7). Это происходит очень часто. Отложения щелочей из дыма может вызвать проблемы вблизи завода.

Если шлак разливается на пол, он подвергается предварительному дроблению после отвердевания с использованием экскаваторов или ковшового погрузчика и впоследствии направляется на участок внешнего хранения.

Через определенный период времени шлак перерабатывается с помощью дробильных устройств и грохочения для получения желаемой консистенции с целью отделения металлов от шлака и дальнейшего использования в строительстве. При дроблении шлака и утилизации металла могут происходить выбросы. Выбросы от дробления и грохочения должны удаляться и впоследствии очищаться. Можно применять впрыск воды на ленточном транспортере. Если перерабатываемый шлак подвергается хранению, отвалы можно увлажнять. В течение разгрузки дробленого шлака водяной туман можно использовать для минимизации выбросов пыли [85], [260], [273], [373].

8.2.2.2 Сточные воды

Вода используется для следующих целей:

- для охлаждения EAF
- для быстрой закалки горячих отходящих газов
- как скрубберная вода, если применяется мокрое обеспыливание
- для создания вакуума
- для прямого охлаждения при непрерывной разливке или разливке в слитки.

В соответствии с режимом управления водой стремятся к оптимальной очистке всех сточных вод, но информация о расходе и очистке сточных вод для единичных производственных стадий часто не имеется в наличии, поскольку смесь разных потоков сточных вод очищается вместе (см. главу A2.4) [363].

Охлаждающая вода

Вода в электродуговых печах используется для охлаждения стеновых панелей и свода и для опрыскивания электродов. Удельный расход воды

для охлаждения ЕАФ составляет около 5-12 м³/(м²ч). Для ЕАФ с производительностью 70 т/ч потребность в охлаждающей воде составляет 1000 м³/ч. Так как вода направляется в замкнутый цикл охлаждения, не образуется охлаждающая вода. Может также использоваться охлаждающая вода без циркуляции, если нет недостатка в охлаждающей воде хорошего качества. Это экономит энергию для работы насоса и для охлаждения оборотной воды.

Сточные воды от очистки отходящих газов

В некоторых случаях в странах ЕС отходящие газы очищаются в мокром скруббере. Не имеется информации о применяемых технологиях очистки и сбрасываемых количествах и степени их загрязнения.

Сточные воды от непрерывной разливки и разливки в слитки

Непрерывная разливка в процессе электродуговой плавки сходна с непрерывной разливкой для кислородно-конвертерного процесса. Больше информации можно найти в п.п. 7.2.2.2 и 7.3.4. Не имеется отдельной информации о количествах поступающей и отводимой воды. Обычно эти сточные воды очищаются вместе с другими потоками от прокатных станов.

Сточные воды от создания вакуума

Для вакуумной обработки обычно удельный расход технической воды от создания вакуума варьируется от 5 до 8 м³/т жидкой стали, подвергаемой вакуумной обработке (см. табл. 8.1). Эта вода почти полностью подвергается рециклингу. Следует упомянуть, что не вся жидкая сталь должна подвергаться вакуумной обработке. Не имеется информации о составе, очистке или рециклинге [140], [363], [365].

Сточная вода от закалки

Вода используется для быстрого охлаждения. Имеется сообщение, что на одной установке закалки в системе пыле- и газоудаления с расходом 870000 м³/ч используется 25м³/ч. Сточные воды не образуются, так как используемая вода полностью испаряется и выходит из процесса с потоком отсасываемого воздуха. Небольшая часть уходит из процесса с остаточной влажностью пыли.

Дренажная вода со склада лома

Основной сырьевой материал ЕАФ, различные виды лома часто хранятся на не мощеных складах лома. Дренажная вода может быть загрязнена, особенно в случае лома, в котором содержатся масла/эмульсии от стружки. Не имеется информации о количествах и степени загрязнения дренажной воды. Обычно она, по крайней мере, очищается в маслоотделителе перед сбросом.

8.2.2.3 Остатки производства, такие как отходы и побочные продукты

Различные твердые остатки, такие как отходы или побочные продукты от процесса выплавки стали в электродуговых печах представлены вместе с их удельными количествами в табл. 8.6.

ТАБЛИЦА 8.6: ВИД И УДЕЛЬНЫЕ КОЛИЧЕСТВА ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ/ПОБОЧНЫХ ПРОДУКТОВ ОТ EAF [46], [116]

Твердые отходы/побочные продукты		Удельное количество (диапазон) (кг/т жидкой стали)
Шлаки от производства углеродистой/низколегированной стали	Шлак от EAF	100 – 150
	Шлак от ковша	10 – 30
Шлак от производства высоколегированной стали	Шлак от EAF	100 – 135
	Шлак от ковша	30 – 40
	Шлак AOD	Приблизительно 160
Пыль от производства углеродистой/низколегированной/высоколегированной стали		10 – 46
Огнеупорные кирпичи		2 – 25

Более современные данные для европейских EAF можно найти в табл. 8.1.

Шлаки от выплавки углеродистой/низколегированной/высоколегированной стали

Первый шлак образуется в течение процесса плавления стального лома в EAF при добавке шлакообразователей. В течение одного или нескольких последующих процессов нерафинированная сталь, выплавляемая в EAF, будет проходить последующие обработки в конвертерах и (или) ковшах. В этом (этих) процессах добавляются ферросплавы в жидкий чугун, и вместе с некоторыми добавками (например, известь) образуются основные шлаки. В отличие шлака EAF от производства углеродистой стали, шлаки EAF от производства нержавеющей стали могут иметь повышенные содержания тяжелых металлов, которые, например, используются как легирующие добавки.

Химический состав шлаков EAF от производства углеродистой/низкоуглеродистой стали и нержавеющей/высоколегированных сталей можно видеть в табл. 8.7.

ТАБЛИЦА 8.7: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ШЛАКА EAF ПРИ ВЫПЛАВКЕ УГЛЕРОДИСТОЙ/НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ И ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ/НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ [37]

Компонент (вес.%)	Углеродистая/низколегированная сталь(1)			Нержавеющая/высоколегированная сталь(2)		
	Типичная концентрация	Нижний предел	Верхний предел	Типичная концентрация	Нижний предел	Верхний предел
CaO	28	15	64	50	17	68
SiO ₂	19	4	26	23	2	42
MgO	7	0,5	15,5	6,1	5	25
Al ₂ O ₃	7	1	16,5	2,5	<0,1	30
FeO	32	10	63	2	<0,1	39
Cr ₂ O ₃	18	<0,1	11	2	<0,1	22
F				2	<0,1	9
MnO	5	0,5	19,5	1	<0,1	21
TiO ₂				0,8	<0,1	3,5
Zn				<0,1	<0,1	2
P ₂ O ₅	0,4	<0,01	2			
Na ₂ O	0,2	<0,01	2			
K ₂ O	0,14	<0,01	2,5			

(1) Углеродистая/низколегированная сталь EAF C EINEC No 294-410-9 CAS No 91722-10-0

(2) Нержавеющая/высоколегированная сталь EAF S EINEC No 294-410-9 CAS No 91722-10-0

Примечания: - аналитическая информация о шлаках в черной металлургии приводится в форме оксидов, хотя компоненты могут находиться в различных минеральных фазах и различных состояниях окисления

- Компоненты, которые обычно имеют максимальные концентрации <1 вес. %, не определены

- В следовых, других элементах, таких как Pb, As, Sb, Hg, Cl, F может находиться также и шестивалентный хром

Уровень полигонного депонирования или рециклинга в различных государствах-членах изменяется в зависимости от законодательных требований, доступности полигонов, налогов, рыночной ситуации, затрат и возможностей повторного использования переработанных шлаков. В ЕС все большее количество шлаков от выплавки углеродистых и низколегированных сталей используется как вторичное сырье, главным образом, для дорожного строительства и для инфраструктурных потребностей в нескольких применениях. Шлаки от производства нержавеющей стали обычно менее пригодны для таких использований, и их необходимо депонировать. Процентная доля рециклинга шлаков по месту от производства высоколегированных сталей значительно выше, чем для шлака из углеродистой и низколегированной стали. Но все еще треть шлаков депонируется и находится на хранении (см. табл. 8.8) [373]

ТАБЛИЦА 8.8: ВИДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАКОВ EAF В ЕС [30], [195], [365]

Вид стали	Общее количество шлака	Рециклинг по месту		Внешнее использование		Продано		Депонирование и хранение	
		тыс. т/год	%	тыс. т/год	%	тыс. т/год	%	тыс. т/год	%
Углеродистая сталь(1)	958	-	-	164	17,1				
Углеродистая сталь(2)	1796	45	12,5	494,8	27,6	13,70	8	1242	69,2
Низколегированная сталь(2)	444	-	-	61,6	13,9	108,0	24,4	261	58,9
Высоколегированная сталь(2)	461	81,4	17,7	68,0	14,8	160,0	34,7	156	33,9
Итого шлаков EAF(2)	2701	126,5	4,7	624,4	23,1	281,7	10,4	1659	61,4
Итого шлаков EAF(3)	4408								

(1) Данные от 12 заводов, производивших 958 тыс. /год шлаков (131,7 кг/т жидкой стали) в 20078 г.

(2) Данные от 57 заводов, производивших 2,7 млн. т шлаков/год (133 кг/т жидкой стали) в 1996 г.

(3) Данные за 2004 г. и относящиеся к следующим странам ЕС: Австрии, Бельгии, Германии, Дании, Испании, Франции, Финляндии, Люксембургу, Нидерландам, Соединенному королевству, Швеции, Словакии

Шлаки от четырех EAF были проанализированы на PCDD/F и PCB. В табл. 8.9 приведены концентрации и годовые массовые потоки PCDD/F и PCB в шлаке для этих печей, в которых лом использовался в качестве сырьевого материала. Обнаруженные концентрации были ниже предельного значения в 15 мкг TEQ/кг, как определено в регламенте для стойких органических загрязнителей.

ТАБЛИЦА 8.9: КОНЦЕНТРАЦИИ И ЕЖЕГОДНЫЕ МАССОВЫЕ ПОТОКИ PCDD/F И PCB В СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЛОМ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ [370]

Печь	PCDD/F (мкг TEQ/кг)	PCDD/F (г TEQ/год)	PCB (мкг TEQ/кг)	PCB (г TEQ/год)
A	<0,004	<0,56	0,0002	0,029
B	0,014 – 0,015	0,053 – 0,058	0,0014	0,0069
I	0,002	0,14	0,0004	0,0027
J	0,002	0,09	0,00005	0,002

Пыль от очистки отходящих газов

Как уже упоминалось, очистка отходящих газов (главным образом отходящих газов вместе со вторичными отходящими газами) очень часто выполняется в рукавных фильтрах. Химический состав пыли от производства углеродистой, низколегированной и высоколегированной стали можно видеть в табл. 8.10.

ТАБЛИЦА 8.10: ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЫЛИ ЕАФ ПРИ ВЫПЛАВКЕ УГЛЕРОДИСТОЙ/ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ И ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ [39], [62], [134], [277], [376], [391]

Компонент	Пыль от производства углеродистой/ низколегированной стали (вес.%)	Пыль от производства высоколегированной стали (вес.%)	Пыль от производства нержавеющей стали (вес.%)
Геобщее	10 - 45	17 - 37	20 - 65
SiO ₂	0,6 – 5,1	1,7 - 5	3 - 9
CaO	3 - 17	2 - 16	8 - 20
Al ₂ O ₃	0,3 - 3	1 - 4	0,4 - 2
MgO	0,5 - 6	1,5 – 6,9	2,2 – 6,3
P ₂ O ₅	0,1 – 0,37	0,01 – 0,1	0,01 – 0,1
MnO	1,1 - 6	1,5 – 6,9	2,2 – 6,3
Cr ₂ O ₃	0,13 - 2	0,12 - 6	9 - 20
Na ₂ O	0,3 - 3	NA	0,6 - 2
K ₂ O	0,5 – 2,3	NA	0,7 - 3
Zn	21 - 43	2 - 15	2 - 25
Pb	0,4 - 10	0,05 – 3,6	0,2 – 4,5
Cd	0,02 – 0,18	0,01 – 0,04	0,01 – 0,08
Cu	0,08 – 0,5	0,01 – 0,8	0,014 – 0,5
Ni	0,01 – 0,8	0,01 – 0,5	1 - 8
V	0,01 – 0,09	0,01 – 0,2	0,05 – 0,12
W	NA	0,5 - 1,5	NA
Co	0,001 – 0,01	0,01 – 9,2	0,05 – 0,12
As	0,001 – 0,02	0,001 – 0,01	0,001
Hg	0,0001 – 0,005	0,05 – 0,7	0,0002 – 0,015
Cl	0,8 - 5	0,7 - 17	0,8 - 1
F	0,02 – 0,9	0,01 – 0,65	0,3 – 2,4
S	0,1 - 3	0,25 – 1,42	0,2 – 0,5
C	0,4 – 3,5	0,5 – 3,1	0,05 – 1,3
Основность	2,0 – 6,5	NA	NA
Влажность	- 16	NA	NA

NA = данные не имеются

Пыль от шести печей была проанализирована на PCDD/F и PCВ. В табл. 8.11 показаны концентрации и ежегодные массовые потоки PCDD/F и PCВ в пыли для четырех из этих печей, в которых лом черных металлов использовался в качестве сырья.

ТАБЛИЦА 8.11: КОНЦЕНТРАЦИИ И ЕЖЕГОДНЫЕ МАССОВЫЕ ПОТОКИ PCDD/F И PCВ В ПЫЛИ ОТ СТАЛЕПЛАВНЫХ ПЕЧЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЛОМ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ [370]

Печь	PCDD/F (мкг ТЕQ/кг)	PCDD/F (г ТЕQ/год)	PCВ (мкг ТЕQ/кг)	PCВ (г ТЕQ/год)
A	0,16	1,0	0,014	0,089
B	0,21	0,11	0,015	0,0075
I	0,035	0,20	0,0020	0,011
J	0,16	1,0	0,0042	0,026

В последние годы после введения в действие законодательства по управлению отходами процентная доля пыли, направляемой на полигоны, резко сократилась. Значительная часть пыли во время написания справочного документа (2010 г.) направлялась на операции утилизации цветных металлов (главным образом Zn и Pb в случае углеродистых сталей и Cr и Ni в случае пыли от выплавки нержавеющей стали [373].

Существуют технологии для переработки пыли от EAF, в которой содержится 18 – 35% цинка. Эти общепризнанные процессы используются в цветной металлургии. Однако в отрасли производства цинка обычно используются сырьевые материалы, которые имеют повышенные концентрации цинка. В результате пыль EAF подвергается дополнительной переработке перед тем, как можно будет утилизировать цинк. С помощью этих процессов содержание цинка повышается до 55 – 65% [274], [284].

Согласно обследованию, проведенному в 2006 г., которое охватило 36 EAF и 342949 т пыли, пыль EAF используется главным образом тремя различными способами, как показано на рис. 8.14.

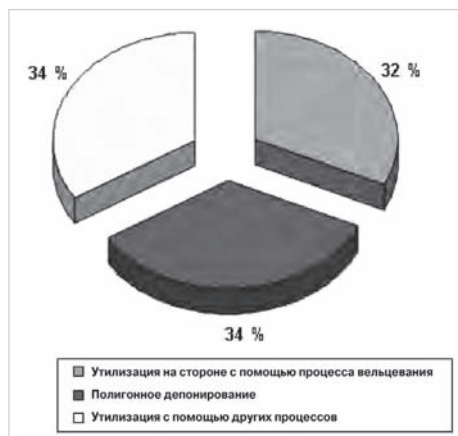


Рисунок 8.14: Использование пыли EAF [80]

Огнеупорные кирпичи

Огнеупорные кирпичи используются для футеровки различных агрегатов. Согласно данным работы [30], отработанные огнеупорные кирпичи направляются на полигон. В последние годы отработанные кирпичи из оксида магния, доломита и глинозема утилизировались, а полигонное депонирование использовалось только для фракций, которые не пригодны для утилизации [373]. Кирпичи по большей части повторно используются в производстве стали для той же самой или другой цели, когда не требуются кирпичи такого высокого качества. На EAF с производительностью приблизительно 400000 т нержавеющей стали в год количество отработанных огнеупоров доходит до 9000 т в год [386]. В табл. 8.12 приведены данные о годовых количествах, относящиеся к различным стадиям процесса.

ТАБЛИЦА 8.12: ПРИМЕР ЕЖЕГОДНОГО КОЛИЧЕСТВА РАСХОДУЕМЫХ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОДНОЙ УСТАНОВКЕ [386]

Отработанные огнеупоры	EAF	Стальной ковш	Ковш-печь, RH процесс	Машина непрерывного литья	Разливка в слитки
Магнезит	1200	3800	600(1)	2400	
Доломит	600				
Мулит					500

(1) Хромомагнезит

Примечание: значения приведены в т/год

8.2.2.4 Потребление энергии

Электроэнергия и природный газ являются самыми важными источниками энергии в операции EAF.

В течение процесса плавления следующие типы энергии охватывают:

- термическую энергию от электрической дуги
- термическую энергию от сжигания природного газа или других видов газообразного или жидкого топлива
- химическую энергию экзотермических реакций, протекающих в печи при окислении металла.

Потребление энергии в печи представляет баланс трех упомянутых поступлений энергии. В работе [364] приведен пример EAF со сравнительно низким поступлением электрической энергии 380 кВт-ч/т электроэнергии. 210 кВт-ч/т за счет потребления топлива и 100 кВт-ч/т от окисления металла, что в итоге соответствует 690 кВт-ч/т жидкой стали. 370 кВт-ч/т необходимо для расплавления и перегрева лома до температуры выпуска, 37 кВт-ч/т необходимо для расплавления и перегрева шлака, 100 кВт-ч/т составляют потери печи, а 140 кВт-ч/т – физическое тепло отходящих газов.

Использование 140 кВт-ч/т физического тепла отходящих газов разработано за последние 40 лет, и в настоящее время это доказанное средство для снижения общего потребления энергии при эксплуатации электродуговых печей. Одним из вариантов является использование этого физического тепла для на-

грева лома. Лом можно нагревать приблизительно до 800^оС перед процессом расплавления в корпусе печи, что снижает общее потребление энергии на 100 кВт-ч/т жидкой стали.

8.2.2.5 Шумовые выбросы [260], [273]

Основными источниками выбросов в электросталеплавильном производстве являются:

- плавильный цех, включая EAF
- склад металлолома
- первичное пылеудаление
- пылеудаление из зонта
- оборудования для управления водой
- транспортирование шлаковых ковшей
- транспортирование продукции, например автопогрузчиками
- переработка шлака в дробилках, магнитных сепараторах и в устройствах грохочения.

Для обычных электродуговых печей средние уровни шума (при плавлении и обработке) LWA составляют 118 – 133 дБ (А) для печей с емкостью > 10 т и 108 – 115 дБ(А) для печей с емкостью <10 т; номинальная мощность трансформатора определяет уровень шумовых выбросов. В электросталеплавильных цехах измеренные уровни шума могут достигать до 127 дБ (А) (измерения включают плавление и обработку). Основная доля шумовых выбросов приходится на электросталеплавильный цех, включая EAF, склад металлолома и первичное пылеудаление.

35

8.2.2.6 Загрязнение почвы

Во многих случаях склад металлолома бывает немоощным (см. п. 8.1.1). Может происходить загрязнение почвы от хранения лома, загрязненного минеральными маслами/эмульсиями или другими соединениями. Не имеется информации о степени и воздействии такого загрязнения почвы [260].

Если двор для переработки лома немоощный, а в неочищенном шлаке содержится СаО, щелочная вода может проникать в почву.

8.3 Технологии, рассматриваемые при определении НДТ

В этом разделе описаны технологии (или их сочетания) и соответствующий мониторинг, которые считаются имеющими потенциал для достижения высокого уровня защиты окружающей среды в деятельности, охватываемой этим документом.

Он охватывает технологии, интегрированные в технологический процесс, и технологии очистки в конце производственного цикла. Рассмотрены также вопросы предотвращения образования отходов и управления ими, включая минимизацию образования отходов и процедуры рециклинга. Кроме того, охвачены также технологии для снижения потребления сырьевых материалов, воды и энергии.

В Приложении III к Директиве перечислен ряд критериев для определения BAT (НДТ), и информация в этой главе относится к данным соображениям. Насколько возможно, как показано в табл. 8.13, используется стандартная структура для отражения информации, собранной для каждой технологии, что дает возможность сравнения технологий и оценки в отношении определения BAT, приведенного в Директиве.

Этот раздел необязательно дает исчерпывающий перечень технологий, которые могут применяться в секторе, и могут иметься или могут быть разработаны другие технологии, которые можно рассматривать при определении НДТ для индивидуальной установки.

ТАБЛИЦА 8.13: ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КАЖДОЙ ТЕХНОЛОГИИ, ОПИСАННОЙ В ЭТОМ РАЗДЕЛЕ

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Описание	Краткое техническое описание с использованием, при возможности, рисунков, диаграмм и технологических схем
Достигаемые экологические выгоды	Основные потенциальные экологические выгоды, достигаемые с помощью внедрения технологии (включая экономию энергии, воды, сырьевых материалов, а также рост производительности, эффективности использования энергии и т.д.)
Воздействия между средами	Потенциальные побочные воздействия на окружающую среду и ущерб для других сред вследствие внедрения технологии, включая подробности воздействий этой технологии на окружающую среду, по сравнению с другими технологиями (преимущества и недостатки, подтвержденные данными, если таковые имеются), для того чтобы оценить воздействие технологии на окружающую среду в целом. Это может включать такие аспекты как: • потребление сырьевых материалов и воды • потребление энергии и вклад в изменение климата • потенциал разрушения стратосферного озона • потенциал создания фотохимического озона • подкисление в результате выбросов в воздух • твердые частицы в окружающем воздухе (включая микрочастицы и металлы) • эвтрофикация земли и водных объектов в результате выбросов в воздух или сбросов в воду • потенциал истощения кислорода в водных объектах • стойкие/токсичные/биоаккаплирующиеся компоненты в водных объектах или в почве (включая металлы) • образование или уменьшение (отходов) остатков • возможность повторного использования или рециклинга (отходов) остатков • шум и (или) запах • риск аварий
Эксплуатационные данные	Реальные эксплуатационные данные (включая сравнительные условия, периоды мониторинга и методы мониторинга) об уровнях выбросов, потребления (сырьевых материалов, воды, энергии) и количеств образующихся отходов. Любая другая полезная информация о работе, обслуживании и контроле технологии
Применимость	Указание о типе установок или процессов, в которых технология может или не может применяться, а также ограничения для внедрения в некоторых случаях, с учетом, например, возраста установки (новая или существующая), факторов, связанных с модернизацией (например, наличие места), размера установки (большая или меньшая), технологии, уже используемой, и типа или качества продукта

Тип рассматриваемой информации	Тип включенной информации
Экономика	Информация о затратах (инвестиции и эксплуатация) и любой возможной экономии (например, снижение потребления сырьевых материалов или энергии, платежей за размещение отходов) или доходах, включая подробности о том, каким образом они были рассчитаны/оценены. Должна быть включена экономическая информация, важная для строительства новых или модернизации существующих установок. Это должно дать возможность идентификации, когда возможно, общего экономического воздействия технологии
Движущие силы для внедрения	Конкретные местные условия, требования (например, законодательство, меры безопасности) или не экологические факторы (например, рост производительности, повышение качества продукции), которые являются движущей силой или стимулируют внедрение технологии
Пример установок	Ссылка на установку (установки), на которых внедрена технология и о которых была собрана информация и использована при написании раздела. Указание о степени использования технологии в Европе или мире
Справочная литература	Литература или другой справочный материал (например, книги, отчеты, исследования, веб-сайты), которые были использованы при написании раздела и в которых содержится более подробная информация о технологии

8.3.1 Оптимизация выплавки стали в EAF

Процесс выплавки стали в EAF устойчиво совершенствовался для его оптимизации и для повышения производительности, что коррелируется со снижением удельного потребления энергии. Самыми важными мерами/технологиями, которые кратко описаны в этом разделе, являются [312]:

- работа на сверхвысокой мощности;
- водоохлаждаемые боковые стенки и свод;
- кислородотопливные горелки и кислородные фурмы;
- система донного выпуска;
- практика вспенивания шлака;
- ковшовая или внепечная обработка стали;
- автоматизированный отбор проб и добавки легирующих элементов;
- повышение энергоэффективности;
- компьютеризированное управление технологическим процессом и автоматизация.

Сверхвысокая мощность

Усилия по снижению промежутка времени от плавки до плавки привели к установлению более мощных печных трансформаторов. Решающими факторами для внедрения печей сверхвысокой мощности являются номинальная установленная мощность, средний энергетический КПД ($\geq 0,70$) и время использования трансформатора ($\geq 0,70$). Работа на сверхвысокой мощности может привести к повышению производительности, снижению удельного потребления электродов и снижению удельного объема отходящих газов, но при этом повышается также и износ футеровки печи [57].

Водоохлаждаемые стенки печи и свод

С 1980-х годов печные стенки и свод выполняются в виде футерованных водоохлаждаемых панелей, что обеспечивает экономию огнеупорных материалов, использование технологии печей сверхвысокой мощности, а также повторное использование тепла отходящих газов с помощью применения мер для утилизации энергии. Однако экономическую целесообразность утилизации энергии необходимо проверить на конкретной печи. В принципе, можно выделить две охлаждающие системы. “Охлаждение холодной или подогретой водой” снимает потери энергии, за счет повышения температуры охлаждающей воды, протекающей через змеевик. Испарительное охлаждение работает с помощью испарения охлаждающей воды для снятия теплоты излучения, вызываемой процессом электрической дуги. Для защиты водоохлаждаемых боковых панелей от термической деформации, в особенности, когда невозможна работа со вспениванием шлака (см. ниже), автоматизированное управление процессом плавления помогает предотвратить трещины в панелях, вызываемые механическим напряжением, а также экономит огнеупорные материалы [75].

Кислородотопливные горелки и кислородные фурмы

Кислородотопливные горелки содействуют равномерному плавлению лома. При этом также частично компенсируется эффект контроля максимальной потребности в поставляемой электроэнергии. Обычно дополнительное поступление энергии с помощью кислородотопливных горелок и кислородных фурм приводит к снижению общего потребления необходимой энергии.

Система донного выпуска

Практика донного выпуска используется с 1983 г., и она широко практикуется в настоящее время, так как при этом минимизируется возможное количество оксидного шлака (вынос шлака) в ковш в течение выпуска. Это также позволяет экономить затраты за счет снижения количества необходимых огнеупорных материалов, для более быстрого выпуска плавки и снизить потери энергии. Кроме того, упрощается улавливание дыма.

Обычно большинство электродуговых печей для выплавки углеродистой стали оснащено системами донного выпуска. Однако некоторые старые печи, а также большинство печей для выплавки нержавеющей стали все еще оснащены сливными носками. Причин этого много. Сливные носки позволяют осуществлять выпуск всей плавки и частичный выпуск. Процедура выпуска хорошо контролируется, а обслуживание сливного носка легкое вследствие простой конструкции. При выплавке нержавеющей стали и высоком уровне снижения количества шлака некоторая часть хрома утилизируется сталью из шлака после выпуска и перед скачиванием шлака в месте его скачивания [77], [177]

Практика вспенивания шлака

Применение вспенивания шлака в печи улучшает теплопередачу к загружаемому материалу, а также защищает огнеупорный материал в печи. Вследствие повышения стабильности дуги и снижения эффектов излу-

чения, практика вспенивания шлака приводит к снижению потребления энергии, расхода электродов, уровня шума и к повышению производительности. Оно также вызывает позитивное воздействие на некоторые металлургические реакции (например, между шлаком и расплавом). Плотность вспененного шлака ниже, чем плотность обычного шлака EAF, в котором содержится FeO ($0,15 - 1,5 \text{ т/м}^3$, по сравнению с $2,3 \text{ т/м}^3$). По этой причине объем шлака, образующийся в процессе выплавки стали, возрастает, и могут потребоваться большие ковши для шлака. После выпуска плавки шлак частично снова дегазируется. Информация о негативных воздействиях практики вспенивания шлака на возможности использования шлака не встречалась. Следует отметить, что использование этой практики невозможно для некоторых сортов стали, таких как нержавеющая сталь и другие высоколегированные стали.

Ковшовая или внепечная обработка стали

Нет необходимости в осуществлении некоторых стадий производственного процесса в самой EAF, и их можно выполнять более эффективно в других агрегатах (типа десульфуризации, легирования, гомогенизации температуры и химического состава). Технология перенесения некоторых видов деятельности на ковши, печи-ковши или другие агрегаты стала внедряться с 1985 г. [36], [57]. Сообщаемыми выгодами этой деятельности являются экономия энергии (нетто экономия $10 - 30 \text{ кВт-ч/т}$), снижение времени от плавки до плавки на $5 - 20$ мин, повышение производительности, лучший контроль температуры стали с теплом, поставляемым для непрерывной разливки, возможное снижение расхода электродов (до $0,1 - 0,74 \text{ кг/т}$), экономия легирующих элементов и снижение выбросов от самой EAF [36]. Возможным недостатком использования ковшей или других агрегатов, в отношении контроля загрязнения воздуха является возрастание количества источников выбросов, потребность в повышенных температурах для оборудования газоочистки вследствие дополнительного дыма, улавливаемого устройствами типа каминов.

Повышение энергоэффективности

Потребность EAF в энергии (электрическое напряжение) значительно возросла с 1995 г., результатом чего все большее распределение электрических сетей, что предполагает потери электроэнергии. Поступление электроэнергии является важным действующим инструментом. Повышение поставок энергии с помощью эффективных электронных систем повышает повысить производительность и снизить общее потребление энергии. Было достигнуто удельное потребление электроэнергии в 360 кВт-ч/т в случае печи на постоянном токе мощностью 100 МВт компании ArcelorMittal в г. Эш-Белваль, Люксембург. Для дуговых печей, работающих на переменном токе, в одном исследовании было продемонстрировано, что повышение поставок энергии может привести к выигрышу в производительности примерно на 7% и соответствующему выигрышу в энергоэффективности [252].

Компьютеризированное управление технологическим процессом и автоматизация

Компьютеризированное управление в секторе EAF стало необходимым, и оно стало повсеместно использоваться примерно с 1982 г., так как высокие температуры требуют эффективных систем контроля для управления потоками материалов и данных, связанных с выбором сырьевых материалов. Эффективные системы контроля, в частности, дают возможность оптимизации потребления энергии в печь и повышения производительности, а также снижения выбросов пыли [86], [312].

Достижимые экологические выгоды

Достижимыми экологическими выгодами являются выгоды, упомянутые выше в описании.

Взаимодействия между средами

Кислородотопливные горелки повышают образование отходящих газов, но, с другой стороны, снижается общее потребление энергии.

Водоохлаждаемые боковые стенки и свод вызывают дополнительное потребление энергии в размере около 10-20 кВт-ч/т, но это может быть компенсировано преимуществами в области коэффициента использования оборудования и обслуживания. Водоохлаждаемые боковые стенки и свод, среди прочего, дают возможности применения современных технологий, типа печей сверхвысокой мощности.

Не представлены эксплуатационные данные, о экономике.

Применимость

Описанные меры применимы как для новых, так и существующих печей, но их надо проверять в каждом конкретном случае.

Мотивация для внедрения

Высокая рыночная конкурентоспособность и необходимость в повышении производительности/снижении затрат вызывают внедрение описанных технологий.

Пример установок

Многие печи в странах ЕС работают с описанными технологиями в оптимальных условиях.

Справочная литература: [16], [252], [260], [273], [312].

8.3.2 Предварительный подогрев лома

Использование физического тепла отходящих газов (приблизительно 140 кВт-ч/т жидкой стали) было разработано в последние 40 лет, и в настоящее время оно стало признанным средством в снижении общего потребления энергии при работе EAF. Один вариант состоит в использовании физического тепла для подогрева лома. Лом можно подогревать приблизительно до 800 – 1000оС с использованием периодических систем и до 300 – 400оС при использовании непрерывных систем перед процессом плавления в EAF, что снижает общее потребление энергии на 100 кВт-ч/т жидкой стали.

Такой подогрев выполняется либо в мульде или в загрузочной шахте (шахтной печи), являющейся добавкой к EAF, или в специально спроектированной системе транспортирования лома, позволяющей непрерывную загрузку в течение процесса плавления. В некоторых случаях даже дополнительная топливная энергия добавляется в процессе подогрева [373].

Шахтная технология разрабатывалась постепенно. В 1988 г. компания Fuchs Systemtechnik GmbH, в настоящее время SIEMENS VAI Metals Technologies, стала разрабатываться для преодоления недостатков промежуточных подогревателей лома, и она была выбрана для непосредственной загрузки лома в шахту, которая была установлена на своде новой EAF. При наличии одной шахтной печи можно подогревать 100% лома [125].

Дальнейшей модификацией стала печь с двойной шахтой, которая состоит из двух идентичных шахтных печей (схема с двумя корпусами), которые располагаются рядом друг с другом, и они обслуживаются с помощью одного набора электрододержателей. Лом частично подогревается отходящими газами, а частично горелками в боковых стенках.

Очень эффективной конструкцией шахтной печи является шахтная печь с удерживающими пальцами, которая позволяет осуществлять подогрев 100% лома [162]. Первая корзина с ломом подогревается в течение рафинирования предыдущей плавки, а вторая в течение плавления первой корзины. В 1994 г. первая шахтная печь с удерживающими пальцами была пущена в эксплуатацию в Монтерее, Мексика. С помощью использования отходящих газов печи в течение цикла нагрева лом можно подогревать приблизительно до 1000°C перед начальным плавлением в корпусе печи. Это означает значительную экономию энергии и затрат при существенном снижении времени от плавки до плавки. Четвертое поколение технологии шахтного подогрева SIEMENS VAI было установлено в январе 2008 г. на заводе швейцарской компании Stahl Gerlafingen с более эффективной системой загрузки в шахту в дополнение к улучшению подогрева лома. Средняя дополнительная экономия энергии для этой системы находится в диапазоне 10 кВт-ч на тонну жидкой стали.

Все имеющие место выбросы от систем подогрева лома могут сжигаться в отдельной камере сгорания, установленной дополнительно.

С 2000 г. непрерывный подогрев лома и загрузка стал очень популярным, например, системы CONSTEEL (см. рис. 8.15) [84]. Лом загружается с помощью кранов на специальную конвейерную ленту. В секции подогрева лому передается тепло отходящих газов, покидающих печь. Подача лома корректируется для подводимой мощности к EAF. Загрузка плавится при погружении в ванну жидкого металла, нагреваясь за счет энергии, поступающей от электрических дуг и от химических реакций, происходящих в расплаве, в отличие от обычной загрузки сверху в EAF, когда расплав получает непосредственное тепло от электрических дуг. Ванна всегда покрыта вспененным шлаком, который постоянно образуется с помощью контролируемого вдувания углерода и кислорода.

Еще один недавно разработанный непрерывный процесс подогрева подаваемого лома, это технология COSS (см. табл. 8.15) [364].



Рисунок 8.15: Схема процесса CONSTELL [84]

Достигаемые экологические выгоды

С шахтными печами можно достичь очень высоких температур подогрева лома (до 800 – 1000°C). С помощью описанных технологий для подогрева лома можно сэкономить 70 – 100 кВт·ч/т жидкой стали, что составляет 10 – 25% от общего поступления электроэнергии. При расчете на основе первичной энергии экономия может быть выше при учете эффективности поставляемой энергии. Кроме того, два решения для подогрева лома снижают время от плавки до плавки, так как необходимо меньше энергии для загрузки и снижается простой при периодической загрузки.

В сочетании с передовыми методами очистки отходящих газов подогрев лома играет значительную роль в оптимизации выплавки стали в электро-дуговых печах, относящейся не только к производительности, но и к минимизации выбросов.

Как побочный эффект, подогрев лома снижает выбросы неочищенной пыли примерно на 20%, поскольку отходящие газы должны проходить через лом, который действует как фильтр. Это снижение коррелирует с ростом содержания цинка в пыли, что способствует рециклингу.

При наличии систем непрерывной подачи лом можно подогревать до средней температуры 300°C; таким образом, эффективность печи возрастает, а потребление энергии снижается. Но непрерывная подача имеет некоторые дополнительные преимущества, включая низкие шумовые выбросы.

Считается, что все CO и H₂ образуются в процессе плавления, и они сжигаются с образованием CO₂ и H₂O при подогреве. Непрерывность процесса позволяет достичь стабильной температуры отходящих газов от 800 до 1000°C, при избытке кислорода 8 – 10%, что позволяет достичь полного разрушения PCDD/F. При условии, что отходящие газы будут быстро охлаждаться ниже 200 – 250°C, риск образования PCDD/F в процессе ново-синтеза значительно снижается.

Тем не менее, опыт, по крайней мере, от двух установок непрерывной загрузки продемонстрировал высокие концентрации выбросов PCDD/F, значительно

превышающие значение $0,1 \text{ нг I-TEQ/нм}^3$ [67]. Это означает, что могут потребоваться дополнительные меры для снижения концентрации PCDD/F, с целью снижения их ниже $0,1 \text{ нг I-TEQ/нм}^3$ также и для технологий непрерывной загрузки от случая к случаю. В табл. 8.14 показаны результаты непрерывных измерений загрязнения от одной установки за восемь лет работы.

ТАБЛИЦА 8.14: ИЗМЕРЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ОДНОЙ УСТАНОВКИ В ТЕЧЕНИЕ 8 ЛЕТ ЭКСПЛУАТАЦИИ [84]

Параметр	Единицы	1999 - 2007
Расход отходящих газов	нм ³ /ч	750000 - 800000
CO	мг/нм ³	142 - 400
NO _x	мг/нм ³	5 - 50
PCDD/F	нг I-TEQ/ нму	0,05 - 0,20
Пыль (PM10)	мг/нм ³	0,40 - 0,86

На электродуговой печи в г. Му-и-Рана (Норвегия) в 2008 г. была внедрена система CONSTEEL. Для снижения выбросов пыли, диоксинов и ртути после рукавного фильтра был установлен угольный фильтр. До и после установки системы были проведены измерения, которые показали, что выбросы диоксинов и ртути были снижены более чем на 90%.

Взаимодействия между средами

Подогрев лома выглядит очень привлекательно с точки зрения управления энергией. Но подогрев лома может привести к имеющему значению образованию органических загрязняющих веществ вследствие возможного наличия органических веществ в ломе. Вследствие характерных для процесса низких температур в грудке лома, органические составляющие, налипшие к лому, такие как масла и жиры, только испаряются, но не подвергаются термической деструкции; результатом является образование летучих хлорированных углеводородных соединений и прекурсоров PCDD/F [367].

Как упоминалось ранее, выбросы ароматических или органогалогенных соединений, таких как полихлорированные дибензо-п-диоксины и фураны (PCDD/F), хлорбензолы, полихлорированные бифенилы (PCB), а также полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и другие частично сгоревшие соединения могут появляться от лома, загрязненного красками, пластмассами, смазочными средствами или другими органическими соединениями. В одной дуговой печи с подогревом лома были измерены концентрации диоксинов на уровне до $9,2 \text{ нг I-TEQ/нм}^3$.

Эти выбросы можно минимизировать с помощью дожигания отходящих газов в специально сконструированной камере дожигания с горелками на ископаемом топливе. Вследствие высокой температуры, достигаемой для разрушения стойких органических загрязнителей (СОЗ), которые находятся в отходящих газах, количество требуемой энергии будет значительным, и это порядок величины, равный величине энергии, сэкономленной при подогреве лома.

Эксплуатационные данные

В таблице 8,15 показаны некоторые эксплуатационные данные для некоторых систем подогрева лома, применяемых для EAF.

ТАБЛИЦА 8.15: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РЯДА СИСТЕМ ПОДОГРЕВА ЛОМА, ПРИМЕНЯЕМЫХ В EAF [58], [364]

Особенности	Единица	Consteel 1	Consteel 2	Consteel 3		Fusch-Coss	SIMETAL 1		SI-MET-AL 2
Тип печи		DC	AC	AC			AC		DC
Вес плавки	т жидкой стали	109	187	73		120	126±5		80
Мощность трансформатора	MVA	90	130	50		100	85		56
Состав шихты		100% лома	80% лома 15% чугуна в чушках	80% лома 20% чугуна в чушках	80% лома 20% жидкого чугуна	100% лома (1)	100% лома	80% лома 20% чугуна в чушках	100% лома (1)
Температуры выпуска	°C	1650	1630	1600		NA	1620	1675	1630
Средняя мощность	MВт	55	82	37	33	NA	57	63	35
Добавки	кг/т жидкой стали	26	32	41	60	58	50	48	NA
Время работы под током	мин	41	50	43	35	40	40	30	38
Время отключения	мин	8	15	7	7	NA	10	17	12
Потребление электроэнергии	кВт-ч/т жидкой стали	343	365	362	265	100	300	248	278
Потребление кислорода	нм3/т жидкой стали	35,5	33	34	35	38	34	37	44
Расход электродов	кг/т жидкой стали	0,8	0,9	1,4	1,2	1,2	1,3	1,1	0,8
Эффективность подогрева лома									
Температура скрапа после подогрева	°C	200 – 300				300-400	800 - 1000		
Эффективность подогрева лома	кВт-ч/т жидкой стали	15				NA	80 – 100		

(1) Может быть достигнуто теоретически. Установка Coss работает с применением 60% лома и 40% жидкого чугуна

NA = нет данных

Применимость

Процесс CONSTEEL применим как к новым, так и к существующим печам. На существующих печах местные условия, связанные с наличием места и

ограничениями для установки конвейера и размещением склада металлолома, должны быть рассмотрены, поскольку иногда они мешают использованию такого метода. Системы подогрева лома не требуют специально рассортированного по величине лома больше, чем в случае обычных EAF. Земляные работы на складах металлолома эквиваленты тем работам, которые проводятся на печах, работающих с корзинами для лома.

Экономика

В случае электродуговой печи с печью шахтного типа с удерживающими пальцами достигается промежуток времени от плавки до плавки порядка 35 мин, что примерно на 10-15 мин короче, по сравнению с EAF без эффективного подогрева лома. Это позволяет достичь очень коротких сроков окупаемости затрат, которые составляют порядка года.

Как пример, для нового электросталеплавильного цеха, производящего около 1 млн. т стали в год, внедрение системы CONSTEEL обычно составляет около 10-15% от общих инвестиций.

Затраты на модернизацию находятся в диапазоне от 5 до 10 млн. евро и изменяются в соответствии с размером печи, планировкой и степенью требуемой модификации.

Общая достигаемая экономия затрат с применением процесса CONSTEEL для сталеплавильного цеха с производительностью 1 млн. т в год составляет около 9,5 евро/т жидкой стали.

Мотивация для внедрения

Основной движущей силой является повышение производительности, в сочетании с достижением повышения садки и снижением затрат на перепрофилирование, а также со снижением воздействия на окружающую среду. В некоторых случаях подогрев лома с помощью шахтной печи с удерживающими пальцами был внедрен в сочетании с современной системой очистки отходящих газов.

Еще одной важной движущей силой является снижение нарушений электрического режима на печах, где поставки электроэнергии из сети являются проблемой.

Пример установок

- Двухкорпусная шахтная печь с интегрированным подогревом в шахте: компания ASW в г. Монтро, Франция
- Две шахтные печи с удерживающими пальцами и одна шахтная печь, г. Чжанцзяган, Китайская народная республика
- Три шахтные печи с удерживающими пальцами на заводе Северсталь, Россия
- Две шахтные печи с удерживающими пальцами в г. Алиага, Турция
- Шахтная печь с удерживающими пальцами компании Stahl Gerlafingen, Швейцария
- Шахтная печь с удерживающими пальцами компании SUEZ Steel, Египет
- Установка CONSTEEL компании TSW, г. Трир, Германия
- Установка CONSTEEL компании Celsa, г. Му-и-Рана, Норвегия

- Установка CONSTEEL компании ORI Martin, Брешиа, Италия
- Установка CONSTEEL компании Acciaierie Arvedi, Кремона, Италия
- Установка CONSTEEL компании Sovel Hellenic Steel Company, Греция

В январе 2009 г. во всем мире эксплуатировались 31 шахтных печей и 35 непрерывно работающих систем CONSTEEL, включая установки, находящиеся в стадии строительства.

На рис. 8.16 показано количество установленных шахтных печей, систем CONSTEEL и ESC (система испарительного охлаждения) в период с 1988 по 2009 г.

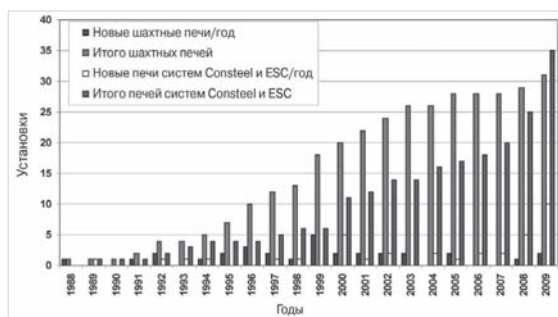


Рисунок 8.16: Количество установок для подогрева лома в EAF [364]

Справочная литература: [54], [84], [91], [94], [125], [162], [208], [260], [273], [287], [364], [367], [373], [388]

8.3.3 Снижение выбросов пыли от переработки шлака

Если шлак собирается в шлаковом ковше с EAF, его нужно разливать в наружные бассейны для шлака для отвердевания. Охлаждение шлака можно интенсифицировать с помощью распыления воды, с появлением дыма.

Если шлак разливается на пол разливочного пролета, он подвергается предварительному дроблению после отвердевания и с использованием экскаваторов или ковшовых погрузчиков перемещается на внешнюю площадку для хранения.

Спустя некоторый период времени шлак перерабатывается в устройствах для дробления и грохочения, для того чтобы он имел желаемую консистенцию для отделения металла от шлака и для его дальнейшего использования в строительстве. При дроблении шлака и утилизации металла могут происходить выбросы пыли.

Для минимизации выбросов пыли устройства для дробления и грохочения могут быть закрыты и оснащены вытяжкой. Выбросы от дробления и грохочения впоследствии очищаются с помощью рукавного фильтра. Конвейерная лента должна быть закрыта, пункты перевалки должны увлажняться. Если переработанный шлак подвергается хранению, партии шлака должны увлажняться. В течение загрузки дробленого шлака водяной туман может использоваться для минимизации выбросов пыли [85], [260], [273], [373].

Достигаемые экологические выгоды

С использованием этой технологии может быть достигнута остаточная концентрация пыли $<10\text{--}20$ мг/м³.

Данные не представлены о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, экономике.

Мотивация для внедрения

Основная мотивация – снижение выбросов твердых частиц.

Примеры установок

BSW, г. Кель, Германия

Georgsmarienhütte, г. Оснабрюк, Германия

Lech-Stahlwerke (LSW), г. Меттинген, Германия.

Справочная литература: [85].

8.3.4 Современные системы отводы пыли

Первичные и вторичные выбросы в воздух имеют особое значение (см. п. 8.2.2.1). Как первичные, так и вторичные выбросы должны отводиться в максимальной степени, предпочтительно у источника происхождения, а затем очищаться. Сочетание 4-го отверстия (в случае трех электродов, например для печей на переменном токе) или 2-го отверстия (в случае одного отверстия, например, для печи на постоянном токе), непосредственного отвода с системами вытяжного зонта (или закрытий печи) или общего удаления из здания являются предпочтительными системами.

С 4-м или 2-м отверстием (см. рис. 8.7) первичные выбросы, образующиеся в течение периодов плавления и рафинирования, могут отводиться почти полностью. Этот тип технологии непосредственного отвода является современным уровнем развития современного электросталеплавильного производства для отвода первичных выбросов. Он может также применяться для агрегатов внепечной обработки стали.

В системе с вытяжным зонтом (см. рис. 8.7) один или более камин над печью косвенно отводит дым, удаляемый из печи в течение стадий загрузки, плавления, скачивания шлака и выпуска плавки (до 90% первичных выбросов, а также вторичных выбросов [22]). Системы каминов обычно используются в электросталеплавильном производстве. В сочетании с системами непосредственного отвода эффективность удаления первичных выбросов, а также вторичных выбросов возрастает до 98%. Камин также устанавливается для отвода выбросов, возникающих при работе агрегатов внепечной обработки стали, бункеров и конвейерных лент.

Обвязка кожуха печи, которая называется также шумопылезащитными кожухами (см. рис. 8.7), обычно герметизирует печь, ее поворачивающийся свод, а также оставляет некоторую часть рабочего пространства перед рабочим окном. Обычно отходящие газы отводятся вблизи верхней части одной из стен обвязки и подхватывают воздух, поступающий через отверстия в районе пода печи [36]. Более сложные стадии управления, вызывающие потерю времени и, возможно,

большие инвестиции (например, необходимость дополнительного отверстия в рабочем окне и механизмов закрытия для загрузки и удаления металла и шлака из печи) являются недостатком такого типа технологии отвода. Уровни вытяжки шумопылезащитных кожухов сходны или обычно немного выше, чем в случае дополнительного камина в сочетании с отверстием. Положительное воздействие обвязки печи состоит в снижении уровня шума, если она выполнена надлежащим образом. Подавление уровня шума на EAF с помощью шумозащитных ограждений может снизить средний уровень звукового давления на 10 – 20 дБ (А) [79]. Обвязка кожуха печи может также применяться при процессах внепечной обработки стали [22], но необходима обработка стенок цеха для исключения реверберации звука.

Еще один способ отвода вторичных выбросов от печи и других установок состоит в полной обвязке всех установок в одном здании в герметическом исполнении.

Строительство таких зданий и дополнительно требующиеся крупные установки для пылеудаления для достижения полного обеспыливания вызывает значительные затраты у операторов. По этой причине необходимо тщательно оценить затраты и результаты для каждого конкретного случая перед выбором варианта. Положительное воздействие этой меры состоит в снижении уровня шума, проникающего за пределы здания. Обычно давление в здании в герметическом исполнении находится ниже атмосферного давления для предотвращения выбросов дыма через случайные оконные отверстия.

Для высокого уровня отвода должен быть обеспечен достаточный объем удаления. В зависимости от системы отвода объемы удаления часто находятся в диапазоне от 0,6 до 1,2 млн. м³/ч.

Достигаемые экологические выгоды

Часто применяется сочетание непосредственного отвода дыма и системы камина. Такое сочетание позволяет достичь степени отвода около 98% от первичных выбросов. Кроме того, можно отвести также значительную долю выбросов при загрузке и выпуске плавки (вторичные выбросы), хотя это зависит от типа и количества каминов [22]. Сочетание устройства для непосредственного отвода и обвязки кожуха печи может позволить достичь даже уровней отвода от 97 до 100% от общих выбросов пыли [57]. При общем отсосе из здания также достигается отвод 100% выбросов.

В одном случае система отвода выбросов была заново сконструирована и оптимизирована. Сюда можно включить повышение объема отработанных газов с 630 тыс. до 1,25 млн. нм³/ч, новую облицовку крыш сталеплавильного цеха, обновление газохода отходящих газов от печи и дополнительный рукавный фильтр, три вентилятора и новая дымовая труба.

Сравнение выбросов пыли от дымовых труб сталеплавильных цехов до и после модернизации приведено в табл. 8.16.

ТАБЛИЦА 8.16: СРАВНЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПЫЛИ ОТ ДЫМОВЫХ ТРУБ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЗАВОДОВ ДО И ПОСЛЕ МОДЕРНИЗАЦИИ (ОДИН ЗАВОД В ГЕРМАНИИ) [355]

Параметр	Измеренные значения	
	Концентрация	Массовый расход
Выбросы пыли от дымовых труб сталеплавильного завода, среднесуточные значения до августа 2006 г.	4,5 – 5 мг/м ³	3,25 кг/ч
Выбросы пыли от дымовых труб сталеплавильного завода, среднесуточные значения с сентября 2006 г.	0,35 мг/м ³	0,44 кг/ч
Достигаемое улучшение после модернизации	93%	87%

Эта мера позволила также существенно улучшить рабочие условия и снизить рассеянные выбросы пыли с помощью крышных вентиляторов с 6,35 мг/м³ до 2,5 мг/м³, что соответствует снижению выбросов приблизительно на 60% [355].

Взаимодействия между средами

Для систем отвода выбросов требуется энергия, особенно для вентиляторов. Не приведены эксплуатационные данные, о экономике.

Применимость

Эта технология применима как для новых, так и для существующих заводов.

Мотивация для внедрения

Основной мотивацией является снижение выбросов твердых частиц.

Пример установок

Многие заводы в Европе имеют сочетание непосредственного отвода отходящих газов и каминов.

Следующие немецкие заводы оснащены только шумопылезащитными кожухами или сочетанием шумопылезащитного кожуха и непосредственным отводом из отверстия: завод компании Benteler AG в г. Линген; завод компании ThyssenKrupp Nirosta в г. Бохум, той же компании в г. Крефельд, компании Mannesmannrohr GmbH в г. Бус (Саар), компании TSW в г. Трир, компании Stahlwerke Th ringen GmbH в г. Унтервелленборн, завод компании Elbe und Stahlwerke Feralpi в г. Риеса.

Система с полным отсосом из здания компании ArcelorMittal в г. Дифланж, Люксембург.

Справочная литература: [16], [22], [57], [208], [366], [373]

8.3.5 Современные технологии очистки первичных и вторичных выбросов в воздух от электродуговых печей

8.3.5.1 Снижение запыленности с помощью рукавного фильтра и электростатических пылеуловителей

Технологии очистки для первичных и вторичных выбросов в воздух от EAF (например, концентрации PCDD/F в выбросах в воздух) относятся к общим первичным и вторичным выбросам.

Поэтому, если первичные и вторичные выбросы очищаются отдельно, концентрация, указываемая как достижимая, должна сравниваться со средневзвешенными концентрациями в первичных и вторичных выбросах; в обоих случаях измерение проводится после системы отвода пыли.

Вне всяких сомнений, самой распространенной технологией очистки от пыли при работе электродуговых печей (ЕАФ) является рукавный фильтр, который в особенности годится для очистки от пыли, которая образуется при работе ЕАФ. Рукавные фильтры являются очень эффективными при улавливании всех твердых частиц, связанных с загрязняющими веществами, например, тяжелыми металлами, а также хлорорганическими загрязнителями, такими как PCDD/F, особенно при использовании адсорбирующих агентов (см. п. 8.3.5.3).

Поток отходящих газов первичных и вторичных выбросов зависит от систем удаления. Отсасываемые объемы часто находятся в диапазоне от 0,6 до 1,4 млн. м³/ч. Для крупных рукавных фильтров, которые обычно требуются в электроплавильных цехах, выбирается конструкция с трубчатыми фильтрующими элементами около 6 м длиной и около 200 мм диаметром. Очень важным конструктивным параметром для рукавных фильтров является удельная нагрузка воздуха на ткань, которая в случае электросталеплавильного производства часто бывает от 1 до 1,3 (м³/мин/м²).

Типичным фильтрующим материалом для применения в ЕАФ является искробезопасный полиэфир или политетрафторэтилен с покрытием из искропробивного полотна. Однако важной проблемой для надежной работы рукавного фильтра является предотвращение попадания раскаленных частиц в фильтрующую среду, и, таким образом, прожигания отверстий в ней. Для этой цели часто устанавливаются искроуловители, такие как циклоны, в газоходах неочищенного газа.

Очистка ткани, т.е. периодическое удаление пыли, которая накапливается на поверхности ткани, выполняется либо с помощью механического встряхивания, либо непрерывно, полностью в автоматизированном режиме системой с пульсирующей струей (сжатого воздуха), и это означает, что поток отходящих газов продолжает проходить в течение очистки. Спекшиеся куски пыли, падающие из рукавных фильтров, собираются в бункеры для пыли ниже рукавных фильтров и удаляются из фильтра конвейерной системой.

На небольшом количестве печей используются электрофильтры с несколько худшими характеристиками по эффективности очистки.

Достигаемые экологические выгоды

На рис. 8.17 показан характер выбросов пыли с одной ЕАФ в течение трех лет (2004 – 2006 гг.) Данные показывают, что при хорошо спроектированных и хорошо эксплуатируемых рукавных фильтрах достижимы среднегодовые значения по выбросам пыли в 1 мг/нм³. Хорошо спроектированные и хорошо обслуживаемые рукавные фильтры имеют остаточные выбросы меньше 5 мг/нм³ (среднесуточные).

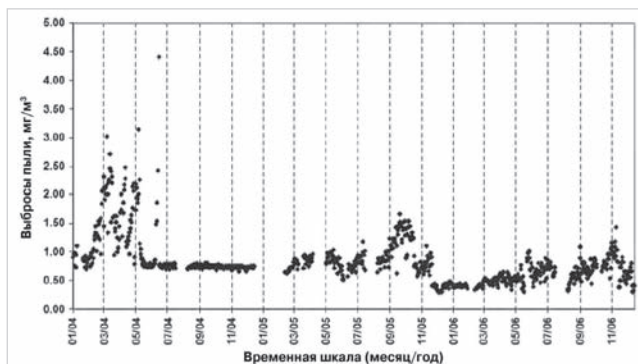


Рисунок 8.17: Среднесуточные выбросы пыли от EAF за три года [366]

Подробные результаты непрерывного измерения пыли для трех упомянутых EAF за три года приведены в табл. 8.17.

ТАБЛИЦА 8.17: СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ ВЫБРОСЫ ПЫЛИ ОТ ТРЕХ EAF (2004 – 2006 ГГ.) [366]

Результаты измерений	EAF A	EAF B	EAF C	Единица
Среднее	0,84	0,85	0,53	мг/нмЗ
Стандартное отклонение	0,47	0,40	0,58	мг/нмЗ
Минимум	0,30	0,05	0,01	мг/нмЗ
Максимум	7,82	4,35	7,36	мг/нмЗ
Число значений	902	716	1054	

В табл. 8.18 показаны результаты семи измерений концентрации пыли и тяжелых металлов, проведенных в Германии и Австрии и двух в Нидерландах

ТАБЛИЦА 8.18: КОНЦЕНТРАЦИИ ОСТАТОЧНОЙ ПЫЛИ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ОТ ДЕВЯТИ EAF ПОСЛЕ ОЧИСТКИ [19], [244], [277], [355]

Параметр		Рукавный фильтр	Электрофильтр (1)	Единица
Пыль		0,35 – 3,4	1,8	мг/нмЗ
Металлы	Hg	0,001 – 0,019		мг/нмЗ
	ΣSb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, V, Se, Te, Ni, Co, Sn	0,006 – 0,022	<0,0003	мг/нмЗ
	Cr (исключая Cr(VI))	0,013	0,01 – 0,07	мг/нмЗ
	Mn	0,036		мг/нмЗ
	Ni	0,003		мг/нмЗ

(1) Электрофильтр применяется при выплавке нержавеющей стали

Значения являются среднегодовыми и относятся к централизованной системе пылеудаления

Взаимодействия между средами

Рукавные фильтры улавливают в основном пыль, включая тяжелые металлы, которые находятся как твердые частицы при температуре фильтрования, а также органические вещества, которые адсорбируются на пыли, вместе с PCDD/F. Рукавные фильтры играют важнейшую роль в очистке от PCDD/F, как описано в п.п. 8.3.5.2 и 8.3.5.3.

Эксплуатационные данные

Повышенные выбросы могут происходить, например, когда части рукавных фильтров будут повреждены. Этого можно избежать с помощью надлежащей эксплуатации, которая заключается в непрерывном мониторинге выбросов пыли и последующей замене всех поврежденных фильтров. Хорошая конструкция означает хорошо подогнанные по размерам камеры рукавных фильтров, благодаря чему минимизируется механический износ, наличие искрогасителей и контроль температуры, а также детектирование избыточного накопления пыли.

Имеются различные типы тканей, используемых для изготовления рукавных фильтров. Некоторые допускают температуры 125 – 130оС, другие могут использоваться при температурах до 250оС. Ткани, которые годятся для низкотемпературной фильтрации, отличаются повышенной эффективностью очистки. Поток отходящих газов должен охлаждаться до подходящей температуры. Это часто делается с помощью смешивания первичного и вторичного потоков. Если в итоге температура все еще будет высокой, и в случае отдельной очистки первичного и вторичного потоков, необходимо установить устройство для дополнительного охлаждения в потоке первичных отходящих газов.

Потребление электроэнергии составляет приблизительно 20 – 28 кВт·ч/т жидкой стали для рукавных фильтров и системы полной вытяжки из здания.

Применимость

Очистка отходящих газов с помощью рукавных фильтров применима для новых и старых электросталеплавильных цехов.

Данные не передавались о экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

Большинство европейских сталеплавильных цехов использует рукавные фильтры для очистки от пыли.

Примеры упомянутой технологии приведены в табл. 8.19.

ТАБЛИЦА 8.19: ПРИМЕР УСТАНОВОК, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ [208], [277], [360], [366], [355]

Пример заводов	Описание
Люксембург	Три цеха с EAF
Böhler Edelstahl, г. Капфенберг, Австрия	Выплавка высоколегированной стали с общей производительностью 180000 т/год. В цехе имеется дуговая печь с садкой 50 т, системой внепечной обработки стали с конвертером AOD и специальной установкой для вакуумной обработки и переплавки. Для первичного пылеудаления основные источники выбросов (EAF и конвертер AOD). Отходящие газы отводятся от обоих источников выбросов и очищаются с помощью рукавного фильтра. Расход отходящих газов около 900000 нм ³ /ч
Marienhütte, г. Грац, Австрия	Производство около 365000 т/год углеродистой стали, из которой получают сортовую сталь и армированную сталь. Печь с садкой 35 т. В течение процесса плавления первичные выбросы отводятся из 4-го отверстия. Вторичные выбросы отводятся через зонт. Первичные и вторичные выбросы проходят через камеру смешения и очищаются вместе в рукавном фильтре. Общий расход отходящих газов около 1 млн. нм ³ /ч

Пример заводов	Описание
Elbe Stahlwerke Feralpi, г. Риеса, Германия	Объем отходящих газов около 1,25 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$; площадь фильтрующего материала в элементах фильтра 19270 м^2
BSW, г. Кель, Германия	Объем отходящих газов около 1,8 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$; площадь фильтрующего материала в элементах фильтра 38000 м^2 .
Ovako, г. Иматра, Финляндия	Объем отходящих газов около 0,62 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$; площадь фильтрующего материала в элементах фильтра 9400 м^2 . Фильтрующий материал – политетрафторэтилен с покрытием, очистка фильтра с помощью системы импульсной очистки и непрерывным мониторингом с помощью системы SINTRON ^{®1} и системы оптического измерения SICK [®]

Справочная литература: [140], [208], [244], [277], [355], [366], [367], [375], [388]

8.3.5.2 Снижение выбросов PCDD/F с помощью дожигания и закалки в сочетании с рукавным фильтром

Дожигание в камере сгорания предназначено главным образом для полного сжигания СО и Н₂, остающихся в отходящих газах, для предотвращения неконтролируемых реакций в оборудовании для очистки газов.

Во вторую очередь, это дожигание, когда оно хорошо оптимизировано (т.е. когда температура и время пребывания являются адекватными), снижает выбросы органических и хлорорганических соединений, таких как ПАХ, РСВ или PCDD/F. Дожигание с дополнительной целью минимизации микро количеств органических загрязнителей требует адекватного времени пребывания, степени турбулентности и температуры (принцип 3 Т). Тепло, образующееся при сжигании, обычно не утилизируется, если только утилизация невозможна с охлаждающей водой.

Для предотвращения ново синтеза PCDD/F важно обеспечить быстрое охлаждение (закалку) отходящих газов (как можно быстрее) после дожигания. В некоторых случаях этого можно достичь с помощью впрыска воды в охлаждающей башне. На рис. 8.18 представлено дожигание первичных отходящих газов от EAF с последующим быстрым охлаждением.

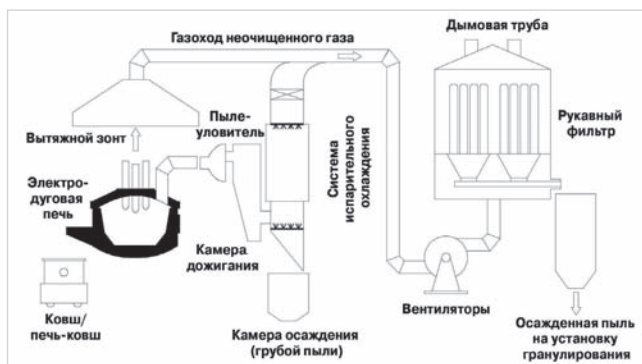


Рисунок 8.18: Дожигание основных отходящих газов от EAF с последующим быстрым охлаждением [16]

Достигаемые экологические выгоды

На рис. 8.19 показаны концентрации PCDD/F, измеренные на двух EAF с дожиганием и быстрым охлаждением, которые находились в диапазоне от 0,102 до 0,7 нг I-TEQ/нм³. Основными причинами наблюдаемого отсутствия надежности этой технологии являются:

- недостаточный уровень температуры, достигаемый в камере дожигания в течение первых нескольких минут процесса плавления в EAF, именно в то время, когда возможна самая высокая нагрузка по органическому загрязнению в печи;
- расстояние между камерой дожигания и охлаждающей башней в этом конкретном случае вследствие ситуации с реконструкцией было большим, и, таким образом, была длительная возможность прохождения ново синтеза. Расположение системы закалки рядом с камерой дожигания, вероятно, должно привести к намного лучшим результатам.

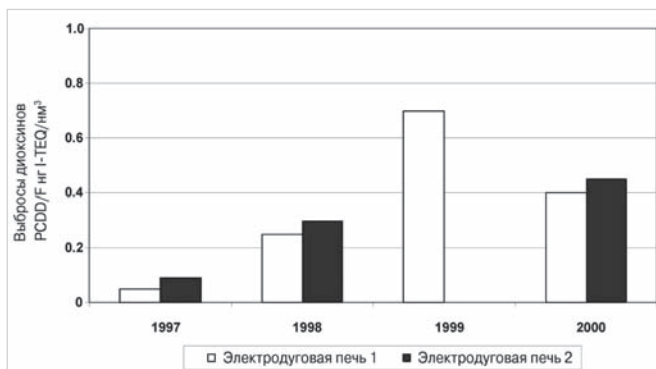


Рисунок 8.19: Среднегодовые концентрации диоксинов в выбросах от двух EAF с дожиганием и быстрым охлаждением (1997 – 2000 гг.) [375]

В табл. 8.20 приведены результаты измерений выбросов пыли, РАН и PCDD/F в Германии и Австрии.

ТАБЛИЦА 8.20: КОНЦЕНТРАЦИЯ ВЫБРОСОВ ПЫЛИ, РАН И PCDD/F ПОСЛЕ ОЧИСТКИ [244], [277], [355]

Параметр	Рукавный фильтр	Единица
Пыль	0,35 – 3,4	мг/нм ³
РАН	<0,00001	мг/нм ³
PCDD/F	0,0015 – 0,1 (1)	нг I-TEQ/нм ³

(1) Верхняя граница диапазона относится к измерениям, проведенным в 1997 г.

Представлены среднегодовые значения, и они относятся к централизованной системе пылеудаления

В РАН содержатся бенз-а-пирен и дибензо (а, h) антрацен.

В общем, при надлежащем дожигании с последующим быстрым охлаждением (при разбавлении воздухом или закалкой в воду) концентрации выбросов PCDD/F можно достичь меньше чем 0,1 нг I-TEQ/нм³. В некоторых случаях по вышеупомянутым причинам могут иметь место более высокие концентрации PCDD/F.

В приводимой табл. 8.21 показаны результаты для измерений пыли и PCDD/F от четырех EAF с дожиганием и быстрым охлаждением в Германии.

ТАБЛИЦА 8.21: ПОКАЗАТЕЛИ ПОСЛЕ ДОЖИГАНИЯ И БЫСТРОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ЧЕТЫРЕХ EAF ГЕРМАНИИ [16], [137], [177], [189]

ПЕЧИ													
	EAF 1		EAF 2			EAF 3		EAF 4 (1)					
Показатели													
Вес плавки (т)	105		138			85/85		150					
Подвод энергии (МВА)	106		96			57.68		135					
Удаление выбросов	4-е отверстие, камин		4-е отверстие, камин			4-е отверстие, камин		4-е отверстие (первичное), шумопылезащитный кожух (вторичное)					
Дожигание	Камера дожигания		Камера дожигания (с пылью)			Камера дожигания (воздух)		Камера дожигания в газоходе					
Охлаждение отходящих газов	Впрыск воды		Очистка воды после охлаждения			Система охлаждения распылением (закалка)		Водоохлаждаемый теплообменник					
Система очистки отходящих газов	Рукавный фильтр		Электрофильтр			Рукавный фильтр		Рукавные фильтры					
Количество измерений в печи	1	2	1	2	3	1	2	1	2	3	1	2	3
Концентрации газа (2)													
Пыль в неочищенном газе (первичная)	3398	14246	4200	12500	3600								
Пыль в неочищенном газе (вторичная)	148	273	Первичная и вторичная вместе										
Пыль в чистом газе (первичная)	0,76	1,05	15	15	18	1,45	1,1	<1,1					

ПЕЧИ													
	EAF 1		EAF 2			EAF 3		EAF 4 (1)					
Пыль в чистом газе (вторичная)	Среднее (3)		Среднее (3)			Среднее (3)		0,54(4) 1,8 (4)					
PCDD/F (первичные)								0,09	0,047	0,084	0,022	0,02	0,08
PCDD/F (вторичные)									0,025 0,015	0,043 0,024	0,009 0,08	0,013 0,04	0,013 0,08
PCDD/F (смесь)	0,016	0,021	0,01										

(1) Измерения проведены в 2008 г. (2) Концентрации неочищенного и очищенного газа в мг/нм³, концентрации PCDD/F в нг I-TEQ/нм³ (3) Среднее измерений в двух точках (4) Два значения относятся к вторичному 1 и вторичному 2

Взаимодействия между средами

При сжигании с дополнительными горелками потребляется значительное количество энергии (порядка 30 кВт·ч/т). Так как отходящие газы должны подвергаться залке для предотвращения ново синтеза PCDD/F, энергия не может утилизироваться.

Эксплуатационные данные

Потребление воды для закалки может доходить до 40 т/ч.

Термическое сжигание перед закалкой можно провести с использованием горелок на природном газе в камерах сгорания.

Применимость

Установка для дожигания компании BSW в г. Кель, Германия, работает без существенных проблем.

В принципе, дожигание может применяться как для новых, так и для существующих цехов, но в существующих цехах следует проверить местные обстоятельства и возможности (например, имеющиеся площади, система удаления отходящих газов и т.д.) в каждом конкретном случае.

Экономика

Инвестиции на охлаждающую башню составили 1,2 млн. евро в 1997 г. Дополнительные экономические данные отсутствуют. Это более высокие инвестиции по сравнению с адсорбционным процессом (см. Раздел 8.3.5.3).

Мотивация для внедрения

Основной движущей силой для внедрения дожигания и последующего быстрого охлаждения являются проблемы защиты окружающей среды и здоровья населения, связанные со снижением выбросов PCDD/F.

Пример установок

Компания BSW, г. Кель, Германия, компания Salzgitter AG, г. Пайне, компания В.Е.S., г. Бранденбург, Германия, компания HSE Henningsdorfer Stahl Engineering GmbH, г. Хеннингсдорф, Германия, компания DEW, Германия, компания ArcelorMittal, г. Гамбург, Германия, компания Gerlafingen Stahl AG, Швейцария, компания ArcelorMittal, г. Дифферданж, Люксембург.

Справочная литература: [68], [73], [167], [366], [367], [373], [375].

8.3.5.3 Снижение выбросов PCDD/F с помощью адсорбирующих материалов в сочетании с рукавным фильтром

Для снижения содержания стойких органических загрязнителей (СОЗ), в особенности PCDD/F в отходящих газах (первичные и вторичные выбросы) можно дозировать введение адсорбентов (например, активированного угля, пылевидного активированного буроугольного кокса или их смесей с известью) в газоход перед системой газоочистки. Необходимое количество зависит от типа и размера адсорбента. Обычно это количество находится в диапазоне от 20 до 150 мг/нм³ отходящих газов. Размер частиц пылевидного активированного буроугольного кокса обычно находится в диапазоне от 0 до 0,4 мм, в среднем 0,63 мкм. После размола средний размер составляет 24 мкм, что приводит к снижению уровня дозировки. Используемые углеродсодержащие адсорбенты имеют средний размер частиц порядка 25 мкм.

Адсорбция проходит в течение трех стадий; сначала, когда поток адсорбента сталкивается с потоком неочищенного газа; затем обогащенный адсорбентом неочищенный газ направляется к устройству для фильтрации, и, наконец, (особенно при использовании рукавных фильтров) газовая фаза вступает во взаимодействие с покрытой слоем адсорбента пылью на фильтрующей среде [63].

Углерод, к которому адсорбируются молекулы PCDD/F, отделяется из газовой фазы вместе с пылью от EAF, содержащейся в неочищенном газе в последующих рукавных фильтрах.

На рис. 8.20 приведена схема вдувания адсорбента.

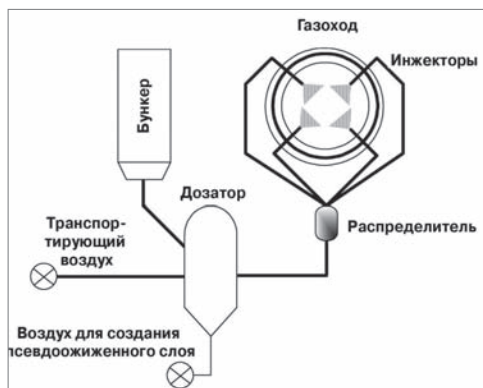


Рисунок 8.20: Схема вдувания адсорбента

Достигаемые экологические выгоды

Остаточные концентрации PCDD/F в выбросах в диапазоне 0,01 – 0,1 нг I-TEQ/нм³ являются достижимыми на практике. Некоторые расчеты с использованием коэффициентов, приведенных в п. 8.2.2.1 показывают, что эти значения выбросов соответствуют 0,01 – 0,14 нг ВОЗ-TEQ PCDD/F (включая диоксиноподобные PCB). Эффективность удаления достаточно стабильная и надежная.

Помимо адсорбции PCDD/F, активированный уголь и пылеобразный активированный буроугольный кокс показывают высокую эффективность отделения тяжелых металлов и некоторую эффективность в удалении ртути из газовой фазы. В табл. 8.22 показано снижение выбросов PCDD/F в результате вдувания пылеобразного активированного буроугольного кокса.

ТАБЛИЦА 8.22: СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ PCDD/F В РЕЗУЛЬТАТЕ ВДУВАНИЯ ПЫЛЕОБРАЗНОГО БУРОУГОЛЬНОГО КОКСА

Печь	Расход газа (1000 нм ³ /ч)	Добавка адсорбента из буроугольного кокса (кг/ч)	Концентрация выбросов PCDD/F без вдувания адсорбента (нг I-TEQ/нм ³)	Концентрация выбросов PCDD/F с вдуванием адсорбента (нг I-TEQ/нм ³)
A	750	100(1) 35(2) 25(2)	0,178 – 1,44	0,085 – 0,226 0,003 – 0,008 0,021 – 0,092
B	850	40(2)	0,072 – 0,722	0,007 – 0,032
C	770	50(2)	0,040 – 0,174	0,005 – 0,075
D	690	15(2)	<2,0	<0,05
E	840	20(2)		0,002 – 0,007
F	1250			0,015 – 0,04

(1) Буроугольный кокс стандартного качества; размер частиц 63 мкм (300 м²/г)

(2) Измельченный активированный буроугольный кокс; размер частиц 24 мкм (1200 м²/г)

Данные представлены за 1999 – 2004 гг.

58

В табл. 8.23 приведены результаты измерений концентрации диоксинов в соответствии с прогрессом в результате постепенной модернизации и оптимизации системы очистки EAF с помощью установки системы вдувания активированного угля в газоходе перед рукавным фильтром. Объем отходящих газов составляет порядка 1,25 млн. нм³/ч.

ТАБЛИЦА 8.23: ПРОГРЕСС В ОЧИСТКЕ ОТ PCDD/F ПОСЛЕ УСТАНОВКИ ВТОРОЙ СИСТЕМЫ ВДУВАНИЯ УГЛЯ [355]

	Концентрация выбросов PCDD/F
После пуска первой системы вдувания активированного угля	
Средняя концентрация на основе трех измерений в сентябре, октябре и ноябре 2006 г.	0,04 нг I-TEQ/нм ³
После пуска второй системы вдувания активированного угля	
Измерение 06 – 08 марта 2007 г.	0,015 нг I-TEQ/нм ³

Исследования показывают, что стойкие органические загрязнители, такие как PCDD/F, которые адсорбируются на активированном буроугольном коксе, необратимо связываются благодаря высокой силе химической связи и надежно разрушаются или каталитически разлагаются в течение термической обработки пыли.

Взаимодействия между средами

Количество энергии, необходимой для дозирования пылеобразного активированного буроугольного кокса, является незначительным. В пыли от фильтра содержится порошок буроугольного кока и слегка возросшее количество PCDD/F, но это не мешает обработке пыли для утилизации цветных металлов.

Эксплуатационные данные

Должно уделяться внимание конечному содержанию углерода в смеси пыли, удаляемой в рукавном фильтре. Для предотвращения риска воспламенения содержание углерода в пыли EAF должно оставаться ниже 4%.

В табл. 8.24 представлены характеристики различных адсорбентов и абсорбирующих материалов.

ТАБЛИЦА 8.24: ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ АДсорбЕНТОВ И абсорбирующих МАТЕРИАЛОВ

Адсорбция и абсорбирующие материалы		Размер зерен (мм)	Площадь поверхности BET(1) (м ² /г)	Осаждаемые загрязняющие вещества
Стандартный пылевидный активированный буроугольный кокс	Уголь	0,063	300 – 400	Органика, тяжелые металлы
Тонко измельченный пылевидный активированный буроугольный кокс	Уголь	0,024	1200	
Пылевидный активированный (древесный) уголь	Уголь		500 – 1600	
Цеолит	Z		4 - 90	

BET: Теория полимолекулярной адсорбции Бруннауэра, Эмметта и Теллера, которая позволяет определить физическую адсорбцию газовых молекул на твердой поверхности.

Использование активированного угля или буроугольного кокса различается по размеру зерен и эффективной площади адсорбирующей поверхности, и, следовательно, в количестве требуемого количества дувания. Активированный уголь имеет максимальную удельную открытую поверхность и демонстрирует очень хороший адсорбирующий эффект. Активированный буроугольный кокс является более выгодной экономической альтернативой, чем активированный уголь, а мелко измельченный буроугольный кокс с диаметром частиц 0,024 мм также демонстрирует очень хорошую адсорбционную эффективность, и это приводит к снижению в 2 раза необходимой дозировки по сравнению со стандартным буроугольным коксом [367]. Иногда должны добавляться инертные компоненты к двухфазному материалу на основе угля для предотвращения воспламенения.

Всесторонние исследования показали, что требуется только очень короткое время контакта для адсорбции PCDD/F на активированном буроугольном коксе. Однако эффективность очистки зависит от вероятности контакта между сорбентом и молекулой загрязняющего вещества. Распределение адсорбента в потоке отходящих газов играет здесь основную роль. Важным предварительным условием для достижения оптимальной эффективности очистки является наличие однородной и в то же самое время турбулентной смеси уже в месте инжекции, где происходит первая стадия сепарации загрязняющего вещества. Существенным фактором при выборе адсорбентов является оптимальное распределение радиуса пор для адсорбции молекулы загрязнителя.

Необходимы меры предосторожности для предотвращения попадания искр в рукавный фильтр, для того чтобы избежать возможного воспламенения, так как возрастание содержания углерода в улавливаемой пыли может повысить ее воспламеняемость. Риск взрыва был оценен как низкий. Защита от воспламенения и взрыва достигается с помощью сочетания превентивных мер (например, инертизация адсорбента, предотвращение попадания искр, ограничение количества адсорбента в пыли от фильтра). Применяемыми технологиями являются использование искровых детекторов, системы заполнения азота, контроль температуры в рукавном фильтре и детектирование накопления пыли в накопительном бункере рукавного фильтра. Спонтанные реакции воспламенения пыли от фильтра надежно предотвращаются с помощью постоянного устранения отложений больших объемов в секции установки, подвергаемой воздействию потоков горячего газа.

Низкие выбросы PCDD/F в очищенном газе достигаются при дозах адсорбента 25 – 35 мг/нм³, что иллюстрирует высокий адсорбирующий эффект бурого кокса.

Применимость

Технология применима как для новых, так и для существующих систем.

Экономика

Инвестиции для общего потока отходящих газов (первичных и вторичных отходящих газов) от EAF, производящей около 1 млн. т стали/год, составляют примерно 500 тыс. евро.

Мотивация для внедрения

Основными движущими силами для внедрения этой технологии для снижения выбросов PCDD/F являются соображения защиты окружающей среды и здоровья человека, а в случае завода компании Feralpi в г. Риеса, Германия, это и повышение производительности.

Пример установок

Технология была внедрена в нескольких европейских электросталеплавильных цехах с 1997 г.

Компания ArcelorMittal на трех заводах в Люксембурге, компания Swiss Steel на заводах Швейцарии и Германии и ряд других компаний внедрили технологию в Германии и Бельгии.

Справочная литература: [260], [277], [355], [366], [367], [368], [373], [375].

8.3.5 Очистка сточных вод от непрерывной разливки

Вода используется в машинах непрерывного литья для непосредственного охлаждения слабов, блюмсов и заготовок. Поэтому образуется поток загрязненной воды. Во многих случаях эти сточные воды очищаются вместе с потоками сточных вод от станов горячей прокатки. После очистки эта вода подвергается рециркуляции.

Кристаллизатор и внутренняя часть роликов обычно охлаждаются водой в замкнутом цикле, и они здесь не рассматриваются.

Основными загрязняющими веществами являются твердые взвешенные вещества и масла. Основными мерами для снижения сбросов в водные объекты являются высокий уровень рециркуляции вместе с осаждением и (или) фильтрацией слива. Для удаления масел (нефтепродуктов) можно использовать баки-сепараторы.

Впрыскиваемая вода обычно осаждается с помощью фильтрации через песчаный слой перед или после охлаждения в испарительной градирне. Фильтрация через песчаный слой помогает обеспечить низкие уровни твердых частиц и загрязнения нефтепродуктами для достижения удовлетворительной продолжительной работы вторичных распыляющих форсунок машины непрерывного литья. Слив из открытого цикла для контроля уровня растворенных твердых веществ должен отбираться после установки фильтрации через песчаный слой для минимизации сброса взвешенных твердых веществ и любого загрязнения маслами/жирами. Для предотвращения засорения песчаного фильтра перед песчаными фильтрами должна размещаться установка для сбора нефтепродуктов.

Технологии для очистки сточных вод от непрерывной разливки можно считать сходными с теми, которые описаны в п. 7.3.4.

Достигаемые экологические выгоды

В работе [178] приведен пример состава сточных вод от непосредственного охлаждения в процессе непрерывной разливки и в процессе горячей прокатки. Данные можно увидеть в табл. 8.25.

ТАБЛИЦА 8.25: СОСТАВ ПОТОКОВ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В КОМПАНИИ BSW В Г. КЕЛЬ, ГЕРМАНИЯ, ПОСЛЕ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД (2008 Г.) [178]

	Единицы	Непрерывная разливка после песчаного фильтра (1)	Стан горячей прокатки после песчаного фильтра (1)
Расход	м³/ч	421	802
Температура	оС	39	30
Взвешенные вещества	мг/л	30,8	4,8
ТОС	мг/л	1,33	1,85
АОХ	мг/л	<0,01	<0,01
Fe	мг/л	0,053	<0,1
Zn	мг/л	<0,05	<0,05
Ni	мг/л	<0,02	<0,02
Co	мг/л	<0,02	<0,02
Минеральные масла	мг/л	<0,01	<0,01

(1) Случайная выборка за 24 ч.

Данные не передавались о взаимодействиях между средами, эксплуатационные данные, о экономике, мотивации для внедрения.

Применимость

Высокий уровень рециркуляции и очистки слива может применяться как в новых, так и в существующих цехах.

Примеры установок

Компания BSW, г. Кель, Германия, Компания TSW, г. Трир, Германия

Справочная литература: [178]

8.3.7 Система водоохлаждения с замкнутым контуром

Обычно вода используется в процессах электросталеплавильного производства только в связи с бесконтактным охлаждением и только, если для очистки отходящих газов используется мокрая газоочистка. Так как мокрая газоочистка применяется только в небольшом количестве случаев, эта тема дополнительно больше не рассматривается в этом разделе. Самым важным использованием воды, рассматриваемым здесь, является вода, используемая для охлаждения элементов печи. Кроме того, некоторое количество может использоваться для охлаждения отходящих газов или для стадий внепечной обработки стали. Вода, необходимая для охлаждения элементов, расходуется в количестве $5 - 12 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ [16].

Достигаемая экологическая выгода

С помощью применения этой технологии не происходит сброса сточных вод. Не приводились эксплуатационные данные, о экономике.

Применимость

Эта технология может применяться как на новых, так и на существующих заводах.

Мотивация для внедрения

Законодательные требования и ограниченная доступность охлаждающей воды являются движущими силами для внедрения этой технологии.

Пример установок

Компания Preussag Stahl AG, г. Пайне, Германия; компания BSW, г. Кёль, Германия и многие другие установки в ЕС.

Почти все электросталеплавильные цеха в ЕС используют водоохлаждение с замкнутым контуром.

Справочная литература: [16].

8.3.8 Переработка пыли EAF для утилизации тяжелых металлов

В зависимости от типа производимой стали около $10 - 30 \text{ кг}$ пыли/т стали извлекается из отходящих газов (см. табл. 8.1). Улавливаемая пыль, получаемая с помощью оборудования для очистки газа, содержит значительную часть горячих металлов. В случае углеродистой стали, в основном цинк и в меньшей степени свинец находится в этой пыли (см. табл. 8.10), а в случае нержавеющей стали кроме цинка находятся значительные количества хрома и никеля.

Процессы для утилизации цинка и утилизации или удаления других тяжелых металлов являются подходящими вариантами для использования ценных ресурсов, которые уже были добыты и переработаны, по крайней мере, однажды. В принципе, существуют пирометаллургические и гидрометаллургические варианты для утилизации цинка. Для пыли от производства углеродистой/низколегированной стали существуют различные технологии, и они управляются в большинстве случаев компаниями, которые имеют тесные связи с сектором цветной металлургии.

Для утилизации пыли с EAF желательно иметь высокие уровни концентрации тяжелых металлов для достижения хороших экономических показателей. Для повышения содержания цинка в их пыли некоторые операторы EAF возвращают часть образующейся пыли снова в печь.

Достигаемые экологические выгоды

Эти тяжелые металлы являются токсичными, и они могут выщелачиваться, и, поэтому, необходимо специальное внимание при дальнейшей переработке и возможном депонировании пыли на полигонах.

Можно достигнуть количественно значимой утилизации пыли и рециклинга тяжелых металлов. При выборе вариантов утилизации и рециклинга необходимо учитывать цель предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды. Использование железа и тяжелых металлов, содержащихся в пыли, предпочтительнее, чем ее депонирование.

Взаимодействие между средами

Рециклинг осажденной пыли от EAF для обогащения цинка с помощью возврата ее в EAF приводит к некоторым воздействиям на процесс выплавки стали, таким как возрастающее потребление энергии. Кроме того, метод добавки пыли в шихту печи может воздействовать на характеристики печи. В случае гранулирования пыли перед транспортированием/рециклингом необходима дополнительная энергия, так как может происходить дополнительное образование пыли.

Не представлены эксплуатационные данные, о экономике.

Применимость

Эта технология применима для новых и существующих цехов.

Мотивация для внедрения

Основными движущими силами для внедрения этой технологии являются ограничение мест для полигонного депонирования, более жесткие нормы для полигонного депонирования и стоимостные факторы, типа налогов на депонирование отходов.

Пример установок

Имеется много установок в ЕС, где проводится утилизация пыли для внешних потребителей.

Одним примером является электродуговая печь компании Marienh tte, в г. Грац, Австрия, на которой порядка 6,9 тонн пыли в год образуется от очистки газа. Пыль с содержанием цинка около 80% перерабатывается за пределами завода для утилизации цинка.

Справочная литература: [16], [69], [116], [373], [391], [394].

8.3.9 Переработка шлака EAF

При выплавке стали в EAF образуется порядка 60 – 270 кг шлака на тонну стали в соответствии с техническими условиями (см. табл. 8.1). Отвердевший шлак EAF при выплавке углеродистой стали можно рассматривать как искусственную горную породу, сходную с естественной горной породой, состоящую из оксидов железа (FeO), извести (CaO), диоксида кремния (SiO₂) и других оксидов (MgO, Al₂O₃, MnO) (см. табл. 8.7). Шлаки EAF характеризуются высокой прочностью, хорошей устойчивостью к атмосферным воздействиям, а также высокой износоустойчивостью. Они также обладают такими свойствами, которые делают их пригодными для использования в гидротехнических сооружениях [57]. Важным критерием для использования шлака EAF является постоянство объема, которое зависит от наличия свободной извести.

Большая часть шлаков при производстве сортов низкоуглеродистой стали имеют относительно низкое содержание свободной извести (см. табл. 8.7), и они пригодны для различных применений типа дорожного строительства, земляных насыпей и гидротехнических сооружений. Шлаки EAF от выплавки углеродистой стали обычно соответствуют техническим условиям для наполнителей, используемых в строительстве. Решающими факторами в отношении к их использованию являются приемлемость для окружающей среды и структурная устойчивость. Если требуемые законодательные условия для использования в строительстве выполняются, шлак EAF должен быть подвергнут дроблению, грохочению и классификации по размерам для использования. Железосодержащие компоненты шлака отделяются с помощью магнитных сепараторов. Использование переработанного шлака для различных строительных целей зависит также от размеров зерен. На рис. 8.21 представлена технологическая схема установки для предварительной обработки шлака для немецкого завода. В 1994 г. около 94% шлака, который образовался при выплавке в EAF нелегированной и слаболегированной стали, использовалось [57].

Шлаки, образующиеся при выплавке высококачественной стали, используются только в ограниченной степени до сих пор. Возможно также их использование в дорожном строительстве, но после предварительной обработки.

Например, в случае компании *Bohler Edelstahl*, на ее заводе в г. Капфенберг, Австрия, образуется 270 кг шлака на тонну стали. Этот шлак не считается пригодным для строительной промышленности вследствие его состава и свойств (например, расширение шлака). Большая часть шлака образуется в EAF (приблизительно 70%), а остальная часть в кислородном конвертере (приблизительно 30%). Эти шлаки депонируются на полигоне для инертных отходов.

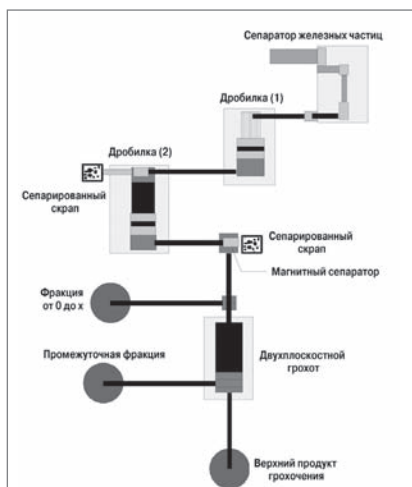


Рисунок 8.21: Технологическая схема установки для предварительной обработки шлака [16]

Тем не менее, имеются также примеры, когда часть или даже весь шлак от выплавки нержавеющей стали используется в качестве строительного материала, в особенности в случае пониженных технических требований (например, шумозащитные ограждения).

Возможность проведения рециклинга шлаков, образующихся при выплавке высоколегированной или нержавеющей стали, может быть оценена либо с помощью дополнительной оценки или установления некоторых специальных требований переработки, в зависимости от свойств такого шлака (например, коэффициента объемного расширения) (см. также п. 8.3.10).

Варианты использования широкого спектра шлаков от внепечной обработки стали ограничены. Размер зерен и коэффициент объемного расширения являются решающими факторами для использования таких шлаков. Но значительная часть этих шлаков подвергается полигонному депонированию, так как едва ли имеются варианты их использования.

Достижимые экологические выгоды

Шлаки от EAF, которые образуются при выплавке углеродистой или низколегированной стали, можно подвергать обработке с последующим рециклингом для использования в дорожном строительстве.

Взаимодействия между средами

Для переработки шлаков требуется энергия. Следует уделять внимание щелочным выбросам, когда в шлаке содержится свободный CaO (см. п. 8.2.2.1).

Не приведены эксплуатационные данные, о экономике.

Применимость

Эта технология применима как к новым, так и существующим заводам. Дополнительная переработка может достичь лучшей пригодности для использования в качестве строительного материала.

Мотивация для внедрения

Основными движущими силами являются ограниченность полигонов и затратные аспекты, связанные с депонированием.

Пример установок

Компания BSW, г. Кёль, Германия (переработка шлак с последующим использованием для строительных целей).

Компания Georgsmarienhütte GmbH, Германия (продает шлак для внешней переработки с последующим использованием в дорожном строительстве: шлак от электродуговых печей и установок для вторичной переработки стали смешивается); компания Salzgitter Stahl AG, г. Пайне, Германия (переработка и использование в строительном секторе).

Компания ArcelorMittal на своих заводах в Люксембурге использует шлак с дуговых печей для дорожного покрытия с высокими характеристиками, гидротехнических сооружений и других применений.

Справочная литература: [16], [277], [373]

8.3.10 Переработка шлаков от выплавки высоколегированной и нержавеющей стали

Некоторые технологии для переработки шлака приведены ниже:

(а) переработка жидкого шлака в течение выпуска с остатками, в которых содержится Al_2O_3

(b) восстановление шлака, содержащего оксид алюминия

(с) оптимизация кислородной продувки и использование некоторых восстанавливающих агентов

(d) предотвращение образования пыли при удалении шлака из ковшей. Шлак с высокой основностью от выплавки нержавеющей стали содержит Ca_2S , который подвергается фазовому превращению в течение охлаждения. Трансформация включает определенное повышение объема. При закалке шлака можно подавить фазовое превращение, и образование пыли не будет происходить. Компания Sandvik Materials Technology, Швеция, проблему образования пыли при удалении шлака из ковша реши. За счет быстрого снижения температуры удалось предотвратить образование пыли на большой территории

(е) технологии для шлака, образующегося при выплавке нержавеющей стали, таковы:

- стабилизация шлака с помощью использования стабилизирующего агента для предотвращения распыления

- контроль состава шлака

- минимизация выщелачивания хрома из материала шлака, почти без появления его в промывной воде (содержание хрома ниже предела определения в 0,01 мг/к)

- контроль охлаждения шлака

- сепарация металла с помощью дробления, грохочения, разделения по весу и магнитная сепарация.

Достижимые экологические выгоды

Такие технологии могут повысить свойства шлаков EAF с помощью фиксации хрома в устойчивой матрице шлака и могут снизить содержание хрома в шлаке.

Для технологии (d) в соответствии с оценками при раннем внедрении технологии образование пыли было снижено более чем на 90%. Так как только шлак из разливочного ковша не перерабатывается оптимальным способом, снижение образования пыли, вероятно, близко к 100%.

Так как определение показателя пылеобразования является проблемой, использовали количество шлаковиков или лодочек для зонной плавки около цеха, которые было нужно очистить. В 2002 г. общее количество очищаемых шлаковиков и лодочек составило 80. При новой технологии в 2004 г. в этой операции не возникала потребность, и не образовывалась пыль. Результаты, полученные до настоящего времени, оказались очень впечатляющими с экологической точки зрения.

Для технологии (с) удалось снизить образование пыли, и в значительной степени было снижено количество отходов.

Взаимодействия между средами

Для технологии (d) возросло количество рециркулируемой воды.

Для технологии (е) в процессе необходимы дополнительные стабилизирующие агенты.

Не приведены эксплуатационные данные, о экономике.

Применимость

Для технологии (d) использование возможно, когда шлак еще не достаточно подвергнулся фазовому превращению (т.е. в случае использования для всех шлаковиков, EAF и AOD, за исключением шлака в сталеразливочном ковше, который остался от машины непрерывного литья). С помощью описанной технологии в общей сложности переработано 90% образовавшегося шлака.

Ковши со шлаком от сталеразливочный ковшей заливаются водой, а затем остаются до тех пор, пока они не охладятся, и шлак не пропитается полностью водой.

Технологию (е) можно применять на новых и старых заводах.

Мотивация для внедрения

Для технологии (е) можно снизить потребление энергии и полностью устранить воздействие на окружающую среду. Вследствие эффективного потока материалов имеет место рост производительности.

Пример установок

Технология (d) компания Sandvik Materials Technology, г. Сандвикен, Швеция; технология (е) компания Outokumpu Stainless Tornio Works, г. Торнио, Финляндия

Справочная литература: [208], [245]

8.3.11 Непрерывное литье полосы с формой, близкой к заданной

Технология непрерывного литья полосы с формой, близкой к заданной, применительно к выплавке стали в электродуговых печах сходна с той, которая описана в п. 7.3.11 для кислородно-конвертерного производства стали.

8.3.12 Технологии для предотвращения шумового загрязнения

Некоторые конструктивные и эксплуатационные способы, применяемые для предотвращения шумового загрязнения, включают:

- ограничение деятельности, связанной с шумом, в ночное время (например, склад металлолома, транспортирование лома);
- информационную поддержку мер по снижению уровня шума и обучение крановщиков;
- непрерывный мониторинг уровня шума на складе металлолома;
- строительство здания с EAF таким образом, чтобы происходило поглощение шума от механических ударов при работе печи;
- изготовление кранов, предназначенных для транспортирования грузочных корзин, с предотвращением механических ударов;

- создание специальной акустической изоляции внутренних стен и крыши для предотвращения воздушного шума в здании с EAF;
- разделение печи и наружных стен для снижения структурного шума от здания EAF;
- строительство физических барьеров;
- снижение высоты свободного падения лома для снижения шума и выбросов пыли при загрузке лома;
- закрытие складов с ломом;
- непрерывная подача лома и плавление.

Меры по снижению шума от системы обеспыливания

Новые системы обеспыливания должны соответствовать высоким требованиям по снижению уровня шума. Примеры включают следующее:

- установку вентиляторов с шумовой изоляцией;
- дополнительную фиксацию вентиляторов в камерах с помощью железобетона;
- установку шумопоглощающих элементов типа сэндвич для новых рукавных фильтров;
- замену профильного настила на существующих рукавных фильтрах элементами типа сэндвич;
- определение максимального уровня шума для индивидуальных установок;
- меры по снижению уровня шума для существующих пылевых фильтров.

Достижимые экологические выгоды

С помощью описанных мер можно достичь значений от 37 до 50 дБ (A) $L_{eq}(th)$ (эквивалентный уровень шума). Измерения на расстоянии 150 м от здания с EAF были ниже 34 дБ (A) $L_{eq}(th)$.

При использовании систем непрерывной подачи лома и плавления, таких как CONSTEEL, можно снизить уровень шума.

Данные не передавались о воздействиях между средами, экономике.

Эксплуатационные данные

Некоторые примеры параметров изоляции, используемой в зданиях с EAF, это материалы с R_w 56 дБ для стен и 55 дБ для крыш (значения в соответствии с DIN 55210 Часть 3) (Немецкий промышленный стандарт для шума).

Применимость

Эти технологии применимы для всех типов установок.

Мотивация для внедрения

Движущей силой для внедрения является предотвращение шумовых выбросов по соседству с заводом. Цеха, расположенные вблизи зон жилой застройки, должны применять меры для предотвращения шума.

Пример установок

Компания Arbed Esch-Belval, Люксембург.

Компания Feralpi, г. Риеса, Германия.

Справочная литература: [83], [260], [280], [355], [364], [366].

9. ОБЛАСТЬ ДЕЙСТВИЯ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ ПО НДТ ДЛЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

9.1 Общие заключения по НДТ

9.1.1 Система управления окружающей средой (экологического менеджмента)

Этот справочник по наилучшим доступным технологиям для черной металлургии охватывает следующие виды деятельности, определенные в Приложении I к Директиве 2010/75/EU, а именно:

- экономическую деятельность 1.3: производство кокса;
- экономическую деятельность 2.1: отжиг и спекание металлических руд (включая сульфидную руду);
- экономическую деятельность 2.2: производство чушкового чугуна и стали (первичную или вторичную плавку), включая непрерывную разливку, с производительностью выше 2,5 т/ч.

В частности, этот справочный документ охватывает следующие процессы:

- загрузку, разгрузку и перемещение крупнотоннажного сырья;
- составление смесей и смешение сырья;
- спекание и окомкование железной руды;
- производство кокса из коксующихся углей;
- производство горячего металла в доменных печах, включая переработку шлака;
- производство и рафинирование стали с использованием конвертерного процесса, включая предшествующую десульфуризацию в ковше, последующую ковшовую металлургию и переработку шлака;
- производство стали в электродуговых печах, включая последующую ковшовую металлургию и переработку шлака;
- непрерывную разливку (тонкий сляб/тонкая лента и непрерывная разливка листа (по форме, близкой к окончательной)).

Данный справочный документ не рассматривает следующие виды экономической деятельности:

- производство извести в обжиговых печах, которое охвачено BREF для производства цемента, извести и оксида магния (CLM);
- переработку пыли для утилизации цветных металлов (например, пыль электродуговых печей) и производство ферросплавов, которое охватывается BREF для цветной металлургии (NFM);
- установки для серной кислоты в коксовых печах, охваченные Крупнотоннажным производством неорганических химических соединений – аммиака, кислот и удобрений (LVIC-AAF BREF). Однако в этом документе представлены полезные сведения об основных типах процессов десульфуризации коксового газа.

Другие справочные документы, которые важны для экономической деятельности, охваченной этим справочным документом, следующие:

Справочные документы	Экономическая деятельность
BREF для крупных топливосжигающих установок (LCP)	Установки для сжигания с номинальной тепловой мощностью 50 и более МВт
BREF для цветной металлургии (FMP)	Последующие процессы типа прокатки, травления, нанесения покрытий и т.д.
BREF для выбросов от хранения и обращения (EFS)	Хранение и обращение
BREF для систем промышленного охлаждения (ICS)	Системы охлаждения
Общие принципы мониторинга (MON)	Мониторинг выбросов и потребления
BREF для энергоэффективности (ENF)	Общие принципы энергоэффективности
Экономика и воздействия между средами	Экономика и воздействия между средами от технологий

Технологии, перечисленные и описанные в этих заключениях по НДТ, не являются ни директивными, ни исчерпывающими. Могут использоваться и другие технологии, которые обеспечивают, по крайней мере, эквивалентный уровень защиты окружающей среды.

Уровни экологических характеристик, связанных с НДТ, выражаются как диапазоны, а не как отдельные значения. Диапазон может отражать различия в данном типе установок (например, различия в сорте/чистоте и качестве конечного продукта, различия в конструкции, исполнении, размере и производительности установки), которые приводят к различиям в экологических характеристиках, достигаемых при применении НДТ.

Выражение уровней выбросов, относящихся к наилучшим доступным технологиям (BAT-AELs)

В этих заключениях по НДТ (BAT-AELs) для выбросов в воздух значения выражаются одним из следующих способов:

- масса выбрасываемого вещества на объем отходящих газов при нормальных условиях (273,15 К, 101,3 кПа), после вычета содержания водяных паров, выражаемая в таких единицах как г/нм³, мг/нм³, мкг/нм³ или нг/нм³ либо
- масса выбрасываемого вещества на единицу массы производимых или перерабатываемых продуктов (коэффициент потребления или коэффициент выбросов), выражаемая в таких единицах как кг/т, г/т, мг/т или мкг/т,
 - а НДТ (BAT-AELs) для сбросов в водные объекты выражается как:
- масса сбрасываемых веществ на объем сточных вод, выражаемая в таких единицах как г/л, мг/л или мкг/л.

Определения

В целях данных заключений по НДТ:

- “новая установка” означает установку, внедренную на предприятии после публикации этих заключений по НДТ, или полную замену установки на существующем фундаменте предприятия после публикации этих заключений по НДТ;
- “существующая установка” означает установку, которая не является новой установкой;

- “NOx” означает: сумму оксида азота (NO) и диоксида азота (NO₂), выраженную как NO₂
- “SOx” означает: сумму диоксида серы (SO₂) и триоксида серы (SO₃), выраженную как SO₂
- “HCl” означает: все газообразные хлориды, выраженные как HCl;
- “HF” означает: все газообразные фториды, выраженные как HF.

Если только не сформулировано иное, заключения по НДТ, представленные в этом разделе, общеприменимы.

Специализированные НДТ, включенные в главы 9.2 – 9.7, применяются в дополнение к общим НДТ, упомянутым в главе 9.1.

1). НДТ для внедрения и соблюдения требований системы экологического менеджмента (EMS), которая включает следующие элементы:

- I. Обязательства менеджмента, включая высшее руководство;
- II. Определение экологической политики, которое включает непрерывные усовершенствования на управляемом предприятии;
- III. Планирование и установление необходимых процедур, целей и показателей, в связи с финансовым планированием и инвестициями;
- IV. Внедрение процедур, уделяющих особое внимание:
 - i. Структуре и ответственности
 - ii. Обучению, информированности и компетенции
 - iii. Передаче информации
 - iv. Участию работников в управлении
 - v. Ведению документации
 - vi. Эффективному контролю технологического процесса
 - vii. Программам обслуживания
 - viii. Готовности к аварийным ситуациям и реагированию на них
 - ix. Обеспечению соответствия с природоохранным законодательством.

V. Контроль работы и принятие корректирующих действий, уделяя особое внимание:

- i. Мониторингу и измерениям (см. также Справочный документ по общим принципам мониторинга)
- ii. Корректирующим и предупредительным действиям
- iii. Ведению документации
- iv. Независимому (когда это практически целесообразно) внутреннему и внешнему аудиту для определения того, соответствует ли EMS запланированным мероприятиям и реализуется ли экологический менеджмент надлежащим образом

VI. Проверка EMS и ее непрерывного соответствия, адекватности и эффективности высшим руководством;

VII. Исследовательская разработка чистых технологий;

VIII. Рассмотрение воздействий на окружающую среду от возможного вывода из эксплуатации установок на всех стадиях проектирования новой установки и на протяжении всего срока эксплуатации;

IX. Применение сопоставительного анализа сектора на регулярной основе.

Применимость

Область действия (например, уровень подробностей) и характер EMS (например, стандартизованная или не стандартизованная) должна обычно относиться к природе, масштабу и сложности установки и диапазону воздействий, которые могут оказываться на окружающую среду.

9.1.2 Управление энергией

2). НДТ для снижения потребления тепловой энергии с помощью использования сочетания следующих технологий:

I. Усовершенствование и оптимизация систем для достижения беспрепятственной и стабильной работы, как можно ближе к заданному технологическому режиму, с помощью использования:

- i. Оптимизации технологического режима, включая системы автоматического управления
- ii. Современных весовых систем подачи твердого топлива
- iii. Максимально возможной степени подогрева, с учетом существующей технологической конфигурации.

II. Утилизация избыточного тепла технологических процессов, в особенности из зон охлаждения

III. Оптимизированное управление паром и тепловой энергией

IV. Применение интегрированного в технологический процесс в максимальной возможной степени повторного использования физического тепла.

В контексте управления энергией, см. BREF для энергоэффективности (ENE).

Описание НДТ I.i

Следующие позиции являются важными для металлургических заводов с полным циклом, с точки зрения повышения общей энергоэффективности:

- Оптимизация потребления энергии
- Мониторинг в режиме реального времени самых важных потоков энергии и процессов сжигания на предприятии, включая мониторинг всех видов сжигания газов на свече для предотвращения потерь энергии, что даст возможность безотлагательного обслуживания и проведения технологического процесса без нарушений
- Инструменты отчетности и анализа для проверки среднего потребления энергии в каждом процессе
- Определение уровней удельного потребления энергии для важных процессов и сравнение их на долговременной основе
- Проведение энергетического аудита как определено в BREF для энергоэффективности, например, для идентификации экономичных возможностей для экономии энергии.

Описание НДТ II-IV

Интегрированные в технологический процесс технологии для повышения энергоэффективности в производстве чугуна и стали с помощью повышения утилизации тепла включают:

- Комбинированное производство тепловой и электрической энергии с утилизацией тепла отходящих газов с помощью теплообменников и распределения либо в другие цеха металлургического предприятия, либо в систему районного теплоснабжения
- Установление паровых котлов или адекватных систем после крупных нагревательных систем (печи могут покрывать часть потребностей в паре)
- Подогрев воздуха для сжигания в печах и других системах сжигания для экономии топлива, с учетом негативных воздействий, т.е. ростом содержания оксидов азота в отходящих газах
- Установка паропроводов и водопроводов горячей воды
- Утилизация тепла продуктов, например агломерата
- Когда сталь должна охлаждаться, использование тепловых насосов и солнечных панелей
- Использование котлов-утилизаторов за печами с высокой температурой
- Испарение кислорода и охлаждение компрессора для обмена энергией с использованием стандартных теплообменников
- Использование утилизационных бескомпрессорных турбин для преобразования кинетической энергии колошникового газа доменной печи в электрическую энергию.

Применимость ВАТ II-IV

Комбинированное производство тепловой и электрической энергии применимо для всех металлургических заводов, расположенных вблизи городских районов с соответствующей потребностью в тепловой энергии. Удельное потребление энергии зависит от области действия технологического процесса, качества продукта и типа установки (например, объем вакуумной обработки для кислородного конвертера, температуры отжига, толщины продукта и т.д.)

З). НДТ для снижения потребления первичной энергии с помощью оптимизации потоков энергии и оптимизированного использования отводимых технологических газов, таких как коксовый, доменный и конвертерный газ.

Технологии, интегрированные в процесс для повышения энергоэффективности на металлургических заводах с полным циклом, с помощью оптимизации технологического процесса включают:

- Использование газгольдеров для всех технологических газов или других адекватных систем для кратковременного хранения и поддержания их давления
- Повышение давления в газовой сети, если имеются потери энергии при сжигании на свечах, для использования большего количества технологических газов, с итоговым повышением коэффициента использования
- Обогащение газа технологическими газами с получением различной теплотворной способности для различных потребителей
- Отопление печей для спекания технологическим газом
- Использование автоматизированной системы регулирования теплотворной способности

- Регистрация и использование кокса и температуры дымовых газов
- Выбор адекватных параметров установок для утилизации энергии технологических газов, в частности в отношении наличия технологических газов.

Применимость

Удельное потребление энергии зависит от области действия процесса, качества продукта и типа установки (например, объем вакуумной обработки для кислородного конвертера, температуры отжига, толщины продукта и т.д.)

4). НДТ для использования избыточного коксового газа, подвергнутого десульфуризации и очистке от пыли, и очищенных от пыли доменного и конвертерного газа (смешанного или отдельного) в котлах или в установках для комбинированного производства тепловой и электрической энергии, для производства пара, электроэнергии и (или) тепловой энергии с использованием избыточного тепла отходящих газов для внутренних или внешних тепловых сетей, если имеется потребность в тепле третьей стороны.

Применимость

Сотрудничество и соглашение с третьей стороной может не находиться под контролем оператора, и, поэтому, не может находиться в области действия разрешения.

5). НДТ для минимизации потребления электроэнергии с помощью использования одной или нескольких из следующих технологий:

I. Системы управления энергопотреблением

II. Оборудование для измельчения, перекачивания, вентиляции и перемещения и другое оборудование с электропитанием с высокой энергоэффективностью.

Применимость

Насосы с частотным регулированием не могут использоваться, когда надежность насосов является важнейшим элементом для безопасности процесса.

9.1.3 Управление материалами

6). ВАТ для оптимизации управления и контроля внутреннего потока материалов для предотвращения загрязнения, повреждений, обеспечения адекватного качества поступающего сырья, возможности повторного использования и рециклинга и повышения эффективности процесса и оптимизации выхода годного металла.

Соответствующее хранение и перемещение материалов и остатков производства может помочь в минимизации выбросов воздушной пыли от шихтового двора и конвейерной ленты, включая пункты перевалки и в предотвращении загрязнения почвы, грунтовых вод и ливнеотоков (см. НДТ II).

Применение адекватного управления на металлургическом заводе с полным циклом и управления остатками, включая отходы, от других установок и секторов позволяет добиться максимального внутреннего и (или) внешнего использования их в качестве сырьевых материалов (см. НДТ 8, 9 и 10).

Управление материалами включает контролируемое размещение небольшой части общего количества остатков от металлургических заводов с полным ци-

клом, которые не имеют экономического использования.

7). Для достижения низких уровней выбросов для важных загрязняющих веществ НДТ заключаются в выборе соответствующего качества скрапа и других сырьевых материалов. Что касается лома, то НДТ состоят в соответствующем контроле видимого загрязнения, которое может включать тяжелые металлы, в частности ртути или привести к образованию полихлорированных дибензодиксинов/фуранов (PCDD/F) и полихлорированных бифенилов (PCB).

Для повышения использования лома можно использовать следующие технологии индивидуально или в сочетании:

- Технические условия для критериев соответствия, которые годятся для производственной специализации при заказе на покупку лома
- Наличие надлежащих знаний о составе лома с помощью тщательного контроля происхождения лома; в исключительных случаях пробная плавка может помочь в определении характеристик состава лома
- Наличие адекватных приемных устройств и проверки поставок
- Наличие процедур для исключения лома, который не годится для использования в установке
- Хранение лома в соответствии с различными критериями (например, размер, легирующие элементы, степень чистоты); хранение лома с потенциальными выделениями загрязняющих веществ в почву на непроницаемых поверхностях с дренажем и системой сбора; использование покрытия, которое может снизить потребность в такой системе
- Совместный сбор лома для различных плавок с учетом знания о составе для использования наиболее подходящего лома для производимого сорта стали (это важно в некоторых случаях для предотвращения попадания нежелательных элементов, а в других случаях для использования преимуществ легирующих элементов, которые находятся в ломе и необходимы для производства соответствующего сорта стали)
- Безотлагательный возврат всего лома, образующегося внутри предприятия, на склад металлолома для рециклинга
- Наличие плана работ и управления
- Сортировка лома для минимизации риска включения опасных или неметаллических загрязняющих веществ, в особенности полихлорированных бифенилов (PCB) и масел или жиров. Это обычно делает поставщик лома, но оператор проверяет весь поступающий лом в закрытых контейнерах по причинам безопасности. Поэтому в то же самое время имеется возможность проверки насколько это практически возможно, загрязняющих веществ. Может потребоваться оценка небольших количеств пластмасс (например, компонентов с пластмассовым покрытием)
- Контроль радиоактивности в соответствии с рамочными рекомендациями Экономической комиссии ООН для Европы (UNECE)
- Осуществление обязательного удаления компонентов, в которых содержится ртуть от вышедших из эксплуатации транспортных средств и отходов

электротехнического и электронного оборудования (WEEE) может быть улучшено переработчиком лома с помощью:

- констатации отсутствия ртути в контрактах на покупку лома
- отказа от лома, в котором содержатся видимые компоненты и узлы электронного оборудования.

Применимость

Выбор и сортировка лома не могут полностью находиться под контролем оператора.

9.1.4 Управление остатками производства, такими как побочные продукты и отходы

8). НДТ для твердых отходов относятся к использованию комплексных и оперативных технологий для минимизации отходов с помощью внутреннего использования или с помощью применения специализированных процессов рециклинга (внутри предприятия или вне его).

Технологии для рециклинга остатков с высоким содержанием железа включают специализированные технологии рециклинга, такие как шахтная печь ОхуСагр®, процесс ДК, восстановительная плавка или гранулирование/брикетирование на холодной связке, а также технологии для переработки остатков, упомянутые в главах 9.2 – 9.7.

Применимость

Так как упомянутые процессы могут проводиться третьей стороной, сам рециклинг не может проходить под контролем оператора металлургического завода, и, поэтому, не может находиться в области действия разрешения.

9). НДТ для максимального внешнего использования или рециклинга твердых остатков, которые не могут использоваться или подвергаться рециклингу в соответствии с НДТ 8, всегда, когда это возможно и согласуется с регламентами по обращению с отходами. НДТ для контролируемого управления остатками, которых нельзя избежать и которые не подвергаются рециклингу.

10). НДТ для использования наилучшей практики эксплуатации и обслуживания применительно к сбору, обращению и транспортированию всех твердых остатков, и для покрытия пунктов перевалки с целью предотвращения выбросов в воздух и сбросов в воду.

9.1.5 Рассеянные выбросы пыли от хранения, обращения и транспортирования сырья и (промежуточных) продуктов

11). НДТ для предотвращения или снижения рассеянных выбросов пыли от хранения, обращения и транспортирования с помощью использования одной или сочетания технологий, упомянутых ниже.

Если используются технологии очистки, НДТ для оптимизации эффективности удаления и последующей очистки с помощью соответствующих технологий, таких, которые упомянутых ниже, то предпочтение отдается отводу выбросов пыли как можно ближе к источнику.

I. Обычные технологии включают:

- Подготовка в рамках EMS металлургического завода плана действий, связанного с рассеянными выбросами пыли;
- Рассмотрение временного прекращения некоторых операций, когда они идентифицированы как источник выбросов РМ10, которые очень опасны для окружающей среды и здоровья человека; для этого необходимо иметь средства для удовлетворительного мониторинга РМ10, с учетом направления ветра, которые позволят провести тригонометрическую съемку и идентифицировать ключевые источники тонкодисперсной пыли.

II. Технологии для предотвращения выбросов пыли в течение обращения и транспортирования крупногабаритных сырьевых материалов включают:

- Ориентация протяженных отвалов в направлении преобладающего ветра
- Установка ветрозащитных барьеров или использование естественного рельефа для обеспечения укрытия
- Контроль влагосодержания поставляемых материалов
- Тщательное внимание процедур для предотвращения необязательного обращения с материалами и протяженными открытыми отвалами
- Адекватное ограждение конвейеров и бункеров и т.д.
- Использование распыления воды для подавления образования пыли, с такими добавками как латекс, в случае необходимости
- Стандарты тщательного обслуживания оборудования
- Высокие стандарты эксплуатации, в особенности очистки и увлажнения дорог
- Использование мобильного и стационарного оборудования для вакуумной очистки
- Подавление образования пыли или отвод пыли и использование установок для очистки с рукавными фильтрами для источников значительного образования пыли
- Применение машин для уборки улиц, в рамках мер по снижению выбросов для проведения рутинной очистки дорог с твердым покрытием.

III. Технологии для поставки материалов, деятельности по хранению и утилизации включают:

- Общее ограждение разгрузочных бункеров в здании, оснащенным системой отвода отфильтрованного воздуха для пыльных материалов, или бункеры должны быть оснащены пылезащитными перегородками и разгрузочными решетками в сочетании с системой удаления пыли и очистки
- Ограничение высоты падения, если возможно, максимум, 0,5 м
- Использование водяного орошения (предпочтительно с использованием рециркулированной воды) для подавления образования пыли
- При необходимости оснащение бункеров-наполнителей фильтровальными установками для контроля пыли
- Использование полностью герметичных устройств при утилизации содержимого бункеров

- При необходимости хранение лома с обеспечением укрытия и на твердой поверхности для снижения риска загрязнения местности (использование непосредственно во время поставки для минимизации размера склада для лома, и, следовательно, выбросов)

- Минимизация нарушений при хранении
- Ограничение высоты и контроль общей формы отвалов
- Использование хранения в здании или в емкости, а не во внешних отвалах, если это соответствует масштабу хранения

- Устройство защиты от ветра с помощью естественных преград, насыпей земли или высаживания высокой травы и вечнозеленых деревьев в открытой местности для улавливания и поглощения пыли без причинения долговременного вреда

- Гидропросев в отвальных кучах и отвалах шлака
- Озеленение участка с помощью покрытия в неиспользуемых местах верхнего слоя почвы и высаживания травы, кустарника и других почвопокровных растений
- Увлажнение поверхности с использованием устойчивых пылесвязующих веществ

- Покрытие поверхности непромокаемой парусиной или покрытие (например, латексное) отвалов

- Применение хранения с подпорными стенками для уменьшения поверхности, подвергаемой воздействию

- При необходимости меры могут включать непроницаемые поверхности из бетона и с дренажем.

78

IV. Когда топливо и сырьевые материалы поставляются по морю и выделение пыли могут быть значительными, некоторые технологии включают:

- Использование операторами емкостей с автоматической разгрузкой или герметичных разгрузчиков непрерывного типа. В ином случае пыль, образующаяся при работе разгрузчика грейферного типа, должна быть минимизирована с помощью сочетания мер по обеспечению адекватного влагосодержания поставляемого материала, минимизации высоты падения и использования впрыска воды или водного тумана в горловине разгрузочной воронки

- Предотвращение использования морской воды для опрыскивания руды или флюсов, так как это приводит к засорению электростатических пылеуловителей на агломерационной установке хлоридом натрия. Дополнительное поступление хлора в сырьевой материал также может привести к росту выбросов (например, полихлорированных dibензодиоксинов/фуранов (PCDD/F) и препятствует рециркуляции пыли от фильтров

- Хранение пылевидного угля, извести и карбида кальция в герметичных бункерах и использование пылетранспорта или хранение и транспортирование в заваренных мешках

V. Технологии разгрузки поездов или грузовиков включают:

- При необходимости вследствие образования выбросов пыли использование специализированного разгрузочного оборудования, обычно герметичной конструкции.

VI. Для материалов с высокой склонностью к уносу, которые могут стать причиной значительного выделения пыли, некоторые технологии включают:

- Использование позиций перегрузки, вибрационных сит, дробилок, воронок и т.п., которые могут быть полностью герметичным, с отводом на установку с рукавным фильтром
- Использование централизованных или местных вакуумных систем очистки вместо обработки смыванием для удаления утечек, так как воздействие ограничивается одной средой и упрощается рециклинг пролитого материала.

VII. Технологии для обращения и переработки шлака включают:

- Поддержание отвалов с гранулами шлака влажными для обращения со шлаком и его переработкой, так как сухой шлак с доменной печи может стать причиной роста образования пыли
- Использование герметичного оборудования для дробления шлака, оснащенное эффективным отводом и рукавными фильтрами для снижения выбросов пыли.

VIII. Технологии для обращения с ломом включают:

- Обеспечение места хранения лома покрытием и (или) размещение его на бетонном полу для минимизации отрыва пыли, вызываемого движением транспортных средств.

IX. Технологии, рассматриваемые в течение транспортирования материалов, включают:

- Минимизацию мест доступа от автомобильных дорог общего пользования
- Использование оборудования для очистки колес с целью предотвращения переноса грязи и пыли по автомобильным дорогам общего пользования
- Применение твердых поверхностей для автомобильных дорог (из бетона или асфальта) для минимизации образования туч пыли в течение транспортирования материалов и очистки дорог
- Ограничение транспортных средств по специализированным маршрутам с помощью ограждений, канав или насыпей из рециклированного шлака
- Увлажнение пыльных маршрутов струями воды, например, при операциях по транспортированию шлака
- Обеспечение того, чтобы транспортные средства не были переполнены с целью предотвращения выбросов
- Обеспечение того, чтобы транспортные средства покрывались при транспортировании материалов
- Минимизация количества перевозок
- Использование закрытых или герметичных конвейеров
- Использование трубчатых конвейеров, при возможности, для минимизации потерь материалов при изменении направления движения, обычно предусматриваемых для разгрузки материалов с одной ленты на другую
- Технологии передового опыта для транспортирования расплавленного металла и для обращения с ковшами
- Обеспыливание мест перегрузки на конвейерах.

9.1.6 Управление водой и сточными водами

12). НДТ для управления сточными водами предназначены для предотвращения, сбора и разделения сточных вод по типу, максимального уровня внутреннего рециклинга и использования адекватной очистки для каждого конечного потока.

Сюда включаются технологии утилизации, например, маслоуловители, фильтрация или осаждение. В этом контексте можно использовать следующие технологии, когда имеются упомянутые предварительные условия:

- Предотвращение использования питьевой воды для производственных линий
- Увеличение количества и (или) производительности систем циркуляции воды при строительстве новых зданий или модернизации/реконструкции существующих установок
- Централизация распределения поступающей пресной воды
- Каскадный режим использования воды до установления единичными параметрами своих установленных по закону или технических предельных значений
- Использование воды на других установках, если только единичные параметры воды окажутся под воздействием, и станет возможным дальнейшее использование
- Раздельное содержание очищенных и не очищенных сточных вод; с помощью этой меры имеется возможность сброса сточных вод различными способами и по разумной цене
- Использование, когда это возможно, дождевых вод.

Применимость

Управление водой на металлургических заводах с полным циклом будет ограничиваться главным образом доступностью и качеством пресной вод и местными законодательными требованиями. На существующих заводах имеющаяся конфигурация водяного контура может ограничить доступность.

9.1.7 Мониторинг

13). НДТ для измерения или оценки всех важных параметров необходимы для управления процессами с пультов управления с помощью современных автоматизированных систем для непрерывного корректирования и для оптимизации процесса в реальном масштабе времени, для обеспечения стабильной и бесперебойной работы; тем самым, для повышения энергоэффективности и максимального выхода и улучшения практики обслуживания.

14). НДТ для измерения выбросов из дымовой трубы загрязняющих веществ из основных источников выбросов со всех процессов, включенных в главы A1.2 – A1.7, когда приведены НДТ (BAT-AELs) и на металлургических заводах имеются электростанции, работающие на технологических газах.

НДТ для использования непрерывных измерений, по крайней мере:

- Первичных выбросов пыли, оксидов азота (NOx) и диоксида серы (SO₂) от агломерационной ленты

- Выбросов оксидов азота (NO_x) и диоксида серы (SO₂) от линии отвердевания на установках для получения окатышей
- Выбросов пыли от литейных дворов доменных печей
- Вторичных выбросов пыли от кислородных конвертеров
- Выбросов оксидов азота (NO_x) от электростанции
- Выбросов пыли от крупных электродуговых печей.

15). Для важных источников выбросов, не упомянутых в НДТ 14, НДТ для измерения выбросов загрязняющих веществ от всех процессов, включенных в главы A1.2 – A1.7 и от электростанций, работающих на газе на металлургических заводах, а также периодически и дискретно важных технологических компонентов/загрязняющих веществ.

Сюда включается дискретный мониторинг технологических газов, выбросов из дымовых труб, полихлорированных дибензодиоксинов/фуранов (PCDD/F) и мониторинг сбросов сточных вод, но исключая рассеянные выбросы (см. НДТ 16).

Мониторинг технологических газов предусматривает получение информации от состава технологических газов и о косвенных выбросах от сжигания технологических газов, таких как выбросы пыли, тяжелых металлов и SO_x.

Выбросы из дымовой трубы можно измерять регулярно, периодически, дискретно для важных источников выбросов в течение достаточно длительного периода времени, для получения репрезентативных значений выбросов.

Для мониторинга сброса сточных вод существует большое количество стандартизованных процедур для отбора проб и анализа воды и сточных вод, включая:

- разовую пробу, которая относится к одиночной пробе, отбираемой непрерывно в течение данного периода, или пробу, состоящую из нескольких проб, отбираемых либо непрерывно, либо дискретно в течение данного периода, и смешанных
- подготовленную разовую пробу, которая должна относиться к составной пробе, по крайней мере, из пяти разовых проб, отобранных в течение максимального периода в два часа с интервалами не менее чем две минуты, и смешанных.

Мониторинг должен проводиться в соответствии с надлежащими стандартами EN и ISO. Если не имеются стандарты EN и ISO, должны использоваться национальные или другие международные стандарты, которые обеспечат получение данных с эквивалентным научным качеством.

16). НДТ для определения порядка величины рассеянных выбросов от важных источников с помощью методов, упомянутых ниже.

Когда имеется возможность, предпочтительны методы непосредственного измерения по сравнению с косвенными методами или оценками, основанными на расчетах с коэффициентами выбросов:

- Методы непосредственных измерений, когда выбросы измеряются у самого источника. В этом случае можно измерить или определить концентрации и массовый расход

- Методы косвенных измерений, когда имеет место определение выбросов на некотором расстоянии от источника; непосредственные измерения концентрации и массового расхода невозможны

- Расчеты с коэффициентами выбросов.

Прямые или квазипрямые измерения

Примерами прямых измерений являются измерения в аэродинамических трубах, с зонтами или другими методами типа измерений квазивыбросов на крыше промышленной установки. Для последнего случая измеряются скорость ветра и площадь отверстия на контуре крыши, и рассчитывается расход. Поперечное сечение плоскости измерения в площади отверстия на контуре крыши подразделяется на секторы с идентичной площадью поверхности (система профилей).

Косвенные измерения

Примеры косвенных измерений включают использование следовых газов, методы моделирования обратного рассеяния (RDM) и метод массового баланса с применением лазерного формирования изображений (LIDAR).

Расчет выбросов с коэффициентами выбросов

Руководства по использованию коэффициентов выбросов для оценки рассеянных выбросов пыли от хранения и обращения с крупногабаритными материалами и для пылевой взвеси над дорожным полотном вследствие движения транспорта:

- VDI 3790 Часть 3
- US EPA AP 42.

9.1.8 Вывод из эксплуатации

17). НДТ для предотвращения загрязнения от вывода из эксплуатации с помощью использования необходимых технологий, перечисленных ниже.

Конструктивные соображения в отношении вывода из эксплуатации установки:

I. С учетом воздействий на окружающую среду от окончательного вывода из эксплуатации установки на стадии конструирования новой установки, следует предусмотреть, чтобы вывод из эксплуатации был легче, чище и дешевле.

II. Вывод из эксплуатации вызывает экологические риски в связи с загрязнением земли (и грунтовых вод) и образованием больших количеств твердых отходов; превентивные технологии являются специализированными, но общие соображения могут включать:

- i. Отсутствие воздействий на подземные конструкции
- ii. Использование приемов для облегчения демонтажа
- iii. Выбор обработки поверхности, которая облегчает очистку от загрязнений
- iv. Использование конфигурации оборудования, которая минимизирует улавливание химических веществ и облегчает водоотвод или очистку
- v. Выбор гибких, комплектных элементов, которые дают возможность осуществлять постепенное закрытие
- vi. Использование биоразлагаемых и подвергаемых рециклингу материалов, когда это возможно.

9.1.9 Шум

18). НДТ для снижения шумовых выбросов от важных источников в процессах производства в черной металлургии с помощью использования одной или более из следующих технологий в зависимости и в соответствии с местными условиями:

- Реализация стратегии снижения уровня шума
- Ограждение шумных процессов/установок
- Защита от вибрации процессов/установок
- Внутренняя и внешняя облицовка, выполненная из шумопоглощающего материала
- Шумозащитные здания для укрытия от любых шумных процессов, связанных с оборудованием для преобразования материалов
- Защитные стены от шума в зданиях, например, строительство зданий или естественных препятствий, таких как растущие деревья и кусты между охраняемой территорией и деятельностью, вызывающей шум
- Выходные шумоглушители на существующих дымовых трубах
- Дымовые трубы и вентиляторы с изоляцией, которые расположены в звуконепроницаемых зданиях
- Закрытие дверей и окон в закрытой зоне.

9.2 Заключение по ВАТ для агломерационных установок

Если только не будет установлено иное, заключения по НДТ, представленные в этой главе, можно применять для всех агломерационных установок.

Выбросы в воздух

19). НДТ для составления смесей/смешения с целью предотвращения или снижения рассеянных выбросов путем брикетирования материалов с мелкими фракциями с помощью корректирования влагосодержания (см. также НДТ 11).

20). НДТ для первичных выбросов от агломерационных установок связан со снижением выбросов пыли от отходящих газов с агломерационной ленты с помощью использования современных электрофильтров, когда не применимы рукавные фильтры.

Уровни выбросов, связанные с ВАТ, для пыли $<1 - 15 \text{ мг/нм}^3$ для рукавных фильтров и $<40 \text{ мг/нм}^3$ для современных электрофильтров (которые должны проектироваться и эксплуатироваться для достижения этих значений); и то и другое определено на основе среднесуточных значений.

Рукавные фильтры

Рукавные фильтры, используемые на агломерационных установках, обычно применяются после существующих электрофильтров или циклонов, но они могут также работать как автономное устройство.

Применимость

Для существующих установок важными могут быть такие требования как наличие места для размещения рукавного фильтра после электрофильтра. Особое внимание следует уделять сроку службы и характеристикам существующего электрофильтра.

Современный электрофильтр

Современные электрофильтры характеризуются одним или сочетанием следующих свойств:

- Надлежащий контроль технологического процесса
- Дополнительные электрические поля
- Согласованное напряжение электрического поля
- Согласованное влагосодержание
- Улучшение свойств с добавками
- Повышенное или регулируемое импульсное напряжение
- Напряжение быстрого реагирования
- Наложение импульса высокой энергии
- Движущиеся электроды
- Увеличение расстояния между пластинчатыми электродами или изменение других свойств, которые повышают эффективность очистки.

21). НДТ для первичных выбросов от агломерационной ленты с целью предотвращения или снижения выбросов ртути с помощью выбора сырьевых материалов с низким содержанием ртути (см. НДТ 7) или очистки отходящих газов в сочетании с вдуванием активированного угля или активированного бурого угольного кокса.

Уровни выбросов, связанные с БАТ, для ртути $<0,03 - 0,05$ мг/нм³, как среднее за период отбора пробы (дискретное измерение, разовые пробы, по крайней мере, в полчаса).

22). БАТ для первичных выбросов от агломерационных лент с целью снижения выбросов оксидов серы (SO_x) с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Снижение поступления серы с помощью использования коксовой мелочи с низким содержанием серы

II. Снижение поступления серы с помощью минимизации потребления коксовой мелочи

III. Снижение поступления серы с помощью использования железной руды с низким содержанием серы

IV. Вдувание адекватных адсорбционных агентов в газопоток отходящих газов после агломерационной ленты перед обеспыливанием на рукавном фильтре (см. НДТ 20)

V. Мокрая десульфуризация или процесс с регенеративным активированным углем (РАС) (с частичным учетом предварительных условий для применения).

Уровень выбросов, связанных с БАТ, для оксидов серы (SO_x) с использованием НДТ I-IV, составляет $<350 - 500$ мг/нм³, выражаемый как диоксид серы (SO₂), и определяется как среднесуточное значение, более низкое значение относится к НДТ IV.

Уровень выбросов, связанных с БАТ, для оксидов серы (SO_x) с использованием НДТ V, составляет <100 мг/нм³, выражаемый как диоксид серы (SO₂), и определяется как среднесуточное значение.

Описание процесса RAC, упомянутого в НДТ V

Технологии десульфуризации, основанные на адсорбции SO_2 с помощью активированного угля. Когда регенерируется активированный уголь, содержащий SO_2 , процесс называется регенеративным с помощью активированного угля (RAC). В этом случае можно использовать дорогой активированный уголь, и серная кислота (H_2SO_4) получается как побочный продукт. Слой регенерируется либо с помощью воды или термически. В некоторых случаях для “точной настройки” после существующей установки десульфуризации используется активированный углерод на основе лигнита. В этом случае активированный уголь, содержащий SO_2 , обычно сжигается в контролируемых условиях.

Система RAC может быть разработана как одностадийный или двухстадийный процесс.

В одностадийном процессе отходящие газы проходят через слой активированного угля, и загрязняющие вещества адсорбируются активированным углем. Кроме того, удаление NO_x происходит, когда аммиак (NH_3) вдувается в поток газа перед слоем катализатора.

В двухстадийном процессе отходящие газы направляются через два слоя активированного угля. Аммиак может вдуваться перед слоем для снижения выбросов NO_x .

Применимость технологий, упомянутых в рамках НДТ V

Мокрая десульфуризация: Требования к площади могут иметь серьезное значение, и они могут ограничить применимость. Высокие капитальные и эксплуатационные затраты и существенные взаимодействия между средами, такие как образование шлама и меры по его размещению и дополнительной очистке сточных вод, должны учитываться. Эта технология не использовалась в Европе во время написания, но она может быть вариантом, когда стандарты качества окружающей среды едва ли могут быть выполнены с помощью применения других технологий.

RAC: Очистка от пыли должна быть установлена перед процессом RAC для снижения концентрации пыли на входе. Вообще, планирование установки и требования к месту являются важными факторами при рассмотрении этой технологии, но в особенности для ситуаций, когда имеется больше одной агломерационной ленты.

Высокие инвестиционные и эксплуатационные затраты, в частности, когда может использоваться высококачественный, дорогой активированный уголь, и необходима установка для производства серной кислоты, что необходимо учитывать. Эта технология не использовалась в Европе во время написания этого справочного документа, но она может оказаться вариантом для целевой очистки от SO_x , NO_x , пыли и PCDD/F одновременно, и в обстоятельствах, когда стандарты качества окружающей среды едва ли будут выполняться с помощью применения других технологий.

23). НДТ для первичных выбросов от агломерационных лент с целью снижения общих выбросов оксидов азота (NO_x) с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Процесс комплексных мер, которые могут включать:

i. Рециркуляцию отходящих газов

ii. Другие первичные меры, такие как использование антрацита или горелок с низкими выбросами NOx для зажигания аглошихты

II. Технологии в конце технологического процесса, которые могут включать:

i. Процесс регенеративного активированного угля (RAC)

ii. Селективное каталитическое восстановление (SCR)

Уровень выбросов, связанный с НДТ, для оксидов азота (NOx) с использованием мер, интегрированных в процесс, составляет $<500 \text{ мг/нм}^3$, выраженных как диоксид азота (NO₂), относящихся к содержанию кислорода 15% и определенных как среднесуточные значения.

Описание рециркуляции отходящих газов в рамках НДТ I.i

При частичном рециклинге отходящих газов некоторая часть отходящих газов после агломерационной ленты рециркулирует, возвращаясь в процесс спекания. Частичный рециклинг отходящих газов от всей ленты был разработан главным образом для снижения расхода отходящих газов, и, таким образом, массовых выбросов основных загрязняющих веществ. Кроме того, это может привести к снижению потребления энергии. Применение рециркуляции отходящих газов требует особых усилий для обеспечения того, чтобы не было негативного воздействия на качество агломерата и производительность. Особое внимание следует уделять монооксиду углерода (CO) в рециркулируемых отходящих газах для предотвращения отравления рабочих монооксидом углерода. Были разработаны различные процессы, такие как:

- Частичный рециклинг отходящих газов от всей ленты
- Рециклинг отходящих газов от торца агломерационной ленты в сочетании с теплообменом:

- рециклинг отходящих газов от части торца агломерационной ленты и использование отходящих газов от охладителя агломерата

- рециклинг части отходящих газов в другие части агломерационной ленты.

Применимость НДТ I.i

Применимость этой технологии зависит от конкретных условий на аглофабрике. Должны быть рассмотрены сопровождающие меры для обеспечения того, чтобы качество агломерата (механическая прочность в холодном состоянии) и производительность ленты не подвергались негативному воздействию. В зависимости от местных условий, они могут быть относительно незначительными и легко выполнимыми, или, наоборот, они могут иметь более фундаментальную природу, и могут быть трудными для выполнения. В любом случае рабочие условия на ленте должны проверяться, когда эта технология внедряется.

На существующих заводах может не оказаться возможности для реализации частичного рециклинга отходящих газов вследствие ограничений с местом.

Важные соображения в отношении определения применимости этой технологии включают:

- Исходная конфигурация ленты (например, двойной или одинарный тракт воздушного короба, место, имеющееся для нового оборудования, в случае необходимости, удлинение ленты)
- Исходная конструкция существующего оборудования (например, вентиляторы, системы очистки газа и грохочения и охлаждения агломерата)
- Начальные условия эксплуатации (например, сырьевой материал, высота слоя, давление всасывания, процент негашеной извести в смеси, удельный расход, процент возврата в шихту)
- Существующие показатели производительности и потребления твердого топлива
- Основность агломерата и состав шихты в доменной печи (например, процент агломерата по сравнению с процентом окатышей в шихте, содержание железа в этих компонентах).

Применимость других первичных мер в рамках НДТ I.ii

Использование антрацита зависит от наличия антрацита с пониженным содержанием азота по сравнению с коксовой мелочью.

Описание и применимость процесса RAC в рамках НДТ II.i (см. НДТ 22)

Применимость процесса SCR в рамках НДТ II.ii

SCR можно применять в системе с высоким содержанием пыли, в системе с низким содержанием пыли и в качестве системы очистки газа. До настоящего времени только системы очистки газа (после обеспыливания и десульфуризации) применялись на агломерационных установках. Важно, чтобы в газе было низкое содержание пыли (<40 мг пыли/ nm^3) и тяжелых металлов, поскольку они могут сделать поверхность катализатора неэффективной. Кроме того, может потребоваться десульфуризация перед катализатором. Еще одним предварительным условием является минимальная температура отходящих газов около 300°C . Для этого требуется потребление энергии.

Высокие капитальные и эксплуатационные затраты необходимы для регенерации. Потребление NH_3 и суспензии, накопление взрывоопасного нитрата аммония (NH_4NO_3), образование коррозионного SO_3 и дополнительное потребление энергии для нагрева, которое может снизить возможности утилизации физического тепла от процесса спекания, все это может ограничить применимость. Эта технология может быть вариантом, когда стандарты качества окружающей среды едва ли могут быть выполнены с помощью применения других технологий.

24). НДТ для первичных выбросов от агломерационных лент с целью предотвращения и (или) снижения выбросов полихлорированных дибензодиоксинов/фуранов (PCDD/F) и полихлорированных бифенилов (PCB) с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Предотвращение использования сырьевых материалов, которые содержат полихлорированные дибензодиоксины/фураны (PCDD/F) и полихлорированные бифенилы (PCB) или их прекурсоров в максимально возможной степени (см. НДТ 7)

II. Подавление образования полихлорированных дибензодиоксинов/фуранов (PCDD/F) с помощью добавки соединений азота

III. Рециркуляция отходящих газов (см. НДТ 23 с описанием и применимостью).

25). НДТ для первичных выбросов от агломерационных лент с целью снижения выбросов полихлорированных дибензодиоксинов/фуранов (PCDD/F) и полихлорированных бифенилов (PCB) с помощью вдувания адекватных адсорбционных агентов в газопоток отходящих газов после агломерационной ленты перед обеспыливанием рукавным фильтром или современным электрофильтром, когда не применимы рукавные фильтры (см. НДТ 20).

Уровень выбросов, связанных с ВАТ, для полихлорированных дибензодиоксинов/фуранов (PCDD/F), составляет $<0,05 - 0,2$ нг I-TEQ/нм³ для рукавного фильтра и $<0,2 - 0,4$ нг I-TEQ/нм³ для современного электрофильтра, как определено для 6-8 часовой разовой пробы для установившегося режима.

26). НДТ для вторичных выбросов от выгрузки с агломерационной ленты, дробления агломерата, охлаждения, грохочения и позиций перегрузки конвейера с целью предотвращения выбросов пыли и (или) для достижения эффективного отвода и соответственно снижения выбросов с помощью одной или сочетания следующих технологий:

I. Зонт и (или) кожух

II. Электрофильтр или рукавный фильтр.

Уровень выбросов, связанных с ВАТ, для пыли составляет <10 мг/нм³ для рукавного фильтра и <30 мг/нм³ для электрофильтра, в обоих случаях в качестве среднесуточного значения.

Вода и сточные воды

27). НДТ для минимизации потребления воды на агломерационных установках с помощью рециклинга охлаждающей воды в максимально возможной степени, если только не будут использоваться прямоточные системы охлаждения.

28). НДТ для очистки сточной воды от агломерационных установок, когда используется промывная вода, или когда применяется мокрая система очистки отходящих газов перед сбросом, с использованием сочетания следующих технологий:

I. Осаждение тяжелых металлов

II. Нейтрализация

III. Фильтрация через песчаный фильтр.

Уровень сбросов, связанных с НДТ, на основе квалифицированной разовой пробы или 24-часовой усредненной пробы, составит:

- взвешенные твердые вещества <30 мг/л
- химическое потребление кислорода (ХПК) (1) <100 мг/л
- тяжелые металлы $<0,1$ мг/л (сумма As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb и Zn).

(1) В некоторых случаях вместо ХПК измеряется ТОС (общий органический углерод) (для того чтобы избежать HgCl₂, используемого в анализе на ХПК). Корреляция между ХПК и ТОС должна быть выяснена для каждой конкретной агломерационной ленты. Отношение ХПК/ТОС может изменяться от 2 до 4.

Остатки производства

29). НДТ для предотвращения образования отходов на агломерационной установке с помощью использования одной или сочетания следующих технологий (см. НДТ 8):

I. Селективный рециклинг по месту с возвратом остатков в процесс спекания при исключении тяжелых металлов, щелочных металлов или фракций мелкой пыли, обогащенных хлоридами (например, в пыли от последнего поля электро-фильтра)

II. Внешний рециклинг, когда затруднен рециклинг по месту.

НДТ для контролируемого управления остатками от процесса спекания агломерата, которых нельзя ни избежать, ни подвергнуть рециклингу.

30). НДТ для максимально возможного рециклинга остатков, в которых могут содержаться масла, таких как пыль, шлам и прокатная окалина, в которых содержатся железо и углерод с агломерационной ленты, и от других процессов на металлургическом заводе с полным циклом, с возвратом на агломерационную ленту, с учетом соответствующего содержания масла.

31). НДТ для снижения содержания углеводородов в шихте для агломерата с помощью надлежащего выбора и предварительной обработки остатков процесса. Во всех случаях содержание масла в производственных остатках рециклинга должно быть $<0,5\%$, а содержание в шихте $<0,1\%$.

Можно минимизировать поступление углеводородов, в особенности с помощью снижения поступления нефтепродуктов. Их поступление в шихту для производства агломерата связано главным образом с добавкой прокатной окалины. Содержание нефтепродуктов в прокатной окалине может изменяться в значительной степени, в зависимости от происхождения этой окалины.

Технологии для минимизации поступления нефтепродуктов с пылью и прокатной окалиной включают следующее:

- Ограничение поступления нефтепродуктов с помощью разделения и последующего отбора только такой пыли и прокатной окалины, у которых низкое содержание нефтепродуктов

- Использование технологий “с рациональными методами управления” в прокатном производстве может привести к существенному снижению загрязнения прокатной окалины нефтепродуктами

- Обезмасливание прокатной окалины с помощью:

- нагрева прокатной окалины примерно до 800°C , при которой нефтяные углеводороды повторно улетучиваются, и остается чистая прокатная окалина; улетучившиеся углеводороды можно сжечь

- отделение нефтепродуктов от прокатной окалины с использованием растворителей.

Энергия

32). НДТ для снижения потребления тепловой энергии на агломерационных установках с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Утилизация физического тепла отходящих газов от охладителя агломерата

II. Утилизация физического тепла, при возможности, отходящих газов от агломерационной колосниковой решетки

III. Максимальная степень рециркуляции отходящих газов для использования физического тепла (см. НДТ 23 с описанием и применимостью).

Два вида потенциального использования вторичных энергоресурсов, теряемых на агломерационных установках:

- Физическое тепло отходящих газов от агломерационных машин
- Физическое тепло отходящего воздуха от охладителя агломерата.

Частичная рециркуляция отходящих газов является отдельным случаем утилизации тепла отходящих газов от агломерационных машин, и этот случай относится к НДТ 23. Физическое тепло передается непосредственно слою агломерата с помощью горячих рециркулируемых газов. Во время написания этого справочного документа (2010 г.) это был единственный практический метод утилизации тепла отходящих газов.

Физическое тепло горячего воздуха от охладителя агломерата может быть утилизировано с помощью одного или более следующих способов:

- Генерация пара в котле-утилизаторе для использования его на металлургических заводах
- Получение горячей воды для районного теплоснабжения
- Подогрев воздуха для сжигания в зажигателе спекательной машины
- Подогрев шихты для получения агломерата
- Использование газов охладителя агломерата в системе рециркуляции отходящих газов.

Применимость

На некоторых установках существующая конфигурация может сделать затраты на утилизацию тепла от отходящих газов процесса агломерации или отходящих газов охладителя агломерата очень высокими.

Утилизация тепла отходящих газов с помощью теплообменника должна привести к неприемлемой конденсации и проблемам коррозии.

9.3 Заключение по ВАТ для установок для получения окатышей

Если только не будет установлено иное, заключения по НДТ, представленные в этой главе, можно применять для всех установок для получения окатышей.

Выбросы в воздух

33). НДТ для снижения выбросов пыли в отходящих газах от:

- Предварительной переработки, сушки, измельчения, увлажнения, смешивания и комкования сырьевых материалов

- Ленты отвердевания
- Транспортирования и просеивания окатышей

с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Электрофильтра

II. Рукавного фильтра

III. Мокрого скруббера.

Уровень выбросов, связанных с ВАТ, для пыли составляет $<20 \text{ мг/нм}^3$ для дробления, измельчения и сушки и $<10 - 15 \text{ 20 мг/нм}^3$ для всех других стадий процесса или в случаях, когда все отходящие газы очищаются вместе, и все выбросы определяются как среднесуточные значения.

34). НДТ для снижения выбросов оксидов серы (SO_x), хлорида водорода (HCl) и фторида водорода (HF) от отходящих газов на ленте отвердевания окатышей с помощью использования одной из следующих технологий:

I. Мокрого скруббера

II. Полусухой абсорбции с последующей системой обеспыливания.

Уровень выбросов, связанных с НДТ, определяется как среднесуточные значения, для следующих соединений:

- Оксиды серы (SO_x), выражаемые как диоксид серы (SO_2), $<30 - 50 \text{ мг/нм}^3$
- Хлорид водорода, $<1 - 3 \text{ мг/нм}^3$
- Фторид водорода, $<1 - 3 \text{ мг/нм}^3$

35). НДТ для снижения выбросов NO_x в отходящих газах от секций сушки и измельчения и участка отвердевания с помощью применения технологий, интегрированный в технологический процесс

При проектировании установки с помощью простых решений следует оптимизировать процесс с целью достижения низких уровней оксидов азота (NO_x) со всех секций, где происходит обжиг. Снижение образования термических NO_x можно достичь с помощью снижения (пиковой) температуры в горелках и снижения содержания избыточного кислорода в воздухе для сжигания. Кроме того, более низких выбросов NO_x можно достичь с помощью сочетания низкого потребления энергии и низкого содержания азота в топливе (угле или жидком топливе).

36). НДТ для существующих установок с целью снижения выбросов NO_x в отходящих газах от секций сушки и измельчения и участка отвердевания с помощью применения следующих технологий:

I. Селективного каталитического восстановления (SCR) как технологии в конце технологического процесса

II. Любой другой технологии с эффективностью снижения выбросов оксидов азота, по крайней мере, 80%.

Применимость

Для существующих установок как для системы обжига с прямолинейным движением, так и для системы обжига в ротационной печи трудно достичь рабочих условий, которые подходили бы для реактора SCR. Вследствие высоких затрат эти технологии в конце технологического процесса должны рассматриваться только в обстоятельствах, когда стандарты качества окружающей среды иным способом не будут соблюдаться.

37). НДТ для новых установок с целью снижения выбросов NO_x в отходящих газах от секций сушки и измельчения и участка отвердевания с помощью применения селективного каталитического восстановления (SCR) как технологии в конце технологического процесса.

Вода и сточные воды

38). НДТ для установок для получения окатышей с целью минимизации потребления воды и сброса скрубберной, промывной и охлаждающей воды и как можно большего ее повторного использования.

39). НДТ для установок для получения окатышей с целью очистки сточной воды перед ее сбросом с использованием следующих технологий:

- I. Нейтрализации
- II. Флокуляции
- III. Осаждения
- IV. Фильтрации через песчаный фильтр
- V. Осаждения тяжелых металлов.

Уровни сброса, связанные с НДТ, на основе квалифицированной разовой пробы или 24-часовой усредненной пробы, таковы:

- Взвешенные твердые вещества <50 мг/л
- Химическая потребность в кислороде (ХПК) (1) <160 мг/л
- Азот по Кьельдалю <45 мг/л
- Тяжелые металлы <0,55 мг/л
(сумма As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn).

(1) В некоторых случаях вместо ХПК измеряется ТОС (общий органический углерод) (для того чтобы избежать HgCl₂, используемого в анализе на ХПК). Корреляция между ХПК и ТОС должна быть выяснена для каждой конкретной агломерационной ленты. Отношение ХПК/ТОС может изменяться от 2 до 4.

Остатки производства

40). НДТ для предотвращения образования отходов на установках для получения окатышей с помощью эффективного рециклинга по месту или повторного использования остатков (т.е. проходящих через сито сырых и термообработанных окатышей).

НДТ для контролируемого управления остатками от технологического процесса на установке для получения окатышей, т.е. шламов от очистки сточных вод, которых нельзя избежать или подвергнуть рециклингу.

Энергия

41). НДТ для снижения/минимизации потребления тепловой энергии на установках для получения окатышей с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

- I. Комплексный процесс максимально возможной утилизации физического тепла от различных секций установки для затвердевания
- II. Использование избыточного тепла отходящих газов для внутренних или внешних тепловых сетей, если имеется спрос от третьей стороны.

Горячий воздух из секции первичного охлаждения можно использовать в качестве вторичного воздуха для сжигания в секции обжига. В свою очередь, тепло от секции обжига можно использовать в секции сушки на участке затвердевания окатышей. Тепло от секции вторичного охлаждения можно также использовать в секции сушки.

Избыточное тепло от секции охлаждения можно использовать в камерах сушки и в установке измельчения. Горячий воздух транспортируется через теплоизолированный трубопровод, который называется “газоходом рециркуляции горячего воздуха”.

Применимость

Утилизация физического тепла является составной частью технологического процесса на установке для получения окатышей. “Газоход рециркуляции горячего воздуха” можно применять на существующих установках с сопоставимой конструкцией и с достаточной поставкой физического тепла.

Сотрудничество и соглашение с третьей стороной не может быть под контролем оператора, и, поэтому, е может быть в области действия разрешения.

9.4 Заключение по НДТ для коксогазовых заводов

Если только не будет установлено иное, заключения по НДТ, представленные в этом разделе, можно применять для всех коксогазовых заводов.

Выбросы в воздух

42). НДТ для установок для помола угля (подготовка угля включает дробление, измельчение, пылеприготовление и просеивание) с целью предотвращения или снижения выбросов пыли с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Герметизация зданий и (или) устройств (дробилка, угольная мельница, грохоты)

II. Эффективный отвод и использование последующих систем пылеудаления.

Уровень выбросов, связанных с НДТ, для пыли составляет $<10-20$ мг/нм³, как среднесуточный в течение периода отбора пробы (периодические измерения, единичные пробы, по крайней мере, через полчаса).

43). НДТ для хранения и транспортирования угольной пыли с целью предотвращения или снижения рассеянных выбросов пыли с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Хранение порошкообразных материалов в бункерах и на складах

II. Использование закрытых или герметичных конвейеров

III. Минимизация высоты падения в зависимости от размеров установки и ее конструкции

IV. Снижение выбросов от загрузки в расходную башню и загрузочную тележку

V. Использование эффективного отвода и последующего пылеудаления.

При использовании ВАТ V Уровень выбросов, связанных с ВАТ, для пыли составляет $<10 - 20$ мг/нм³, как среднее значение в течение периода между отбором проб (периодические измерения, единичные пробы, по крайней мере, через полчаса).

44). НДТ для загрузки коксовой печи с системами загрузки с подавлением выбросов

С обобщенной точки зрения, “бездымная загрузка” или последовательная загрузка с двойными подъемными трубами или с U-образными трубами является предпочтительным типом, поскольку все газы и пыль очищаются как часть очистки коксового газа.

Если, однако, газы отводятся и очищаются вне коксовой печи, загрузка с базовой системой очистки отводимых газов является предпочтительным методом. Очистка должна состоять из эффективной системы отвода выбросов с последующим сжиганием для снижения количества органических соединений и использованием рукавного фильтра для снижения выбросов твердых частиц.

Уровень выбросов, связанных с НДТ, для пыли в случае систем загрузки с базовой системой очистки отводимых газов составляет <5 г/т коксового эквивалента до 50 мг/нм³, как среднее значение за период между отборами пробы (периодические измерения, единичные пробы, по крайней мере, через полчаса).

Длительность видимых выбросов, связанных с НДТ, при загрузке составляет <30 с на загрузку как среднеемесячное значение, с использованием метода мониторинга, описанного в НДТ 46.

45). НДТ для отвода максимально возможного количества коксового газа в течение коксования.

46). НДТ для коксового завода с целью снижения выбросов при достижении непрерывного производства кокса с помощью использования следующих технологий:

I. Всестороннее обслуживание камер коксования коксовых печей, дверц печей и рамных уплотнений, подъемных труб, загрузочных окон и другого оборудования (например, должна выполняться систематическая программа специально обученным персоналом в определении неисправностей и обслуживании)

II. Предотвращение сильных колебаний температуры

III. Комплексное наблюдение и мониторинг коксовой печи

IV. Очистка дверей, рамных уплотнений, загрузочных окон, крышек и подъемных труб после загрузочно-погрузочных работ (применимых на новых, и в некоторых случаях) на существующих коксовых заводах

V. Регулирование потока коксового газа

VI. Регулирование адекватного давления в течение коксования и применения дверей подпружиненным гибким уплотнением или с клиновидным запором (в случае печей с высотой ≥ 5 м и находящихся в состоянии пригодности к работе)

VII. Использование затопленных подъемных труб для снижения видимых выбросов от всего оборудования, которое обеспечивает проход от батареи коксовых печей к общему газоходу, изогнутой S-образной трубе и стационарным U-образным трубам

VIII Заделка крышек загрузочных окон глинистой суспензией (или другим подходящим материалом) для снижения видимых выбросов со всех отверстий

IX. Обеспечение полного коксования (предотвращение выхода неготового кокса) с помощью применения адекватных способов

Х. Установка более крупных камер коксовых печей (применимо к новым заводам или в некоторых случаях к полной замене коксовых печей на старых фундаментах)

ХІ. При возможности использование системы регулирования с переменным давлением для камер коксовых печей в течение коксования (применимо к новым цехам и может стать вариантом для существующих цехов; имеется возможность применения такой системы в существующих цехах, что необходимо тщательно оценить, с учетом конкретной ситуации в каждом коксовом цехе).

Процентная доля видимых выбросов от всех дверц и окон, связанная с НДТ, составляет <5-10%. Процентная доля видимых выбросов для всех типов источников, связанная с НДТ VII и НДТ VIII, составляет <1%.

Процентные значения, относящиеся к частоте любых утечек, по сравнению с общим количеством дверц, подъемных труб или крышек загрузочных окон, как среднемесячные значения с использованием метода мониторинга, описаны ниже.

Для оценки рассеянных выбросов из коксовых печей используются следующие методы:

- Метод ЕРА 203
- Методология DMT (Deutsche Montan Technologie GmbH)
- Методология, разработанная BCRA (Британская коксохимическая ассоциация)
- Методология, применяемая в Нидерландах и основанная на подсчете видимых утечек от подъемных труб и загрузочных окон, и в то же самое время исключающая видимые выбросы при обычной работе (загрузка угля, выдача кокса).

47). НДТ для установки очистки газа с целью минимизации рассеянных газообразных выбросов с использованием следующих технологий:

I. Минимизация количества фланцев с помощью сварки трубных соединений, когда это возможно

II. Использование соответствующих уплотнений для фланцев и клапанов

III. Использование герметичных насосов (например, магнитных насосов)

IV. Предотвращение выбросов от запорных клапанов в баках-хранилищах с помощью:

- Соединения выпуска капана с газопроводом коксового газа
- Сбора газов и последующего сжиганием.

Применимость

Технология может применяться как для новых, так и для существующих коксовых цехов. В новых цехах легче может оказаться газонепроницаемая конструкция, чем в существующих цехах.

48). НДТ для снижения содержания серы в коксовом газе с использованием одной из следующих технологий:

I. Десульфуризация с помощью абсорбционных систем

II. Мокрая окислительная десульфуризация

Остаточные концентрации сульфида водорода (H_2S), связанные с НДТ, определяются как среднесуточные значения, и составляют $<300 - 1000 \text{ мг/нм}^3$ в случае использования НДТ I (более высокие значения связаны с повышенной температурой, а более низкие значения – с более низкой температурой окружающего воздуха) и $<10 \text{ мг/нм}^3$ в случае использования НДТ II.

49). НДТ для коксовых печей с нижним подводом газа с целью снижения выбросов с помощью использования следующих технологий:

I. Предотвращение утечек между камерой печи и камерой нагрева с помощью регулярной работы коксовой печи

II. Предотвращение утечек между камерой печи и нагревательной камерой (применимо только для существующих цехов)

III. Внедрение технологий с низкими выбросами оксидов азота при строительстве новых коксовых батарей, таких как стадийное сжигание, и использование более тонких кирпичей и огнеупоров с лучшей теплопроводностью (применимо только на новых печах)

IV. Использование коксового газа, подвергнутого десульфуризации.

Уровни выбросов, связанные с НДТ, определяются как среднесуточные значения при содержании кислорода 5%, и относятся к:

- Оксидам серы (SO_x), выражаемым как диоксид серы (SO_2) $<200 - 500 \text{ мг/нм}^3$
- Пыли $<1 - 20 \text{ мг/нм}^3$ (1)

• Оксидам азота (NO_x), выраженным как диоксид азота (NO_2) $<350 - 500 \text{ мг/нм}^3$ для новых или существенно модернизированным установкам (со сроком службы менее 10 лет) и $500 - 650 \text{ мг/нм}^3$ для старых установок с хорошо обслуживаемыми коксовыми батареями и внедренными технологиями с низкими выбросами оксидов азота.

(1) Нижние значения диапазона были определены на основе показателей одной конкретной установки, достигнутые в условиях эксплуатации с использованием BAT.

50). НДТ для выдачи кокса с целью снижения выбросов пыли с помощью использования следующих технологий:

I. Выдача с помощью двересъемной машины, оснащенной зонтом

II. Использование базовой системы отвода и очистки газа с рукавным фильтром или другими системами очистки

III. Использование мобильного коксотушильного вагона.

Уровень выбросов, связанный с НДТ, для пыли после выдачи кокса, составляет $<10 \text{ мг/нм}^3$ в случае рукавных фильтров и $<20 \text{ мг/нм}^3$ в других случаях, определенный как средний в течение периода между отборами пробы (периодические измерения, разовые пробы, по крайней мере, через полчаса).

Применимость

На существующих заводах недостаток места может ограничить применимость.

51). НДТ для тушения кокса с целью снижения выбросов пыли с помощью использования одной из следующих технологий:

I. Использование сухого тушения кокса (CDQ) с утилизацией физического

тепла и удалением пыли при операций загрузки, транспортирования и грохочения с помощью рукавного фильтра

II. Использование обычного мокрого тушения с минимизацией выбросов

III. Использование стабилизационного тушения кокса (CSQ).

Уровни выбросов, связанные с НДТ, для пыли, определенные как средние в течение периода между отборами проб, таковы:

- $<20 \text{ мг/нм}^3$ в случае сухого тушения кокса
- $<25 \text{ г/т кокса}$ в случае выбросов, которые минимизируется с помощью обычного мокрого тушения(1)
- $<10 \text{ г/т кокса}$ в случае стабилизационного тушения кокса(2)

(1) Этот уровень основан на использовании не изокINETического метода Морхауэра (бывший метод VDI 2303)

(2) Этот уровень основан на изокINETического метода отбора проб в соответствии с VDI 2066.

Описание НДТ I

Для непрерывной работы установок сухого тушения кокса имеется два варианта. В одном случае установка сухого тушения кокса содержит от двух до четырех камер. Одна из них всегда находится в резерве. Следовательно, нет необходимости в мокром тушении, но необходима избыточная мощность для сухого тушения, что связано с высокими затратами. В другом случае необходима дополнительная система мокрого тушения.

В случае модификации установки для мокрого тушения в установку сухого тушения, существующая система мокрого тушения может оставаться для этой цели. Такая установка сухого тушения кокса не должна превышать мощности для переработки для коксового цеха.

Применимость НДТ II

Существующие башни тушения кокса могут быть оснащены дефлекторами для снижения выбросов. Необходима минимальная высота башни, по крайней мере, в 30 м для обеспечения достаточного уровня отсоса.

Применимость НДТ III

Так как система больше, чем необходимо для обычного тушения, недостаток места может стать ограничением.

52). НДТ для регулирования гранулометрического состава кокса с целью предотвращения или снижения выбросов пыли с использованием следующих технологий в сочетании:

I. Использование закрытого здания или устройства

II. Эффективный отвод и последующее обеспыливание.

Уровень выбросов, связанный с ВАТ, для пыли составляет $<10 \text{ мг/нм}^3$, определенный как среднее значение в течение периода между отбором проб (периодические измерения, разовые пробы, по крайней мере, через полчаса).

Вода и сточные воды

53). НДТ для минимизации и повторного использования охлаждающей воды в максимально возможной степени.

54). НДТ для предотвращения повторного использования технологической воды со значительной органической нагрузкой (типа неочищенных сточных вод от коксовой печи, сточных вод с высоким содержанием углеводов и т.д.) в качестве охлаждающей воды.

55). НДТ для предварительной очистки сточных вод от процесса коксования и очистки коксового газа перед сбросом в установку для очистки сточных вод с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Эффективное удаление смолы и полициклических ароматических углеводов (ПАУ) с помощью использования флокуляции и последующей флотации, осаждения и фильтрации индивидуально или в сочетании

II. Эффективная отгонка аммиака с использованием щелочи и пара.

56). НДТ для предварительной обработки сточных вод от процесса коксования и очистки коксового газа с целью использования биологической очистки сточных вод вместе со стадиями денитрификации/нитрификации.

Уровни выбросов, связанных с НДТ, основанные на квалифицированной разовой пробе или 24-часовой усредненной пробе и относятся только к единичным установкам для очистки сточных вод коксового цеха, охватывающие:

- Химическое потребление кислорода (ХПК)(1) <220 мг/л
- Биохимическая потребность в кислороде за 5 дней (БПК5) <20 мг/л
- Сульфиды, легко выделяемые (2) <0,1 мг/л
- Тиоцианаты (SCN-) <4 мг/л
- Цианиды (CN-), легко выделяемые <0,1 мг/л (3)
- Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) <0,05 мг/л (сумма флуорантена, бенз-б-флуорантена, бенз-к-флуорантена, бенз-а-пирена, индено (1,2,3-cd) пирена и бенз (g,h,i) перилена)
- Фенолы <0,5 мг/л
- Сумма аммонийного азота (NH₄⁺), нитратного азота (NO₃⁻ - N) и нитритного азота (NO₂⁻ - N) <15-50 мг/л

Что касается суммы аммонийного азота, нитратного азота и нитритного азота, то значения <35 мг/л обычно связаны с применением новейших установок для биологической очистки сточных вод с предварительной нитрификацией/нитрификацией и последующей нитрификацией.

(1) В некоторых случаях вместо ХПК измеряется ТОС (общий органический углерод) (для того чтобы избежать HgCl₂, используемого в анализе на ХПК). Корреляция между ХПК и ТОС должна быть выяснена для каждой конкретной агломерационной ленты. Отношение ХПК/ТОС может изменяться от 2 до 4.

(2) Этот уровень основан на использовании DIN 38045 D 27 или любого другого национального или международного стандарта, который обеспечивает получение данных с эквивалентным научным качеством.

(3) Этот уровень основан на использовании DIN 38045 D 27 или любого другого национального или международного стандарта, который обеспечивает получение данных с эквивалентным научным качеством.

Остатки производства

57). НДТ для рециклинга остатков производства, таких как смола от водоугольной суспензии, и избыточного активного ила от установки для очистки сточных вод, с возвратом в подачу угля на коксохимическом заводе.

Энергия

58). НДТ для использования отводимого коксового газа в качестве топлива или восстановительного агента или для производства химикатов.

9.5 Заключение по БАТ для доменных печей

Если только не будет установлено иное, заключения по НДТ, представленные в этой главе, можно применять для всех доменных печей.

Выбросы в воздух

59). НДТ для вытесненного воздуха в течение погрузки шихтовых бункеров, предназначенных для установок для вдувания угля с целью улавливания выбросов пыли и проведения последующего сухого обеспыливания.

Уровень выбросов, связанных с НДТ, для пыли составляет $<20 \text{ мг/нм}^3$, определенный как средний в течение периода между отбором проб (периодические измерения, разовые пробы, по крайней мере, через полчаса).

60). НДТ для подготовки шиты (смешение, составление смесей) и ее транспортирования с целью минимизации выбросов пыли, и в соответствующих случаях, отвод газов с последующим обеспыливанием с помощью электрофильтра или рукавного фильтра.

61). НДТ для литейного двора (летки, выпускные желоба, ковши-чугуновозы, скиммерные устройства) с целью предотвращения или снижения выбросов пыли с помощью использования следующих технологий:

I. Покрытие выпускных желобов

II. Оптимизация эффективности очистки для рассеянных выбросов пыли и дыма с последующей очисткой отходящих газов с помощью электрофильтра или рукавного фильтра

III. Подавление дыма с использованием азота при выпуске плавки, при необходимости, и когда не установлены системы для отвода и обеспыливания выбросов при выпуске плавки.

При использовании БАТ II уровень выбросов, связанный с БАТ, для пыли составляет $<1 - 15 \text{ мг/нм}^3$, определенный как среднесуточное значение.

62). НДТ для использования футеровки без смолы.

63). НДТ для минимизации выбросов доменного газа в течение загрузки с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Бесконусное загрузочное устройство с первичным и вторичным выравниванием давления

II. Система утилизации газа или вентиляции

III. Использование доменного газа для повышения давления в верхних бункерах системы загрузки.

Применимость НДТ II

Применимо для новых доменных печей. Применимо для существующих до-

менных печей только, когда печь имеет бесконусную системы загрузки. Не применимо для печей, в которых иные газы, чем доменный газ (например, азот) используются для повышения давления в верхних бункерах доменной печи.

64). НДТ для снижения выбросов пыли от доменного газа с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Использование устройств для предварительного сухого обеспыливания, таких как:

- i. Отражающие устройства
- ii. Пылеуловители
- iii. Циклоны
- iv. Электрофильтры

II. Последующее снижение запыленности, такое как:

- i. Промывная решетка
- ii. Скрубберы Вентури
- iii. Скрубберы с кольцевым зазором
- iv. Мокрые электрофильтры
- v. Измельчитель.

Для очищенного доменного газа остаточная концентрация пыли, связанная с НДТ, составляет $<10 \text{ г/нм}^3$, определенная как средняя в течение периода между отбором проб (непрерывные измерения, разовые пробы, по крайней мере, через полчаса).

65). НДТ для воздушонагревателей с целью снижения выбросов с помощью использования избыточного коксового газа, подвергнутого десульфуризации и обеспыливания, обеспыленного доменного газа, обеспыленного конвертерного газа и природного газа, индивидуально или в сочетании.

Уровни выбросов, связанные с НДТ, определенные как среднесуточные значения при содержании кислорода 3%, в отношении:

- Оксидов серы (SO_x), выраженных как диоксид серы (SO_2) $<200 \text{ мг/нм}^3$
- Пыли $<10 \text{ мг/нм}^3$
- Оксидов азота (NO_x), выраженных как диоксид азота (NO_2) $<100 \text{ мг/нм}^3$

Вода и сточные воды

66). НДТ для потребления и сброса воды от очистки доменного газа с целью минимизации и повторного использования скрубберной воды в максимально возможной степени, например, для гранулирования шлака, если необходимо после очистки с использованием гравийного фильтра.

67). НДТ для очистки сточных вод от очистки доменного газа с целью использования флокуляции (коагуляции) и осаждения и снижения выбросов цианидов, в случае необходимости.

Уровни выбросов, связанных с ВАТ, основанные на квалифицированной разовой пробе или 24-часовой усредненной пробе, в отношении:

- Взвешенных твердых веществ $<30 \text{ мг/л}$
- Железа $<5 \text{ мг/л}$
- Свинца $<0,5 \text{ мг/л}$

- Цинка < 2 мг/л
- Цианидов (CN⁻), легко выделяемых (1) $< 0,4$ мг/л.

(1) Этот уровень основан на использовании DIN 38405 D 13-2 или любого другого национального или международного стандарта, который обеспечивает получение данных с эквивалентным научным качеством.

Остатки производства

68). НДТ для предотвращения образования отходов в процессе доменного производства с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Надлежащий сбор и хранение для облегчения конкретной переработки

II. Рециклинг по месту крупной пыли от очистки доменного газа и пыли от обеспыливания на литейном дворе, с учетом воздействия выбросов от установки, на которой проводится рециклинг

III. Обработка шлака с помощью гидроциклона с последующим рециклингом по месту грубой фракции (применимо, когда используется мокрое обеспыливание, и когда содержание цинка с распределением частиц по размеру зерен позволяет провести экономичное разделение)

IV. Переработка шлака, предпочтительно с помощью грануляции (когда рыночные условия позволяют это), для внешнего использования (например, в цементной промышленности или для дорожного строительства).

НДТ для контролируемого управления остатками технологического процесса доменной плавки, которых нельзя избежать и подвергнуть рециклингу.

69). НДТ для минимизации выбросов от переработки шлака с целью конденсации дыма, если требуется подавление запахов.

Управление ресурсами

70). НДТ для управления ресурсами для доменной печи с целью снижения потребления кокса с помощью прямого вдувания восстанавливающих агентов, таких как пылевидный уголь, мазут, нефтепродукты, смола, остатки масел, коксовый газ, природный газ и отходы, такие как металлические остатки, отработанные масла и эмульсии, остатки масел, жиров и отходы пластмасс, индивидуально или в сочетании.

Применимость

Вдувание угля: Метод применим для всех доменных печей, оснащенных системой вдувания угля и обогащения кислородом дутья.

Вдувание газа: Вдувание в фурмы коксового газа в значительной степени зависит от наличия этого газа, который можно эффективно использовать в других местах на металлургическом заводе с полным циклом.

Вдувание пластмасс: Следует отметить, что эта технология в значительной степени зависит от местных условий и рыночной ситуации. В пластмассах может содержаться хлор и тяжелые металлы типа ртути, кадмия, свинца и цинка. В зависимости от состава используемых отходов (например, легкая фракция после шредера) может возрасти количество Hg, Cr, Cu, Ni и Mo в доменном газе.

Прямое вдувание отработанных масел, жиров и эмульсий в качестве восстанавливающих агентов, и остатков твердого железа: Непрерывная работа этой системы зависит от логистической концепции поставки и хранения остатков. Кроме того, для успешной работы особую важность иметь применяемая технология транспортирования.

Энергия

71). НДТ для поддержания бесперебойной, непрерывной работы доменной печи в устойчивом режиме с целью минимизации выбросов и снижения вероятности осадки шихты.

72). НДТ для использования отводимого доменного газа в качестве топлива.

73). НДТ для утилизации повышенного давления колошникового газа, когда это давление достаточно высокое и низкая концентрация щелочных металлов.

Применимость

Утилизация давления колошникового газа может применяться на новых печах и в некоторых обстоятельствах на существующих печах, хотя и с большими трудностями и дополнительными затратами. Основополагающее значение для применения этой технологии имеет адекватное избыточное давление колошникового газа (выше 1,5 бар).

На новых печах утилизационная бескомпрессорная турбина и система для очистки доменного газа могут быть адаптированы друг к другу для достижения высокой эффективности очистки газа и утилизации энергии.

74). НДТ для подогрева топливных газов для воздухонагревателя или воздуха для сжигания в воздухонагревателе и для оптимизации процесса сжигания в воздухонагревателе.

Для оптимизации энергоэффективности воздухонагревателя можно применить одну или сочетание следующих технологий:

- Использование автоматизированного режима для управления работой воздухонагревателя
- Подогрев топлива или воздуха для сжигания в сочетании с теплоизоляцией трубопровода холодного дутья и газохода отходящих газов
- Использование более подходящих горелок для улучшения сжигания
- Быстрое измерение кислорода и последующая адаптация условий сжигания.

Применимость

Применимость подогрева топлива зависит от эффективности воздухонагревателей, так как она определяет температуру отходящих газов (например, при температуре отходящих газов ниже 250оС утилизация тепла не может быть технически или экономически практически осуществимым результатом).

Внедрение системы автоматического управления может потребовать строительства четвертого воздухонагревателя в случае доменных печей с тремя воздухонагревателями (если это возможно) для получения максимальной выгоды.

9.6 Заключение по НДТ для кислородных конвертеров и разливки

Если только не будет установлено иное, заключения по НДТ, представленные в этом разделе, можно применять для всего процесса выплавки стали в кислородных конвертерах и разливки.

Выбросы в воздух

75). НДТ для утилизации конвертерного газа с помощью подавления сжигания с целью отвода как можно большего количества конвертерного газа в течение продувки и очистки с помощью использования следующих технологий, в том числе и в сочетании:

- I. Использование процесса подавления сжигания
- II. Предварительное пылеудаление крупной пыли с помощью способов разделения (например, отражатель, циклон) или мокрых сепараторов
- III. Очистка от пыли с помощью:
 - i. Сухого пылеудаления (например, электрофильтр) для новых и существующих конвертеров
 - ii. Мокрое пылеудаление (например, мокрый электрофильтр или скруббер) для существующих конвертеров.

Концентрации остаточной пыли, связанные с НДТ, после накапливания конвертерного газа, таковы:

- 10 – 30 мг/нм³ для ВАТ III.i
- <50 мг/нм³ для ВАТ III.ii.

76). НДТ для утилизации конвертерного газа в течение кислородной продувки в случае полного сжигания, с целью снижения выбросов пыли с помощью использования следующих технологий:

- I. Сухое пылеудаление (например, электрофильтр или рукавный фильтр) для новых и существующих конвертеров
- II. Мокрое пылеудаление (например, мокрый электрофильтр или скруббер) для существующих конвертеров.

Уровни выбросов, связанные с НДТ, для пыли, определенные как средние за период между отборами проб (непрерывные измерения, разовые пробы, по крайней мере, через полчаса), таковы:

- 10 – 30 мг/нм³ для НДТ I
- <50 мг/нм³ для НДТ II.

77). НДТ для минимизации выбросов пыли от отверстия в кислородной фуре с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

- I. Покрытие отверстия фурмы в течение продувки кислорода
- II. Вдувание инертного газа или пара в отверстие фурмы для рассеяния пыли
- III. Использование других альтернативных уплотнительных систем в сочетании с устройствами для чистки фурмы.

78). НДТ для вторичного пылеудаления, включая выбросы от следующих процессов:

- Переливание горячего металла из ковша сигарообразной формы (или миксера горячего металла) в загрузочный ковш

- Предварительная обработка горячего металла (т.е. предварительная обработка емкостей, десульфуризация, дефосфоризация, скачивание шлака, процессы транспортирования горячего металла и взвешивание)

- Процессы, относящиеся к кислородному конвертеру, типа подогрева емкостей, разливка в течение кислородной продувки, загрузка расплавленного чугуна и лома, выпуск жидкой стали и шлака из кислородного конвертера

- Внепечная обработка стали и непрерывная разливка.

НДТ предназначена для минимизации выбросов пыли с помощью технологий, интегрированных в процесс, таких как обычные технологии для предотвращения или контроля рассеянных либо неорганизованных выбросов, и с помощью использования соответствующих ограждений и зонтов с эффективным отводом и последующей очисткой отходящих газов посредством рукавного фильтра или электрофильтра.

Общая средняя эффективность удаления пыли, связанная с НДТ, >90%.

Уровень выбросов, связанных с ВАТ, для пыли, как среднесуточное значение, для пылеудаления всех отходящих газов, <1 – 15 мг/нм³ в случае рукавного фильтра и < 20 мг/нм³ в случае электрофильтра.

Если очистка выбросов от предварительной обработки горячего металла и внепечной обработки стали проводится отдельно, уровень выбросов, связанных с НДТ, для пыли, как среднесуточное значение, составит <1 – 10 мг/нм³ для рукавных фильтров и < 20 мг/нм³ для электрофильтров.

Обычные технологии для предотвращения рассеянных и неорганизованных выбросов от важных вторичных источников конвертерной плавки включают в себя:

- Независимый отвод и использование устройств пылеудаления для каждого вспомогательного процесса в конвертерном цехе

- Надлежащее управление установкой десульфуризации для предотвращения выбросов в воздух

- Общая герметизация установки десульфуризации

- Содержание в исправности крышки, когда ковш для заливки чугуна не используется, и очистка ковшей для заливки чугуна и регулярное удаление настилей или же применение системы отвода под крышей

- Сохранение ковша для заливки чугуна перед конвертером приблизительно две минуты после заливки расплавленного чугуна в конвертер, если не применяется система отвода под крышей

- автоматическое регулирование и оптимизация процесса выплавки стали в конвертере, например, таким образом, чтобы предотвращались или снижались проливы (например, когда шлак вспенивается в такой степени, что он вытекает из конвертера)

- Снижение проливов в течение выпуска с помощью ограничения элементов, которые вызывают проливы, и использование средств для локализации разливов

- Закрытие дверей в помещении с конвертером в течение кислородной продувки

- Непрерывное наблюдение с помощью видеокамеры за крышей здания для определения видимых выбросов

- Использование системы отвода газов под крышей.

Применимость

В существующих цехах конструктивные особенности могут ограничить возможности для надлежащего отвода.

79). НДТ для переработки шлака по месту с целью снижения выбросов путем использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Эффективное удаление дробилки шлака и грохотов с последующей очисткой отходящих газов

II. Транспортирование не переработанного шлака одноковшовыми погрузчиками

III. Удаление или увлажнение отходов с мест перегрузки конвейера

IV. Увлажнение отвалов шлака при хранении

V. Использование водяного тумана при разгрузке дробленого шлака.

Уровень выбросов, связанный с НДТ, для пыли в случае использования НДТ I, $<10 - 20 \text{ мг/нм}^3$, определяемый как среднее значение за период между отборами проб (периодические измерения, разовые пробы, по крайней мере, через полчаса).

Вода и сточные воды

80). НДТ для предотвращения или снижения потребления воды и сбросов сточных вод от первичного обеспыливания конвертерного газа с помощью использования одной из следующих технологий, как установлено в НДТ 75 и НДТ 76:

- сухого обеспыливания конвертерного газа;
- минимизации скрубберной воды и максимально возможного повторного использования ее для грануляции шлака) в случае применения мокрого обеспыливания.

81). НДТ для минимизации сброса сточных вод от непрерывной разливки с помощью использования следующих технологий в сочетании:

I. Удаление твердых веществ с помощью флокуляции, осаждения и (или) флотации

II. Удаление масел в баках-сепараторах или любом другом эффективном устройстве

III. Рециркуляция охлаждающей воды и воды от создания вакуума в максимально возможной степени.

Уровни выбросов, связанных с НДТ, основанные на квалифицированной разовой пробе или 24-часовой усредненной пробе, для сточных вод от машины непрерывного литья составляют:

- Взвешенные твердые вещества $<20 \text{ мг/л}$
- Железо $<5 \text{ мг/л}$
- Цинк $<2 \text{ мг/л}$
- Никель $<0,5 \text{ мг/л}$
- Общий хром $<0,5 \text{ мг/л}$
- Общие углеводороды $<5 \text{ мг/л}$.

Остатки производства

82). НДТ для предотвращения образования отходов с помощью использования одной или сочетания следующих технологий (см. НДТ 8):

I. Надлежащий сбор и хранение для облегчения специализированной переработки

II. Рециклинг по месту пыли от очистки конвертерного газа, пыли от вторичного обеспыливания и прокатной окалины от непрерывной разливки с возвратом в металлургические процессы с учетом воздействия выбросов от установки для рециклинга

III. Рециклинг по месту конвертерного шлака и шлаковой мелочи для различных применений

IV. Переработка шлака, когда рыночные условия дают возможность внешнего использования шлака (например, в качестве наполнителя в материалах или для строительства)

V. Использование пыли от фильтров и шлама для внешней утилизации железа и цветных металлов, таких как цинк в цветной металлургии

VI. Использование отстойника для шлама с последующим рециклингом грубой фракции в агломерате/доменной печи или в цементной промышленности, когда распределение частиц по размерам дает возможность провести разделение.

Применимость НДТ V

Пыль горячего брикетирования и рециклинг с утилизацией гранул с высоким содержанием цинка для внешнего повторного использования применимы, когда используется сухой электрофильтр для очистки конвертерного газа. Утилизация цинка с помощью брикетирования не применима в систем мокрого обеспыливания вследствие нестабильного осаждения в отстойниках, вызываемого образованием водорода (из-за реакции металлического цинка с водой). Вследствие этих причин безопасности содержание цинка в шламе должно быть ограничено 8 – 10%.

НДТ для контролируемого управления остатками кислородно-конвертерного процесса, которых нельзя избежать или подвергнуть рециклингу.

Энергия

83). НДТ для отведения, очистки и хранения конвертерного газа для последующего использования в качестве топлива

Применимость

В некоторых случаях может оказаться экономически нецелесообразно, или в отношении надлежащего управления энергией невозможно утилизировать конвертерный газ с помощью подавления сжигания. В таких случаях конвертерный газ можно сжигать с производством пара. Вид сжигания (полное или подавляемое) будет зависеть от местного управления энергией.

84). НДТ для снижения потребления энергии с помощью использования систем крышек для сталеразливочных ковшей

Применимость

Крышки могут быть очень тяжелыми, так как они изготовлены из огнеупорных кирпичей, и, поэтому, грузоподъемность кранов и конструктивные особен-

ности здания цеха могут ограничить применимость таких крышек. Имеются различные технические конструктивные решения для реализации этой системы в практических условиях сталеплавильного цеха.

85). НДТ для оптимизации процесса и снижения потребления энергии с помощью использования процесса прямого выпуска плавки после продувки

Для прямого выпуска плавки обычно требуются дорогие устройства типа вспомогательной фурмы или системы выпуска без ожидания результатов химического анализа отбираемой пробы. Кроме того, была разработана новая технология для реализации прямого выпуска без таких устройств. Для этой технологии требуется большая опытно-конструкторская работа. На практике при продувке содержание углерода снижается до 0,04%, и одновременно снижается температура ванны жидкой стали до установленного значения. Перед выпуском измеряют как температуру, так и кислородную активность для определения дальнейших действий.

Применимость

Требуются подходящий анализатор горячего металла и стопорного устройства для шлака при выпуске стали, а также дополнение в виде печи-ковша для окончательной доводки стали.

86). НДТ для снижения потребления энергии с помощью использования непрерывного литья полосы по форме, близкой к окончательной

Непрерывное литье полосы по форме, близкой к окончательной, означает непрерывную разливку стали в полосу с толщиной менее 15 мм. Процесс разлива объединяется с прямой горячей прокаткой, охлаждением и охлаждением полосы без промежуточной нагревательной печи, используемой при обычных технологиях разлива, например, непрерывной разливкой слэбов или тонких слэбов. Поэтому разливка полосы представляет технологию для производства полосовой стали различной ширины и толщины менее 2 мм.

Применимость

Применимость зависит от производимых сортов стали (например, толстый лист не может производиться с помощью этого процесса) и от портфеля заказов индивидуального сталеплавильного цеха. На существующих заводах применимость может быть ограничена размещением оборудования и имеющимся местом для размещения машины для непрерывного литья полосы, для которой необходимо приблизительно 100 м длины.

9.7 Заключение по НДТ для электродуговых печей и разлива

Если только не будет установлено иное, заключения по ВАТ, представленные в этом разделе, можно применять для всего процесса выплавки стали в электродуговых печах и разлива.

Выбросы в воздух

87). НДТ для процесса в электродуговой печи (ЕАФ) с целью предотвращения выбросов ртути с помощью предотвращения в максимально возможной степени поступления сырьевых и дополнительных материалов, содержащих ртуть (см. НДТ 6 и 7).

88). НДТ для первичного и вторичного обеспыливания для электродуговой печи (включая подогрев лома, загрузку, плавление, выпуск стали, печь-ковш и внепечную обработку стали) с целью достижения эффективного от всех источников выбросов с помощью использования одной из технологий, перечисленных ниже, и проведения последующего удаления пыли с помощью рукавного фильтра:

I. Сочетание непосредственного отвода (4-е или 2-е отверстие) и системы зонта

II. Системы непосредственного отвода газа и шумопылезащитного кожуха

III. Непосредственный отвод газа и общее отведение из здания (с дуговыми печами низкой производительности) может не потребовать непосредственного отведения газа для достижения той же самой эффективности удаления.

Общая средняя эффективность очистки, связанная с НДТ, составляет >98%.

Уровень выбросов, связанный с ВАТ, для пыли составляет <5 мг/нм³, определенный как среднесуточное значение.

Уровень выбросов, связанный с НДТ, для ртути составляет <0,05 мг/нм³, определенный как среднее значение за период между отборами проб (периодические измерения, разовые пробы, по крайней мере, через полчаса).

88). НДТ для первичного и вторичного пылеудаления с электродуговой печи (включая подогрев лома, загрузку, плавление, выпуск стали, ковш-печь и внепечную обработку стали) с целью предотвращения и снижения выбросов полихлорированных дибензодиоксинов/фуранов (PCDD/F) и полихлорированных бифенилов (PCB) путем предотвращения в максимально возможной степени сырьевых материалов, содержащих PCDD/F и PCB или их прекурсоров (см. НДТ 6 и 7) и использования одной или сочетания следующих технологий, совместно с соответствующей системой очистки от пыли:

I. Соответствующего дожигания

II. Соответствующей быстрой закалки

III. Вдувания надлежащих адсорбционных агентов в пыль перед обеспыливанием.

Уровень выбросов, связанных с ВАТ, для полихлорированных дибензодиоксинов/фуранов (PCDD/F) <0,1 нг I-TEQ/нм³, на основе 6-8 часовой разовой пробы, в течение стабильной работы. В некоторых случаях уровень выбросов, связанный с ВАТ, можно достигнуть только с помощью первичных мер.

Применимость НДТ I

На существующих печах обстоятельства типа наличия места, существующая система газохода отходящих газов и т.д. должны учитываться при оценке применимости.

90). НДТ для переработки шлака по месту с целью снижения выбросов пыли с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Эффективного удаления дробилки шлака и грохотов с последующей очисткой отходящих газов

II. Транспортирования необработанного шлака ковшовым погрузчиком

III. Удаления или увлажнения конвейера для перемещения отходов

IV. Увлажнения отвалов для хранения шлака

V. Использования водяного тумана при погрузке дробленого шлака.

В случае использования НДТ I, уровень выбросов, связанных с НДТ, для пыли $<10 - 20 \text{ мг/м}^3$, определенный как среднее значение между отборами пробы (периодические измерения, разовые пробы, по крайней мере, через полчаса).

Вода и сточные воды

91). НДТ для минимизации потребления воды от процесса выплавки стали в электродуговой печи с помощью использования систем водоохлаждения закрытого контура для максимально возможного охлаждения элементов печи, если только не используется прямоточная система охлаждения.

92). НДТ для минимизации сброса сточных вод от непрерывной разливки с помощью использования следующих технологий в сочетании:

I. Удаления твердых веществ с помощью флокуляции, осаждения и (или) фильтрации

II. Удаления масел в отстойниках или в любом другом эффективном устройстве

III. Рециркуляции охлаждающей воды и воды от получения вакуума в максимально возможной степени.

Уровни выбросов, связанные с НДТ, для сточных вод от машины непрерывного литья на основе квалифицированной единичной пробы или 24-часовой усредненной пробы, таковы:

- Взвешенные твердые вещества $<20 \text{ мг/л}$
- Железо $<5 \text{ мг/л}$
- Цинк $<2 \text{ мг/л}$
- Никель $<0,5 \text{ мг/л}$
- Общий хром $<0,5 \text{ мг/л}$
- Общие углеводороды $<5 \text{ мг/л}$

Остатки производства

93). НДТ для предотвращения образования отходов с помощью использования одной или сочетания следующих технологий:

I. Надлежащий сбор и хранение для облегчения специализированной переработки

II. Утилизация и рециклинг по месту огнеупорных материалов от различных процессов и использование для внутренних целей, т.е. для замены доломита, магнезита и извести

III. Использование пыли с фильтров для внешней утилизации цветных металлов, таких как цинк в цветной металлургии, если необходимо, после обогащения пыли с фильтров с помощью рециркуляции в электродуговой печи

IV. Отделение окалины от непрерывной отливки в процессе очистки воды и утилизация с последующим рециклингом, например, в агломерате/доменной печи или в цементной промышленности

V. Внешнее использование огнеупорных материалов и шлака от электродуговой печи в качестве вторичного сырья, когда это позволяют рыночные условия.

НДТ предназначена для контролируемого управления остатками технологического процесса в ЕАФ, которых нельзя избежать или подвергнуть рециклингу.

Применимость

Внешнее использование или рециклинг остатков производства, как упомянуто в рамках ВАТ III – V, зависит от сотрудничества и соглашения с третьей стороной, которые не могут находиться под контролем оператора, и, поэтому, не могут входить в область действия разрешения.

Энергия

94). НДТ для снижения потребления энергии с помощью использования непрерывного литья полосы по форме, близкой к окончательной, если качество номенклатура производимых сортов стали являются подходящими.

Непрерывное литье полосы по форме, близкой к окончательной, означает непрерывную разливку стали в полосу с толщиной менее 15 мм. Процесс разливки объединяется с прямой горячей прокаткой, охлаждением и охлаждением полосы без промежуточной нагревательной печи, используемой при обычных технологиях разливки, например, непрерывной разливкой слябов или тонких слябов. Поэтому разливка полосы представляет технологию для производства полосовой стали различной ширины и толщины менее 2 мм.

Применимость

Применимость зависит от производимых сортов стали (например, толстый лист не может производиться с помощью этого процесса) и от портфеля заказов индивидуального сталеплавильного цеха. На существующих заводах применимость может быть ограничена размещением оборудования и имеющимся местом для размещения машины для непрерывного литья полосы, для которой необходимо приблизительно 100 м длины.

Шум

95). НДТ для снижения шумовых выбросов от электродуговой печи и процессов, являющихся причиной высокой звуковой энергии с помощью использования сочетания следующих конструктивных и эксплуатационных технологий, в зависимости и в соответствии с местными условиями (в дополнение к использованию технологий, перечисленных в НДТ18):

I. Сооружение здания с электродуговой печи таким образом, чтобы поглотился шум от механических ударов в результате работы печи

II. Изготовление и установка кранов, предназначенных для транспортирования загрузочных корзин для предотвращения механических ударов

III. Специальное использование акустической изоляции внутри стен и свода для предотвращения воздушного шума в здании электродуговой печи

IV. Отделение печи и наружных стен для снижения структурного шума от здания электродуговой печи

V. Размещение технологических процессов, являющихся причиной высокой звуковой энергии (т.е. электродуговой печи и установок для обезуглероживания) в основном здании.

10. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУНА [383]

10.1 Прямое восстановление (DRI)

Эта глава не является такой же подробной как предыдущие главы, так как она относится только к альтернативному процессу производства чугуна в ЕС, которым является установка DRI (прямого восстановления железа) в Германии.

Хотя технология доменной плавки является основным процессом для производства чугуна, было разработано несколько других методов производства, и они применяются в промышленном масштабе. Эти технологии “восстановительной плавки” постоянно используют уголь вместо кокса в качестве основного восстановительного агента. В некоторых новых технологиях также заменяются окатыши и агломерат пылевидной мелочью из железной руды. Эти альтернативные технологии более подробно описаны ниже.

Чугун производится в доменных печах более 500 лет. В течение этого времени доменные печи превратились в высокоэффективные реакторы. Однако в настоящее время доступны другие технологии, которые стали вызовом для технологии доменного процесса для производства чугуна.

Для доменных печей требуется кокс, а коксовые заводы являются дорогими, и для них имеется много экологических проблем, связанных с их эксплуатацией. Так, было бы полезно с экономической и экологической точки зрения, производить жидкий чугун без использования кокса. Во время написания этого справочного документа (2010 г.) почти на всех доменных печах потребление кокса было уменьшено в заметной степени с помощью вдувания восстановителя в фурмы. Однако никогда нельзя полностью заменить кокс в доменной печи, поскольку кокс как составляющая шихты несет и опорную функцию. Минимальный уровень кокса в доменной печи составляет примерно 260 кг/т жидкого чугуна.

Происходит рост производства стали из лома в электродуговых печах. При производстве стали из лома потребляется значительно меньше энергии, по сравнению с производством стали из железных руд. Проблемы с качеством стали, выплавляемой на основе лома, вводят соответствующие ограничения для конвертерного и электросталеплавильного производства, а использование железа прямого восстановления (DRI) в качестве шихты повышает возможности производства стали в электродуговых печах.

Следует отметить следующие аспекты, которые оказывают давление на технологию производства стали с использованием жидкого чугуна:

- Экологические аспекты агломерационных установок
- Экологические и экономические аспекты коксогазового завода
- Относительная негибкость и масштаб производства жидкого чугуна
- Возрастающая конкуренция способа производства стали на основе лома и технологии электродугового переплава с DRI.

Но следует признать преимущества технологии доменного производства в отношении возможностей рециклинга и инвестиций.

Вышеупомянутое инициировало улучшение экономических и экологических показателей работы доменной печи, а также и разработку альтернативных способов производства чугуна (или железа).

Два основных типа альтернативного производства желез, которые можно считать апробированными типами альтернативного производства, таковы: прямое восстановление (DR) и восстановительная плавка (SR).

На рис. 10.1 приведен обзор, прошлых, настоящих и будущих маршрутов производства чугуна и стали.

Прямое восстановление связано с производством твердого первичного железосодержащего материала из железных руд и восстанавливающего агента (например, природного газа). Твердый продукт, называемый железом прямого восстановления (DRI), применяется главным образом в качестве сырья в электродуговых печах (EAF). Процесс прямого восстановления был запущен в серийное производство с 1970-х годов, и были разработаны различные процессы.

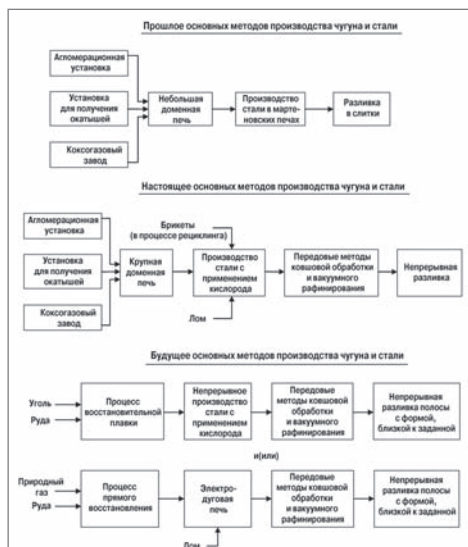


Рисунок 10.1: Прошлые, настоящие и будущие направления альтернативных процессов производства чугуна и стали [43]

Поскольку не имеется отделения железа от пустой породы в восстановительном агрегате, должны использоваться руды высокого качества или концентраты (содержание железа 68% и пустой породы – 27%) для восстановления до металлического железа в твердом состоянии. Температура процесса меньше чем 1000°C. DRI имеет уровень металлизации >92%, а содержание углерода <2%. Железо прямого восстановления обычно используется в качестве сырья для EAF.

DRI может иметь высокое содержание пустой породы, и это снижает его ценность в электросталеплавильном производстве, особенно там, где высокие цены за электроэнергию.

Недостатком DRI является то, что оно вызывает пожароопасность. Поэтому DRI можно переплавлять в брикеты, так как железо горячего брикетирования (HBI), так как такой продукт можно хранить и транспортировать на некоторое расстояние.

Первая промышленная установка была построена в конце 1960-х годов. Поскольку для ведущих процессов прямого восстановления требуется дешевый источник природного газа, большая часть установок размещена в регионе высоких месторождений нефти и природного газа, вблизи экватора.

В табл. 10.1 показана процентная доля производства DRI, относящаяся к мировому производству жидкого чугуна в 1996 и 2006 г.

ТАБЛИЦА 10.1: МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО DRI [200], [260]

Год	Ежегодное мировое производство (млн. т)	Процентная доля от мирового производства жидкого чугуна
1996/97	36,5	4,4
2006	59,8	6,8

Две трети мирового производства DRI в 2006 г. были сконцентрированы в пяти странах: Индии (15 млн. т – на 4 млн. т больше, чем в 2005 г.), Венесуэле (8,6 млн. т), Иране (6,9 млн. т), Мексике (6,2 млн. т) и Саудовской Аравии (3,6 млн. т). Новые установки были сданы в эксплуатацию в Индии, Нигерии, Тринидаде, Саудовской Аравии, Катаре и России [260]. Метод прямого восстановления оказался успешным, особенно в производстве порошков.

Имеющиеся процессы

Процессы DRI можно разделить по типу используемого реактора, а именно:

- шахтные печи (Midrex®, HyL)
- вращающиеся печи (процесс SL/RN)
- печи с вращающимся подом (Fastmet®/Fastmelt®, Inmetco®/Rdelron® и ITmk3®)
- реакторы с кипящим слоем (Circofer®).

Многие из этих твердофазных процессов используют природный газ и в качестве топлива и восстанавливающего агента (монооксид углерода и водород). Приблизительно 92% DRI производится с помощью использования (реформированного) природного газа в качестве топлива. В небольшом количестве слухачаев в качестве топлива используется уголь.

В качестве сырья окатыши из железной руды и крупнокусковая руда используются в процессах с шахтными печами (Midrex, HyL), а пылевидная руда и концентраты используются в реакторах с кипящим подом (Circored, Finmet, Iron carbide) или печах с вращающимся подом (Fastmet®, Inmetco®).

Альтернативой DRI является карбид железа (Fe₃C). Карбид железа также

производится с помощью прямого восстановления, но продукт содержит приблизительно 90 вес.% Fe₃C. Содержание карбида является относительно высоким: 6 вес.%, который дает достаточное количество энергии для снижения потребления электроэнергии в EAF. Карбид железа можно использовать в таких же самых применениях как DRI. Первая промышленная установка для производства карбида железа, с производительностью 300 тыс. т в год была сдана в эксплуатацию в 1995 г. в Тринидаде (реальное производство в 1998 г. составило 150 тыс. т/год).

В табл. 10.2 представлены характеристики серийно выпускаемых типов установок для производства DRI.

ТАБЛИЦА 10.2: ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕРИЙНО ВЫПУСКАЕМЫХ УСТАНОВОК С ПРОЦЕССАМИ ПРЯМОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ [98], [177]

Параметр	Процесс			
	Midrex	HyL III	Fastmet/Inmetco	Finmet
Статус	Промышленный	Промышленный	Промышленный	Промышленный
Тип реактора	Шахтный	Шахтный	Вращающийся под	Кипящий слой
Источник железа	Окатыши/кусковая руда	Окатыши/кусковая руда	Мелочь/концентраты	Мелочь 0,1 – 12 мм
Тип топлива	Природный газ	Природный газ	Уголь/природный газ	Природный газ
Системы обеспечения	-	Пар	-	Пар
Внешнее оборудование	Реформер	Реформер/удаление CO ₂	-	Реформер/удаление CO ₂
Типичная производительность установки (тыс. т/год)	1000	1000	450	500
Поступление энергии (ГДж/т продукта)	10,5	11,3	12,6	12,5
Продукт	DRI/HBI	DRI	DRI/HBI	HBI
Металлизация продукта	>92	>92	>92	>92
Содержание углерода в продукте	1 - 2	1 - 2	<0,2	0,5 – 1,5

В течение процесса выплавки стали DRI превосходит лом по чистоте и постоянству состава, но эти выгоды достаются за более высокую цену.

Установки DRI являются приемлемыми в следующих ситуациях:

- Когда не хватает лома надлежащего качества, таким образом, вызывая ухудшение качества производимой стали, и возникает необходимость в добавлении восстановленного железа для повышения качества сырья
- На мини заводах, построенных в регионах, в которых поставки источников железа, таких как лом, затруднены, или в которых строительство металлургических заводов с полным циклом, с доменной печью не являются необходимым с точки зрения масштаба спроса, и в данном случае восстановленное железо можно использовать как основной сырьевой материал [98]
- В доменных печах, в которых требуется повышенная производительность по выходу жидкого чугуна.

Экологические аспекты DRI

Основной выгодой установки прямого восстановления по сравнению с доменной печью является то, что в этих установках используется природный газ или уголь в качестве топлива. Поэтому коксогазовый завод больше не нужен, и значительно снижаются выбросы. Воздействия на окружающую среду установки прямого восстановления очень ограниченные. Имеется мало выбросов пыли, которые легко отводятся. Потребность в воде низкая, и воду можно в значительной степени возвращать в цикл. Кроме того, на установках прямого восстановления на основе метана образуется намного меньше CO₂, чем в установках на основе угля.

Однако в DRI содержится некоторое количество пустой породы (3 – 6%), и это приводит к росту потребления энергии EAF с ростом потребления DRI. Это можно частично компенсировать с помощью горячего посада DRI. Технология ITmk3 предусматривает, что поскольку часть физического тепла отходящих газов утилизируется с подачей тепла для подогрева воздуха, оцененные выбросы CO₂ для этой технологии будут на 20 – 25% ниже, чем для технологии доменная печь + кислородный конвертер [208].

10.2 Восстановительная плавка (SR)

10.2.1 Процессы Corex® и Finex®

115

Восстановительная плавка (SR) связана с производством жидкого металла из руды без кокса. В процессе SR используется две установки: в первой установке руда нагревается и восстанавливается газами, образуемыми во второй установке, которая является плавильной печью – газификатором, в которую поставляются уголь и кислород. Затем частично восстановленная руда плавится во второй установке, а жидкий расплавленный чугун или (в некоторых случаях) жидкая сталь образуется во второй установке. Технология плавления – восстановления дает возможность использовать широкий диапазон углей для производства чугуна.

Примеры этой технологии включают процессы Corex® и Finex®, которые работают в промышленном масштабе.

Процесс Corex является двух стадийным процессом: в первой стадии железная руда восстанавливается до губчатого железа в шахтной печи с помощью восстановительного газа; на второй стадии восстановленное железо плавится в плавильной печи – газификаторе. Восстановительный газ (CO и H₂), который используется в восстановительной шахте поступает в результате газификации угля с помощью кислорода, образует неподвижный/кипящий слой в плавильной печи – газификаторе. Частичное сжигание угля в плавильной печи – газификаторе приводит к образованию тепла к расплаву восстановительного железа. Расплавленный чугун и шлак сливаются на поду с помощью обычной процедуры выпуска, сходной с той процедурой, которая используется при работе доменной печи.

Вследствие разделения восстановленного железа и плавления железа/газификации угля в две стадии достигается высокая степень гибкости, и может использоваться широкий набор углей. Процесс проектируется для выполнения при повышенном давлении до 5 бар. Загрузка угля и железной руды производится с помощью системы шлюзового бункера.

Восстановительный газ содержит порядка 65 – 70% CO, 20 – 25% H₂ и 2 – 4% CO₂. После того как горячие газы покидают плавильную печь – газификатор, он смешивается с охлаждающим газом для регулирования температуры примерно на уровне 850оС. Затем газ очищается в горячем циклоне и направляется в шахтную печь в качестве восстановительного газа. Когда газ покидает шахтную печь, он все еще имеет высокую теплотворную способность и может использоваться для внешнего потребителя, когда существуют такие возможности. Теплотворная способность этого газа оценивается в 7,5 МДж/нм³ в случае использования обычного энергетического угля (28,5% летучих веществ), но угли другого типа могут дать другую теплотворную способность такому газу.

Дальнейшим развитием процесса Corex стал процесс Finex, разработанный совместно немецкой компанией Siemens VAI и корейской металлургической компанией Posco. Основное различие между технологиями Corex и Finex состоит в том, что во второй технологии можно непосредственно использовать пылевидную руду [260]. В процессе Finex четырехступенчатая система с кипящим слоем расположена до плавильной печи – газификатора. После восстановления пылевидной руды в кипящем слое она уплотняется в горячем состоянии перед выгрузкой в плавильную печь – газификатор.

Достижимые экологические выгоды

В процессе Corex в качестве источника энергии используется уголь. Поэтому предотвращаются выбросы из коксовой печи. Все высшие углеводороды, которые выделяются из угля, подвергаются крекингу с образованием CO и H₂ в плавильной печи – газификаторе. Поэтому не образуются побочные продукты типа смолы, фенола, ВТХ, РАН и т.д.

Сера, поступающая с углем в процесс, в значительной степени абсорбируется в шахтной печи DRI и кальцинированными добавками и впоследствии направляется в плавильную печь – газификатор. Здесь большая часть серы переходит в жидкий шлак как в случае доменного процесса и становится безвредной для окружающей среды. Количество серы, улавливаемой в процессе Corex газом и водой (2 – 3% от общего поступления серы) намного ниже, чем в случае традиционной технологии коксовая печь/агломерационная установка/доменная печь (20 – 30%). Газ, поставляемый стороннему потребителю, содержит 10 – 70 частей на млн. H₂S, в зависимости от типа используемого угля и рабочих условий. Так как кислород используется вместо воздуха для газификации коксового остатка, не происходит значительного образования NO_x и цианидов (CN). Потребность в использовании кислорода приводит к значительной общей потребности в энергии.

Выбросы пыли от процесса Corex значительно ниже, чем при традиционном доменном процессе. Предотвращаются все выбросы пыли в коксовой печи. Со-

держание пыли в газе для сторонних потребителей меньше 5 мг/нм³. Большая часть пыли, которая улавливается в системе газоочистки, подвергается рециклингу с возвращением в процесс.

Некоторые эксплуатационные параметры установки компании Iscor (в настоящее время Mittal Steel South Africa) приведены в табл. 10.3.

ТАБЛИЦА 10.3: ВАЖНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ДАННЫЕ УСТАНОВКИ С ПРОЦЕССОМ COREX КОМПАНИИ ISCOR'S PRETORIA WORKS, ЮЖНАЯ АФРИКА (ВЫВЕДЕНА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ДЕМОНТИРОВАНА В 1998 Г.) [78], [82]

Параметр			Единицы	Кусковая руда	Окатыши
Плавильная мощность			т жидкого металла/ч	45	53
Удельная плавильная мощность			т жидкого металла/м3/сутки	3,03	4
Потребление угля			кг/т жидкого металла	1080	1000
Потребление связанного углерода			кг/т жидкого металла	615	570
Потребление кислорода			нм3/т жидкого металла	540	500
Количество шлака			кг/т жидкого металла	450	300
Потребление жидкого металла	Углерод		%	4,5	4,5
	Кремний		%	0,3	0,3
	Сера		%	0,05	0,05
	Фосфор		%	0,15	0,15
Газ внешнему потребителю	Количество		нм3/т жидкого металла	1750	1710
	Низшая теплотворная способность		МДж/т жидкого металла	7,57	5
	Потребление	CO	%	45	45
		CO2	%	32,3	2
		H2	%	16,1	6
		Пыль	мг/нм3	<5	<5
Выбросы	Пыль		г/т жидкого металла	39 - 139	39 – 139
	SO2		г/т жидкого металла	26 - 333	26 – 333
	NOx		г/т жидкого металла	21 - 33	21 – 33
Потребление энергии			ГДж/т жидкого металла	17	17

Взаимодействия между средами

Восстановительный газ из плавильной печи – газификатора очищается в циклонах. Пыль из этих циклонов можно возвращать в плавильную печь – газификатор. Колошниковый газ из шахтной печи и охлаждаемый газ (для охлаждения восстановительного газа) очищаются в скрубберах, и, поэтому, образуется шлам. Шлам в основном можно подвергнуть рециклингу в плавильной печи – газификаторе после грануляции или поставлять в химическую промышленность. Небольшая часть (не определенная количественно) может депонироваться.

Процесс Corex отличается высоким удельным потреблением угля и относительно большим расходом отходящих газов, с теплотворной способностью, от средней до высокой. Использование таких отходящих газов в качестве источника энергии в значительной степени определяет энергетическую эффективность процесса. Охлаждающая вода поставляется в замкнутый цикл.

Не передавались эксплуатационные данные, о применимости, мотивации для внедрения.

Экономика

Сообщаются данные о капитальных затратах: 195 евро за тонну жидкого металла. В данном примере осуществлен перевод тогдашнего валютного курса в ЭКЮ, а затем в евро

Пример установок

После того как установка Corex была успешно пущена в эксплуатацию в 1995 г. компанией Posco на заводе Pohang Works в Южной Корее, она была подвергнута реконструкции с переходом на конфигурацию процесса Finex, с производительностью 600 тыс. т/год в 2003 г. На этой установке четырехстадийная система с кипящим слоем была расположена до плавильной печи – газификатора. После восстановления пылевидной руды в кипящем слое эта мелочь уплотняется в горячем состоянии перед загрузкой в плавильную печь – газификатор. Вторая установка с годовой производительностью 1,5 млн. т была пущена в эксплуатацию на том же заводе в апреле 2007 г.

К концу 2007 г. в эксплуатации находилось 6 установок типа Corex и 2 - типа Finex, с общей производительностью 7,45 млн. т жидкого металла (табл. 10.4).

ТАБЛИЦА 10.4: ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБ УСТАНОВКАХ COREX И FINEX [260], [312]

Corex/Finex установка	Количество	Пуск в эксплуатацию	Загрузка/шихта	Производительность, млн. т/год
Posco, Pohang Works, Пхонхан, Южная Корея	1	1995/2003 (Corex/Finex)	Кусковая руда/мелочь	0,60
	1	2007 Finex	Мелочь	1,5
Jindal South West Steel, Торанагаллу, Индия	2	1997/2001	Кусковая руда, окатыши	1,60 (2 × 0,8)
Mittal Steel, Салданха, Южная Африка	1	1999	Кусковая руда	0,65
Baosteel, Шанхай, Китай	1	2007	Кусковая руда	1,50
	1	2010	Окатыши	1,5
Essar Steel, Хазира, Индия	2	2007	Окатыши	1,60 (2 × 0,8)

Еще одним примером восстановительной плавки является технология Primus®, в которой используется двухстадийный процесс. Эта технология представляет собой сочетание многоподовой печи (МНП), предназначенной для сушки, нагрева и начала восстановления, за которой установлена электродуговая печь (ЕАФ), в которой происходит полное восстановление железа, и получается жидкий металл, образуется шлак, а завершением процесса является восстановление цинка. Эта технология дает возможность перерабатывать типичные остатки от выплавки чугуна и стали, которые обычно не подвергаются рециклингу на существующих установках, такого типа как пыль с ЕАФ, шлак доменных печей, шлам сталеплавильного производства и промасленная прокатная окалина (см. п. А2.5.4.4).

Справочная литература: [44], [78], [82], [312].

10.2.2 Процессы в стадии разработки

Следующие процессы восстановительной плавки находятся в завершающей стадии разработки, и кратко описаны в этом подразделе:

- HIs melt
- Прямое восстановление железной руды (DIOS)
- AISI-DOE/CCF
- ROMELT

В табл. 10.5 подытожены характеристики этих процессов. Краткое описание этих процессов будет приведено далее.

ТАБЛИЦА 10.5: ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКИ, НАХОДЯЩИЕСЯ В СТАДИИ РАЗРАБОТКИ [44], [98]

Процесс				
	HIs melt (Австралия)	DIOS (Япония)	AISI-DIOS/ CCF (США, Нидерланды)	ROMELT (Россия)
Основные компоненты	Восстановительная плавка в вертикальной печи	- Предварительное восстановление в псевдоожиженном слое - Печь для реформинга газа - Печь восстановительной плавки - Кислородный блок	- Печь с конвертером циклонного типа - Плавильный агрегат с ванной - Кислородный блок	Плавильное устройство подового типа
Сырье (шихта)	Пылевидная руда	Пылевидная руда	Пылевидная руда	Пылевидная руда/отходы
Топливо	Пылевидный уголь	Угольная мелочь/зернистый уголь	Угольная мелочь	Угольная мелочь
Металлический продукт	Жидкий чугун	Жидкий чугун	Жидкий чугун	Жидкий чугун
Потребление кислорода (нм ³ /т горячего металла)	Используется горячее дутье	500	430 - 680	750 - 850
Потребление угля (кг/т горячего металла)	630 - 700	950	700 - 750	900 - 1200
Количество отходящих газов (нм ³ /т горячего металла)	1850	2080	NA	NA
Теплотворная способность (МДж/нм ³)	1,44	3,74	NA	NA
Нетто потребление энергии (ГДж/т горячего металла)	NA	NA	NA	NA
Выход энергии (ГДж/т горячего металла)	2,7	7,8	4,0	NA
Статус	Пилотный	Пилотный	Пилотный	Пилотный

NA = данные отсутствуют

HIs melt

В этом процессе руда, уголь и флюсы вдуваются в ванну с расплавом чугуна с помощью восьми фурм, из которых четыре используются для вдувания хо-

лодного угля и извести, а четыре служат для вдувания руды и доломита (5%) в условиях температуры 600 – 700°C. Руда быстро восстанавливается и плавится непосредственно в расплавленной ванне. Горячее дутье (1200 – 1250°C) с содержанием кислорода 35% вдувается через центральную фурму через шлак, вызывая образование CO и H₂ в отходящих газах после сжигания. Обычно требуется ванна из жидкого металла для начала процесса. Выпуск горячего чугуна происходит непрерывно с помощью копильника, в то время как выпуск шлака проводится партиями через каждые 2-3 часа с помощью шлаковой летки [312].

Эксплуатационные данные

SR в процессе HIs melt дает в результате более низкое содержание кремния, которое составляет менее 0,01%, а также более низкое содержание фосфора, менее 0,02% в расплавленном металле [312].

Статус

Установка HIs melt была пущена в эксплуатацию в г. Квинана, Западная Австралия корпорацией HIs melt. Эта установка спроектирована на годовую производительность 800 тыс. т жидкого чугуна [312].

Экологические последствия

По сравнению с процессом в доменной печи предсказывается экономия топлива в 10%. Кроме того, нет больше необходимости в установке для предварительной подготовки железной руды (установка для получения окатышей, агломерационная установка) и коксовой печи. В отличие от других процессов восстановительного плавления необходимо горячее дутье. Это, вероятно, будет оказывать влияние на выбросы NO_x, что негативно сказывается на процессе.

DIOS

Процесс непосредственной плавки железной руды (DIOS) состоит из трех вспомогательных процессов: печи предварительного восстановления с псевдоожиженным слоем (PRF) для предварительного восстановления железной руды, печи для реформинга газа (GRF) для смешения угольного порошка с газом и печи восстановительного плавления (SRF) для дальнейшего восстановления и плавления железной руды.

Кислород для сжигания вдувается в верхнюю часть SRF. Образующийся монооксид углерода (CO) используется для предварительного восстановления железной руды в PRF. Азот вдувается через дно SRF для перемешивания шлака в печи.

Статус

Пилотная установка компании NKK на заводе Keihin Works, Япония, находится в работе с 1994 г., производя примерно 500 т чугуна в день.

Экологические последствия

Ожидается, что потребление энергии в процессе DIOS должно быть на 5 – 10% ниже, по сравнению с маршрутом доменной печи. Кроме того, больше не требуется установка для предварительной переработки железа (установка для получения окатышей, агломерационная установка) и коксовой печи.

Справочная литература: [78].

AISI-DOE/CCF

Проект AISI-DOE (Американский институт черной металлургии и Министерство энергетики США) и проект печи циклон – конвертер (CCF) начались как два отдельных проекта.

Проект AISI-DOE был совместным научно-исследовательским проектом прямого восстановления с получением чугуна рядом американский университетов и американский и канадских компаний в секторе производства стали. Координатором проекта был Американский институт черной металлургии, а спонсором Министерство энергетики США. Цель проекта состояла в производстве стали из предварительно восстановленной железной руды и угля в вертикальном плавильном устройстве подового типа. Разработка этого плавильного устройства стала самой важной частью проекта.

Проект CCF был совместной инициативой компании Cogus, Эймейден, Нидерланды, и сталелитейного завода Ilva, Италия. Самой важной частью проекта стала разработка циклонного реактора. В циклоне железная руда предварительно восстанавливается и плавится. Расплавленная смесь падает в нижнюю часть реактора, где завершается восстановление. Топливо представляет собой зернистый уголь, который вдвигается вместе с кислородом в нижнюю часть реактора.

Высокая рабочая температура в циклонном реакторе и тот факт, что он может работать с высоким уровнем примесей из расплавленной ванны, делает возможной прямую связь предварительного восстановления и стадий конечного восстановления. Объединение двух стадий означает, что эффективная передача тепла не имеет решающего значения, так как не имеется охлаждения между стадиями. Тот факт, что как предварительное восстановление, так и конечное восстановление имеют место в одном реакторе, представляет важное различие между CCF и другими существующими установками для восстановительного плавления.

Проект CCF сконцентрирован главным образом на разработке циклонного реактора.

В 1995 г. обе стороны поняли возможность объединения своих технологий. При таком объединении можно реализовать пилотную установку восстановительного плавления.

Статус

Проект AISI-DOE был проверен в ряде испытаний, но пилотная установка не была сдана в эксплуатацию. Проект CCF был испытан в масштабе пилотной установке, с производительностью 20 т/ч.

Экологические аспекты

Так как не требуются коксовая печь, агломерационная установка или установка для получения окатышей, можно ожидать заметного снижения выбросов. Потребление энергии на тонну стали должно быть ниже. Кроме того, можно получить энергию из отходящих газов, которые выходят из циклона при 1800°C.

Справочная литература: [43], [65], [78]

ROMELT

Процесс ROMELT (РОМЕЛТ) – процесс, разработанный в Московском институте стали и сплавов под руководством проф. В.В. Роменца. Он сходен с другими плавильными процессами в печах подового типа, но в нем не используется предварительное восстановление. В процессе используется руда и отходы оксидов. Сообщается, что потребление угля составляет 900 – 1200 кг/т.

Статус

На пилотной установке на Новолипецком металлургическом заводе с производительностью 500 – 1000 т/сутки произведено 300000 т чугуна в год.

Экологические аспекты

Так как не требуется коксовая печь, аглофабрика или установка для получения окатышей, можно ожидать значительного снижения выбросов по сравнению с обычной технологией выплавки чугуна. Потребление энергии на тонну жидкого металла также должно быть ниже.

Справочная литература: [44], [65].

Два других процесса восстановительной плавки, которые кратко описываются:

- Процесс PLASMAMELT
- Процесс AUSMELT.

Процесс PLASMAMELT

В процессах восстановительной плавки на основе плазмы реакции имеют место в заполненной коксом шахтной печи с фурмами, расположенными симметрично вокруг нижней части печи. Шахта полностью заполняется коксом. Плазменные генераторы и оборудование для вдувания оксидов металлов, смешанных со шлакообразующим материалом и, возможно, восстановителями, прикреплены к фурмам. Перед каждой фурмой внутри столба кокса образуется полость, в которой происходит восстановление и плавление. Через регулярные интервалы образующиеся шлак и металл выпускаются с пода шахтной печи. В случае плавления железной руды можно использовать отходящие газы из печи, состоящие главным образом из монооксида углерода и водорода, для предварительного восстановления руды. В других применениях процесса, таких как утилизация легированных металлов из пыли рукавных фильтров, образующийся газ утилизируется как топливный газ. Если в сырьевом материале содержатся металлы с высоким давлением паров, например цинк и свинец, эти металлы покидают печь с отходящими газами, которые затем проходят через конденсатор, в котором металлы утилизируются из газа [383].

Процесс AUSMELT

Процесс Ausmelt был разработан компанией Ausmelt Ltd. Австралия. Кусковая руда или рудная мелочь непрерывно подается в конвертер вместе с кусковым углем и флюсом. Угольная мелочь, кислород и воздух вдуваются, что позволяет проводить погружное сжигание. Степень окисления и восстановление контролируются с помощью корректировки соотношения воздуха к топливу, а также доли угольной мелочи, вдуваемой через фурму. Все реакции завершаются в одном реакторе.

10.3 Сравнение обычной технологии плавки в доменной печи с прямым восстановлением и восстановительной плавкой.

Основные заявляемые экологические выгоды для прямого восстановления (DR) и восстановительной плавки (SR) связаны с тем, что эти процессы можно осуществлять без кокса или агломерата. Эти процессы могут помочь предотвратить использование необязательных коксовых печей и агломерационных машин, которые потенциально оказывают значительное воздействие на окружающую среду.

Выбросы от восстановительных установок обычно бывают низкими, а концентрация твердых частиц в выбросах в окружающий воздух после очистки составляют порядка 10 мг/нм³. Очистка обычно проводится с использованием мокрой технологии, которая приводит к потоку сточных вод, хотя можно попытаться провести рециклинг этой воды или перейти к сухой очистке. Если процессы DR или SR связаны с использованием окатышей на основе железа или агломерата, тогда выбросы, связанные с переработкой этих материалов, также следует рассмотреть при сравнении экологических показателей различных процессов выплавки чугуна.

В табл. 10.6 приведено сравнение обычной технологии доменного процесса с технологиями DR и SR.

ТАБЛИЦА 10.6: СРАВНЕНИЕ ОБЫЧНОГО РЕЖИМА ПЛАВКИ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ С ПРЯМЫМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ И ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАВКОЙ [200], [260], [312]

Особенности	Традиционная доменная плавка(1)	Прямое восстановление (DR)	Восстановительная плавка (SR)
Масштаб производства	Давно устоявшиеся, обладающие высокой и ресурсной эффективностью технологические агрегаты с производительностью по горячему чугуну от 2 до 4,77 млн. т/год и больше. До сих пор это основная технология для производства чугуна, на которую приходится 955 мирового производства чугуна	На процессы на основе газа из установленных DR приходится большая часть мощностей во всем мире, и 63% этих мощностей используют технологию MIDREX. Такие процессы в настоящее время имеют максимальную производительность одного агрегата 1,76 млн. т/год. DRI обычно используется как замена лома для EAF. Процессы DRI отличаются относительно низкой производительностью по сравнению с доменными печами, и обычно они устанавливаются, используя преимущества местных факторов, таких как очень низкие затраты на энергию и (или) железную руду	SR менее распространена. Только процесс Corex/Finex коммерциализирован. В настоящее время установленная производственная мощность составляет около 7,45 млн. т/год (8 объектов)
Исходное сырье	Уголь • Для производства кокса требуются коксующиеся угли • Требуются коксовая мелочь и антрацит (когда используется) • Уголь для вдувания в доменную печь (могут быть не коксующиеся угли)	Уголь (когда используется для меньшинства процессов) • Широкий диапазон твердых топлив от антрацита до бурого угля, включая древесный уголь (вращающиеся печи) Газ	Уголь • Не коксующиеся угли, требования к техническим условиям более гибкие, чем для доменного процесса

Особенности	Традиционная доменная плавка(1)	Прямое восстановление (DR)	Восстановительная плавка (SR)
Исходное сырье	Вдуваемое топливо в доменную печь Помимо угля, нефтепродукты (например, отработанные масла), природный газ и пластмассы вдуваются в доменную печь Металлическая часть Широкий диапазон сырья различного качества и технических условий может использоваться	- Содержание серы в газе должно быть низким для предотвращения отравления катализатора реформера и достижения высокого качества продукта - Металлическая часть - Так как в процессе не происходит изменение физического состава, требуются окатыши и кусковая руда высокого качества	Металлическая часть - Кусковая руда и рудная мелочь, агломерат или окатыши - Кислород - Требуются большие количества кислорода для процесса Corex (с соответствующими энергетическими последствиями)
Потребность в энергии	Обычно 17 – 18 ГДж/т жидкого чугуна (меньше газа, пара и углеродные кредиты на выброс диоксида углерода)	Обычно 10,5 – 14,5 ГДж/т твердого DRI (на основе газа) из предположения 100% использования крупной руды (требуется дополнительная энергия для плавления и окатышей, если они используются)	Трудно количественно определить эффективность процесса, и она зависит от кредита, предоставляемого для экспортируемой энергии или производства большего количества DRI с помощью процессов DRI на основе газа
Качество продукта	Стабильное и надежное качество	У продукта имеется склонность к повторному окислению, если только не проводится пассивирование или брикетирование. Качество в значительной степени зависит от качества шихты	Идентично чугуну из доменной печи
Экологические показатели	Выбросы в окружающую среду включают пыль, ЛОС, РАН и различные органические химикаты из коксовых печей. На агломерационных установках выделяются SO ₂ , NO _x , пыль, ЛОС, PCB, PCDD/F и РАН (см. Табл. А4.1), в то время как в случае доменных печей происходят выбросы пыли и SO ₂ от литейного двора (см. Табл. А6.1 – А6.6). В процессе используется также большое количество воды. Однако в процессе предусматриваются возможности для рециклинга различных твердых отходов/побочных продуктов, которые не должны быть во многих процессах DRI. Способность к десульфуризации доменной печи также дает возможность использовать топлива и восстановители с повышенным содержанием серы экологически безвредными способами.	Так как в большинстве DR процессов используются железорудные окатыши, на окружающую среду воздействуют выбросы от процесса получения окатышей, которые следует учитывать. В продукте DRI обычно содержится 2-4% пустой породы, и требуется дополнительная энергия для переработки, и следует учитывать дополнительные выбросы в окружающую среду. Выделяемая пыль сходна с той пылью, которая характерна для доменной печи, так как сырьевые материалы просеиваются перед переработкой. Имеется необходимость в обеспечении экологически удовлетворительного маршрута для утилизации рудной мелочи, если DRI является заменой традиционной выплавки чугуна. Оксиды азота выделяются на стадии реформинга газа. В самых успешных процессах DR используется природный газ, хотя уголь остается самым крупным источником энергии, доступным для человека.	При рассмотрении процессов восстановительной плавки следует иметь в виду большие объемы колошниковых газов, образующихся в процессе Corex, и что эффективность использования энергии будет низкой, если только отходящие газы не будут использоваться для производства энергии или большего количества губчатого железа.

Особенности	Традиционная доменная плавка(1)	Прямое восстановление (DR)	Восстановительная плавка (SR)
Экологические показатели	Доменный шлак можно использовать для дорожного строительства или гранулировать для изготовления цемента. Побочные продукты должны иметь экологические преимущества, так как при этом снижается потребность в первичных наполнителях. Важно напомнить, что традиционный доменный процесс предусматривает возможности для рециклинга и размещения железосодержащих материалов, отфильтрованных осадков и масел от последующего производства стали по технологической цепочке, которые могут не появляться во многих восстановительных процессах. Традиционная технология также дает возможность использования широкого набора сырья и восстановителей различного качества.	С точки зрения устойчивого развития следует учитывать, что газ должен быть в резерве для производства продуктов высокого качества. Распределение с коксовальными печами предотвращает выбросы в воздух пыли и ЛОС от печей и различных органических химикатов от установок для переработки побочных продуктов. Выбросы от процессов рафинирования коксохимического производства в виде нефтепродуктов и смол также должны быть исключены. Кроме того, используются большие количества воды в процессе, которую необходимо экономить. При исключении агломерационных установок снижаются выбросы в воздух металлической/не металлической пыли и газообразных загрязнителей, таких как диоксид серы. Большая часть доменных печей в настоящее время имеет литейный двор с улавливанием дыма и бесконусные системы загрузки, и их экологические показатели должны быть, поэтому, сопоставимы с выбросами от восстановительных установок с эквивалентными системами.	В некоторых процессах SR требуется утилизировать большие количества отходящих газов. Кроме того, потребности в энергии для SR и выбросы CO ₂ , чем в случае доменной печи. Имеется необходимость в обеспечении экологически благоприятного пути для утилизации мелких фракций, если SR используется для замены традиционного доменного процесса.
Взаимодействия между средами		Так как в DR не происходит изменения физического состояния или отделения химических примесей, качество продукта полностью зависит от качества сырья. Производимое DRI не может иметь эквивалентное качество качеству чугуна в доменных печах, если используется сырье низкого качества. Для учета экологических целей, необходимо, чтобы DRI было в расплавленном виде для непосредственного сравнения с чугуном из доменной печи. Потребность в дополнительной энергии и выбросы, связанные с этим изменением физического состояния необходимо учитывать.	Потребления угля и потребность в кислороде выше, чем для доменной печи, и выбросы диоксида углерода значительно выше. Следует учитывать оксиды азота от реформинга газа как для SR, так и для DR.
Затраты на установку (ориентировочные)	1150 млн. евро за 3,3 млн. т /год (включая затраты на агломерационную установку и коксовые печи)	210 млн. евро за 1,36 млн. т /год (предполагая доступность подходящих окатышей или кусковой руды)	240 млн. евро за 0,6 млн. т/год (включая затраты на кислородный блок и предполагая работу с кусковой рудой).

(1) Коксовая печь, агломерационная установка, доменная печь.

11. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

11.1 Стратегии снижения выбросов диоксида углерода (проект ULCOS) [378], [250]

11.1.1 Доменная печь с рециклингом колошникового газа

Термин “новые технологии” в этом справочном документе понимается как инновационные технологии, которые еще не применяются в каком-либо секторе промышленности в промышленном масштабе. В этом разделе содержатся сведения о тех технологиях, которые могут появиться в ближайшем будущем, и которые могут применяться к сектору производства чугуна и стали. Например, в этом разделе:

- Идентифицируются любые новые технологии предотвращения и контроля загрязнений, которые по сообщениям находятся в стадии разработки и могут в будущем принести экономические и экологические выгоды.
- Включены технологии, обращенные к экологическим проблемам, которые только недавно стали рассматриваться в отрасли.
- Не включены известные технологии в других секторах, которые могут появиться в этом секторе.

Что касается этого конкретного сектора, то Европейский Союз выполнял (более 50 лет) и продолжает выполнять масштабные программы исследований и разработок для развития сектора. Некоторые проекты, описанные в этой главе, финансируются в рамках таких программ.

Определенно, что поскольку CO₂, который образуется, когда потребляется энергия, является парниковым газом (ПГ), основные изменения для снижения выбросов диоксида углерода связаны с экономией энергии, и в настоящее время они считаются частью решения проблемы глобального потепления, которая по масштабу является глобальной экологической проблемой.

Как упоминалось в докладе IPCC (Межправительственного комитета по изменению климата), не имеется единого выбора для ослабления изменения климата. Решение скорее в наборе действий по ослаблению этого изменения с целью стабилизации концентрации парниковых газов в атмосферном воздухе.

В самом деле, в прошлом был достигнут значительный прогресс, и простая экстраполяция нынешних технологий оставляет мало возможностей для резких новых снижений выбросов.

Для преодоления этой реальной трудности следует рассмотреть прорывные технологии, которым уделялось мало внимания в прошлом, поскольку они не принадлежали к экономической технологической парадигме того времени. При рассмотрении изменений целью должно быть снижение выбросов ПГ, а не просто экономия энергии; когда большая часть сэкономленной энергии накапливалась, как в случае большинства ведущих компаний в секторе черной металлургии; выбросы углерода и энергию необходимо отделить для продолжения снижения выбросов.

ULCOS означает производство стали со сверхнизкими выбросами диоксида углерода. Это соглашение 48 европейских компаний и организаций из 15 евро-

пейских стран, которые приступили к выполнению совместной инициативе в области исследований и разработок, направленных на достижение возможности для резкого снижения выбросов диоксида углерода в секторе производства стали. К соглашению присоединились все основные компании в этом секторе ЕС, партнеры в области энергетики и инжиниринга, научно-исследовательские институты и университеты, и оно поддерживается Европейской Комиссией. Цель проекта состоит в снижении выбросов диоксида углерода с помощью самых передовых технологий, по крайней мере, на 50%. Общий бюджет проекта составил 47 млн. евро (2004 – 2009 гг.) Проект нацелен на период за пределами 2015 г. с некоторым полномасштабным внедрением в промышленном производстве.

Имеется три области исследований в основе этого проекта:

- Улавливание и хранение CO₂ с дополнительным транспортированием и хранением
- Использование энергии и восстанавливающих агентов не на основе углерода, а именно водород и электроэнергию и в меньшей степени природный газ
- Использование устойчивой биомассы, выращиваемой на плантациях эвкалипта, например.

Все эти проблемы интенсивно исследовались в рамках европейского проекта ULCOS и в более общем смысле в других программах в мире.

Концепция рециклинга колошникового газа доменной печи (TGR-BF) основана на разделении отходящих газов (доменного газа) таким образом, чтобы полезные компоненты можно было возвратить в печь и использовать в качестве восстанавливающего агента. Это должно привести к снижению количества кокса, необходимого в печи (см. концепцию доменной печи на рис. 11.1). Кроме того, концепция вдувания кислорода в печь вместо горячего воздуха основана на удалении нежелательного азота из газа, что облегчает улавливание и хранение диоксида углерода (CCS, см. п. 10.1.2).

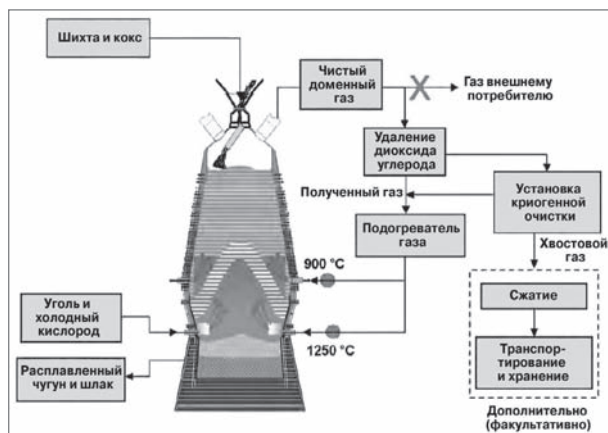


Рисунок 11.1: Схема рециклинга колошникового газа доменной печи для минимизации выбросов ПГ с улавливанием и дополнительным хранением CO₂ [378]

Для экспериментальной проверки этой концепции была построена установка для сепарации газа рядом с экспериментальной доменной печью в научно-исследовательском институте Mefos, в Швеции. На экспериментальной доменной печи было установлено оборудование для работы с чистым кислородом и с повторным вдуванием монооксида углерода. Комбинация из модифицированной доменной печи и установки для сепарации газа была успешно проверена в 2007 г.

Даже без CCS концепция TGR-BF приводит к существенному снижению выбросов CO₂, что главным образом связано с пониженным потреблением кокса (приблизительно на 25% ниже на тонну расплавленного чугуна). Так как рециклинг колошниковых газов снижает избыток этого газа, который имеется для производства энергии, и, таким образом, это количество энергии должно быть произведено из других источников, общая экономия CO₂ будет ниже чем 25%, но она все еще будет находиться в диапазоне 10 – 20% (в зависимости от используемой смеси топлив).

Во время написания этого справочного документа (2010 г.) были составлены планы для проверки технологии в доменной печи в промышленном масштабе, Это должно иметь место на следующей стадии проекта ULCOS, для которой требуется начальные исследования для научно-исследовательских работ в несколько сот млн. евро.

На второй стадии уловленный CO₂ сжимается и транспортируется для хранения в геологические формации, такие как месторождения нефти и природного газа, непригодные для извлечения угольные пласты и глубокие соленосные формации (депонирование CO₂), в природных карбонатах или для использования в промышленных процессах.

Топлива с низким содержанием углерода и восстанавливающие агенты

Замена углерода водородом или электроэнергией является значительным вызовом, так как водород и электроэнергия являются энергоносителями, которые должны производиться из других топлив.

До настоящего времени это было причиной, почему электроэнергия была дороже, чем уголь, газ или нефть. Причина также и в том, что было проведено мало работ по такой теме, как производство чугуна с помощью электролиза железной руды в основных исследованиях разработках в области производства стали.

В будущем картина может полностью измениться. В самом деле, углеродные ограничения, вызываемые политикой в рамках Киотского протокола и после него, должны изменить ценовую структуру топлив. Например, углерод должен иметь дополнительный ценовой ярлык в связи с необходимостью улавливания и хранения CO₂. Вследствие того, что для производства каждого кВт·ч требуется 1000 г углерода, к затратам на стоимость 1 МВт·ч необходимо добавит от 20 до 80 евро, и это должно быть видно в отношении нынешней цены за электроэнергию для промышленности, которая изменяется от 5 до 80 евро/МВт·ч по всему миру. Электроэнергия не на основе углерода не должна нести эту дополнительную нагрузку, и должна, таким образом, при постоянстве всех факторов,

заменить прямое использование углерода. Это, вероятно, должно резко изменить ценовую структуру энергии. Сходные расчеты такого же порядка должны показать, что черная металлургия может использовать большие количества водорода. Если бы он был доступен в больших количествах по справедливой цене, на паритетных началах с транспортным сектором, то последний перешел бы на использование водорода в автомобилях с топливными элементами.

В таких новых экономических условиях предварительное восстановление водородом железной руды должно стать обоснованным предложением, в особенности в связи с тем, что переход от природного газа к водороду довольно прост с технической точки зрения. Подобным образом, электролиз железной руды является реальной возможностью с точки зрения физики. Это даже обосновывается и тем, что такая технология должна быть более “легкой”, с термодинамической точки зрения, чем электролиз алюминия.

Электролиз железной руды должен по умеренной оценке потребовать 4,5 МВт-ч/т чугуна, или 16,2 ГДж/т, и это значение той же самой величины, что и энергоемкость современного стана горячей прокатки. Для производства 1 млн. т стали в год необходимо 0,514 ГВт электроэнергии, так что производство, эквивалентное предприятию, работающем на собственном сырье (4 млн. т/год), должно, вероятно, потребовать специальной электростанции. Если использовать обычную электростанцию, работающую на угле (1000 г CO₂ на 1 кВт-ч), то она станет источником выбросов 4,5 т CO₂ на тонну стали, что примерно в 3 раза больше данных для современной доменной печи. Однако, если электроэнергия будет производиться без выбросов CO₂, то на тонну стали будет образовываться только 27 г CO₂ на тонну стали. Так как технология электростанций будет изменяться в будущем после Киото, эти данные, по крайней мере, те, которые относятся к угольным электростанциям, будут снижаться по мере внедрения концепций когенерации и CCS, таких как технология для комбинированного цикла комплексной газификации. В долгосрочной перспективе электроэнергия потенциально станет мощным игроком, при условии, что можно гарантировать низкую углеродоемкость, и что цены будут оставаться соизмеримыми с ценами на сталь.

Электролиз воды является современной технологией, когда электролиз проводится в жидком состоянии. Установки для электролиза производят обычно 200 нм³/ч водорода, и, поэтому, 600 таких установок будут необходимы для питания установки DRI с производительностью 1 млн. т/год (на уровне 1050 нм³ H₂/т DRI). Потребность в электроэнергии должна составить 4,85 МВт-ч/т стали (включая плавку в EAF) и 4800 ГВт-ч/год для 1 млн. т стали.

Биомасса

И, наконец, должна быть также рассмотрена потребность в устойчивой биомассе в качестве альтернативы для снижения выбросов CO₂. Это должно стать интересным историческим поворотом, так как сталь производилась тысячу лет из биомассы, но это производство не было устойчивым после начала индустриализации, а уголь стал грозным конкурентом дровам и древесному угля. Устой-

чивое лесопользование, однако, становится реальностью в настоящее время, что подтверждено международными органами сертификации, такими как Лесной попечительский совет (FSC). Кроме того, лесные биологи и экологи начали демонстрировать, что в условиях устойчивого роста лесонасаждения, в самом деле, будут нейтральными в плане углерода, с точки зрения накопления ПГ в атмосферном воздухе.

Последнее, но не менее важное, учет земель, который может представить доказательства того, что выращивание энергетических культур, что имеются четкие возможности посадок большего количества плантаций, и это даст определенный вклад в мировое производство стали. Этому необходимо уделить серьезное внимание, и необходима дополнительная работа в рамках проекта ULCOS.

11.1.2 Улавливание и хранение CO₂

Одним из вариантов для снижения выбросов CO₂ является Улавливание и хранение углерода (CCS), которое рассматривается как новая технология с определенным потенциалом для ослабления изменения климата в течение нескольких десятилетий. В настоящее время проводятся разработки для применения в производстве энергии и в углеродоемких отраслях промышленности, таких, например, как черная металлургия.

CCS является последовательностью процессов, состоящей из трех последовательных стадий:

(а) Улавливание: отделение CO₂ от отходящих газов или потока промышленного газа

(б) Транспортирование: отделенный CO₂ сжимается до жидкого или сверхкритического состояния и транспортируется на место хранения

(с) Хранение в геологических формациях.

Что касается стадии улавливания (а), то несколько процессов улавливания находятся на стадии исследований и разработок. Другие процессы применялись на протяжении десятилетий, но в настоящее время не имеется стандартных установок, которые доказали бы их применимость. До настоящего времени в основном применялись процессы химической и физической абсорбции для удаления CO₂ при производстве природного газа. Различие в том, что имеются и другие виды в отходящих газах, получаемых в процессах окисления, такие как NO_x, SO_x, O₂ и т.д., что приводит к технологическим проблемам, таким как высокое потребление растворителей вследствие окислительной деградации. Все еще имеется необходимость в дальнейшей разработке процессов улавливания, в особенности для снижения значительного потребления энергии для процессов улавливания.

Что касается стадии транспортирования (б), то оно проводится в сжатом (жидком или сверхкритическом) состоянии, например, по трубопроводам, или для единичных применений, с помощью судов. Автомобильный транспорт не применяется вследствие характерной для него высокой потребности в энергии, а также вследствие соображений безопасности.

Что касается стадии хранения (с), то CO_2 в сверхкритическом состоянии хранится в прибрежных или морских геологических формациях, например, в месторождения нефти и природного газа, отработанных угольных шахтах или горизонтах соленых вод. Хранение в толще морской воды или на дне моря запрещено Конвенцией OSPAR (о защите морской окружающей среды в северо-восточной части Атлантического океана). Директива 2009/31/ЕС (Директива Европейского Парламента и Совета от 23 апреля 2009 г. о геологическом хранении диоксида углерода) также предоставляет возможность инъекции диоксида углерода во все еще эксплуатируемые месторождения природного газа или нефти (добыча углеводородов усовершенствованными методами – EHR), но в этом случае значительное количество инжектируемого диоксида углерода будет транспортироваться на участок геологического хранения на стадии продолжающейся добычи углеводородов.

CCS в черной металлургии

Возможным решением для улавливания CO_2 в черной металлургии может стать использование кислорода вместо воздуха для газификации углерода в доменном процессе. Технология PSA/VPSC (короткоцикловое адсорбционное разделение газов) для сепарации CO и CO_2 от доменного газа и вдувание образующегося CO . Этот процесс называется рециклинг колошниковых газов в доменной печи (TGR-BF), и он в настоящее время исследуется европейской черной металлургией в рамках проекта ULCOS [180].

Достижимые экологические выгоды

Выбросы CO_2 снижаются в значительной степени, когда отделенный CO_2 можно хранить в геологических формациях.

Взаимодействия между средами

Улавливание и хранение CO_2 значительно повышает потребности в энергии (в особенности для улавливания и сжатия), что обычно приводит к росту выбросов CO_2 и других загрязнителей воздуха (например, NO_x). Количество уловленного (или предотвращаемого) CO_2 представляет собой разницу между с применением и без применения технологии.

Хранение CO_2 проводится в течение нескольких десятилетий, главным образом в рамках добычи нефти усовершенствованными методами (EOR) в США и при прибрежном или морском хранении, например, шельфовое нефтегазовое месторождение Слейпнер в Норвегии. В этих проектах CO_2 и другие виды, получаемые при очистке природного газа/нефти, снова инжектируются в нефтегазовое месторождение таким образом, что не ожидается химического взаимодействия с покрывающей породой. CO_2 , полученный в других процессах, может содержать большое разнообразие видов, которые не находились ранее в контакте с покрывающей породой. Возможные взаимодействия этих загрязнителей из потока CO_2 с покрывающей породой следует исследовать дополнительно.

Хранение CO_2 в горизонте соленых вод является новым и неизвестным применением, и его долгосрочное влияние на качество грунтовых вод и т.д. все еще надлежит исследовать.

Требования качества в отношении чистоты CO_2 и допустимых количеств его или других видов, имеющих в потоке CO_2 , были определены, например в рамках проекта DYNAMIC [181] (технология производства водорода из различных видов сырья, включая отходящие газы). Применимость этой технологии еще должна быть доказана на практике.

Необходимы технологии мониторинга для обследования участков хранения с точки зрения их целостности и утечек/выхода CO_2 с участка хранения.

Транспортирование CO_2 является основной проблемой с точки зрения безопасности для человека и окружающей среды.

Эксплуатационные данные

Согласным данным Международного энергетического агентства (IEA) и результатам экспериментальных испытаний на доменной печи, улавливание и хранение CO_2 , когда оно применяется к основному процессу в доменной печи, может внести вклад в общее снижение выбросов до 75%.

Улавливание остающегося CO_2 от не основных процессов, таких как коксовые печи, агломерационные установки, кислородные конвертеры и прокатные станы, можно достигнуть только при значительно более высоких затратах.

Применимость

На основе результатов первых испытаний с экспериментальной доменной печью, CO_2 из доменных печей можно удалять с помощью переконструирования доменной печи для использования кислорода и удаления CO_2 с использованием физических абсорбентов. Необходимы дополнительные испытания для проверки этой технологии и применимости процесса для масштабирования применительно к эксплуатации в доменной печи.

Экономика

В докладе IPCC представлен диапазон затрат по улавливанию CO_2 от 25 до 115 долл. США (2002 г.) для промышленного сектора. Этот широкий диапазон отражает, с одной стороны, разнообразие используемых технологий, и с другой стороны, отражает недостающий опыт с этой технологией. Эти опубликованные данные, поэтому, следует считать только как грубую оценку и представляющие один сценарий среди других возможных сценариев. Вследствие проводимых усилий в области исследований и разработок эти нынешние затраты могут быть снижены, по крайней мере, в течение следующих десяти лет. Однако остаются многие неопределенности в отношении затрат в промышленном секторе, таких как черная металлургия, вследствие недостаточного опыта в улавливании. Дополнительными затратами при улавливании являются затраты на транспортирование (1 – 8 долл./т транспортируемого CO_2 на расстояние 250 км (2002 г.) и затраты на хранение в геологических формациях (0,5 – 29 долл./т CO_2) (2002 г.)

Данные не передавались о мотивации для реализации, примеры установок.

Справочная литература: [179], [180], [181].

11.1.3 Керамические фильтры для снижения выбросов твердых частиц и оксидов азота в газовых потоках

В системе сухой очистки отходящих газов используются керамические фильтры. Они проектируются для комбинированной фильтрации и реакции SCR в одной установке с использованием каталитического фильтра. Эти фильтры дают возможность использовать высокое энергосодержание газа, а также предотвращать засорение катализатора (оксидов Ti, V и W). Кроме того, объединение двух установок в одну установку снижает затраты на обработку, а также капитальные затраты и затраты на обслуживание.

Керамические элементы фильтра для горячих газов с мембраной с тонким наружным слоем и катализатор, интегрированный с опорной конструкцией элементов фильтра, можно использовать для достижения эффективного удаления твердых частиц, а также эффективного удаления NOx. Использование этих элементов фильтра обеспечивает возможность объединения фильтра и реактора SCR в одной установке. Кроме того, работу интегрированного каталитического слоя можно настроить таким образом, чтобы была возможность не только каталитического удаления оксидов азота, но также и каталитического окисления летучих органических соединений (ЛОС).

Загрязняющие вещества SO₂ и HCl удаляются с помощью использования, например, бикарбоната натрия (NaHCO₃) или гидроксида кальция (Ca(OH)₂) как сорбентов, в то время как NOx каталитически превращаются с NH₃ и O₂ в N₂ и O₂ при прохождении через фильтрующие элементы катализатора.

Достижимые экологические выгоды

Предварительные результаты по очистке от оксидов азота показали эффективность 83 – 98% (NO на входе 500 – 1720 частей на млн. при температуре от 140 до 360°C). При вдувании бикарбоната натрия степень удаления SO_x достигала 99%. Эффективность фильтрации обычно выше 99,99%.

Взаимодействия между средами

Не обнаружено образование N₂O.

Эксплуатационные данные

Эта система имеет более простую структуру установки по сравнению с процессом мокрой очистки, и она, как правило, меньше. Система может работать при высоких температурах (до 500°C).

Применимость

В особенности целесообразно применение для установок небольшого и среднего размера.

Экономика

Капитальные, эксплуатационные затраты и затраты на обслуживание, а также производственные затраты ниже, чем для многостадийной мокрой системы очистки отходящих газов. Кроме того, система сухой очистки позволяет обойтись без образования сточных вод в процессе очистки газа.

Данные не представлены о мотивации для внедрения.

Пример установок

Технология была испытана в Испании на электростанции на биомассе с мощностью 3,5 МВттерм.

Справочная литература: [377], [381].

11.1.4 Сжигание и рециклинг сухой уловленной пыли

Эта технология предназначена для обработки сухой пыли на металлургических заводах с полным циклом, например, пыли в доменном и конвертерном газе пи-рометаллургическим способом в специальном реакторе. При ее использовании летучие и опасные металлы и соединения можно удалить и получить фракцию с высоким содержанием железа.

В этом случае реактор имеет цилиндрическую или овальную форму с длиной 4,5 м, шириной 2,8 м и высотой 3,1 м. Пыль переносится в реактор азотом. После попадания в реактор углерод в пыли (до 30%) при использовании в качестве дополнительного топлива и кислородотопливной горелки создается адиабатическая температура горения 2200 – 2350оС. При этой температуре пыль плавится, и образуются капли жидкого шлака, который сливается через каждые 2 – 3 ч. На этот железосодержащий шлак приходится примерно 80% поступающего в реактор сырья, которое можно вернуть в процесс доменной плавки с использованием ценного железа. Отходящие газы направляются в камеру дожигания для дальнейшего окисления металлов и органических соединений. Пыль отделяется в касетном фильтре, и ее количество составляет примерно 20% от поступающего количества.

Основными элементами оборудования являются:

- Система транспортирования пыли
- Система хранения пыли
- Устройство для взвешивания пыли
- Система пневмотранспорта пыли в реактор
- Реактор, оснащенный кислородотопливной горелкой и леткой
- Камера дожигания и система охлаждения для отходящих газов
- Касетный фильтр
- Дополнительное устройство для измерений и контроля процесса.

Производительность пилотной установки по переработке пыли составляет, как максимум, 20 тыс. В случае финской компании Ovaко основными видами являются доменная и конвертерная пыль. Общее, перерабатываемое в год количество пыли составляет 20000 т, что соответствует максимальной производительности установки.

Продукт, поступающий в реактор, состоит приблизительно из 50% Fe в виде FeO/Fe₂O₃. Содержание цинка обычно составляет 0,1 – 0,2%, а содержание K₂O – 0,5 – 1,0 %. Продукт годится для возврата в доменную печь.

Количество пыли в касетном фильтре составляет 15 – 20% от поступающей пыли. Содержание цинка в этой пыли составляет приблизительно 10%, а содержание щелочных компонентов (K₂O + Na₂O) составляет 20 – 30%. Эта пыль направляется внешней компании.

Достигаемые экологические выгоды

Пыль доменных печей классифицируется как проблемная пыль. Пыль от конвертеров вызывает серьезные опасности для окружающей среды, но имеется возможность направить ее в соответствующий склад продукции.

После увеличения масштаба всю пыль металлургического завода с полным циклом можно переработать на этой установке. Количество пыли, направляемой на полигон, снижается приблизительно на 80%. С помощью пирометаллургической обработки и камеры дожигания пыль, предназначенная для депонирования на полигоне, может рассматриваться как менее опасная.

Выбросы после кассетного фильтра меньше 5 мг/нм³.

Энергоэффективность процесса высокая, поскольку необходимость во внешней энергии минимальная. (Содержание углерода в доменной пыли составляет 20 – 30%).

Данные не приведены о взаимодействиях между средами.

Эксплуатационные данные

В принципе, металлургия процесса работает хорошо, но необходима дополнительная работа с оборудованием.

Применимость

Применимость процесса для обращения с сухой пылью, как ожидается, хорошая. Основной целью разработки этой технологии была обработка пыли доменных печей и кислородных конвертеров, но можно предполагать, что система годится для переработки широкого диапазона остатков металлургического производства.

Экономика

Обращение с пылью внешней компанией обходится дороже по сравнению с обращением с пылью по месту, в особенности, когда используется вся производительность установки.

Мотивация для внедрения

Мотивация для внедрения включает:

- Значительное улучшение экологических показателей
- Экономия общих затрат
- Возможность конструкторских разработок.

Пример установок

Компания Овако, г. Коверхар, Финляндия.

Справочная литература: [208]

11.2 Новые технологии для агломерационных установок**11.2.1 Использование пластиков, пропитанных углеродом, для адсорбции PCDD/F**

Пластик широко используется в строительстве оборудования для очистки отходящих газов вследствие его высокой стойкости к коррозии. PCDD/F адсорбируются на пластике (полимеры, содержащие частицы углерода), и эта процедура осуществляется обычно после обработки отходов (например, мокрых скрубберов).

Достижимые экологические выгоды

Для сектора сжигания отходов сообщаются следующие результаты: при концентрации на входе 6 – 10 нг I-TEQ/нм³ эффективность удаления в газовой фазе находится в диапазоне 60 – 75% при использовании мокрого скруббера. При отсутствии пластика, пропитанного углеродом, эта эффективность составляет 0 – 4%. Сообщается, что эффективность абсорбции не снижалась в течение периода испытаний (один год). Использование сухой системы вместо мокрого скруббера позволило достичь высокой эффективности удаления (свыше 97% в одном испытании в течение девяти месяцев), так как водяная пленка в мокром скруббере становится причиной ограничения массопереноса для PCDD/F.

Взаимодействия между средами

Адсорбционный материал становится пропитанным после определенного периода времени. Поэтому загружаемый материал можно периодически удалять для размещения, или в случае возможного разрешения, сжигаться в печи.

Не передавались эксплуатационные данные, о экономике, примеры установок.

Применимость

Использование пластика, пропитанного углеродом, применяется в секторе сжигания отходов, но это еще не применяется в секторе черной металлургии. Технология может также использоваться в более распространенной установке с башенной насадкой и (или) в сочетании с предыдущей или последующей очисткой отходящих газов от диоксинов. Рабочая температура составляет 60 – 80оС.

Мотивация для внедрения

Мотивацией для внедрения этой технологии является подавление выбросов PCDD/F для выполнения требований разрешения.

Справочная литература: [239], [285].

11.2.2 Подавление образования PCDD/F с помощью добавки соединений азота к дымовым газам

Исходя из предположения, что значительная часть PCDD/F образуется с помощью ново синтеза в воздушных коробах после агломерационной ленты, соединения азота, такие как триэтанолламин (ТЕА) или монэтанолламин (МЕА) противоточно вдуваются в дымовые газы в воздушные короба для ингибирования образования PCDD/F. Амины можно растворять в воде и впрыскивать через сопла, установленные в воздушных коробах.

Достижимые экологические выгоды

Вдувание МЕА в отходящие газы на заводе компании ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия (2 – 4% от летучей золы) не привело к снижению выбросов загрязняющих веществ: выбросы пыли и микро загрязняющих веществ в реальности возросли вследствие сочетания ряда факторов:

- Накапливание МЕА вследствие возврата пыли от электрофильтра в шихту агломерата, что приводит к насыщению активированного угля
- Образование аммонийных солей

- Липкая пыль (менее благоприятные условия для удаления пыли электрофильтром в течение встряхивания осадительных пластинчатых электродов)
- Низкая химическая активность МЕА в отношении микро загрязняющих веществ при 150оС.

Насколько информированы исследователи (на основе их собственного длительного опыта и анализа имеющейся литературы), не имеется надежного доказательства какого-либо позитивного воздействия МЕА на выбросы с агломерационной установки. Положительные результаты, полученные с использованием МЕА Центром металлургических исследований (CRM) на заводе компании ArcelorMittal в г. Гент, Бельгия в течение 1999 и 2000 гг., были только предварительными результатами, полученными в течение очень коротких периодов времени (выборочные испытания), которые никогда не были подтверждены в полном масштабе в течение длительного периода. Лабораторные испытания, проведенные университетом г. Льежа, продемонстрировали, что можно ожидать эффективного снижения выбросов PCDD/F, когда пыль, в которой содержится PCDD/F, подвергается воздействию высоких температур (325 – 400оС) в течение нескольких часов, но трудно определить, может ли такой подход применяться к агломерационной установке.

Взаимодействия между средами

В течение испытаний большая часть МЕА адсорбировалась на тонкодисперсной пыли, происходило снижение ее концентрации вместе с пылью в электрофильтре, и в конечном итоге она возвращалась в агломерационную шихту. По этой причине можно предполагать, что то же самое должно происходить, если бы МЕА добавлялся непосредственно в шихту.

Эксплуатационные данные

Для достижения вышеупомянутых уровней ингибирования для агломерационной установки с производительностью 230 т агломерата в час, необходимо 46 кг МЕА в час. Это эквивалентно 0,2 кг/т готового агломерата.

Применимость

Технология может применяться на существующих аглофабриках, и в равной степени ее можно внедрять в проекты новых аглофабрик.

Экономика

Была сделана оценка, что для полного применения процесса ингибирования с использованием МЕА для агломерационной установки с производительностью 230 т агломерата в час, затраты на реагенты должны составить 0,149 евро/т агломерата, а инвестиционные затраты должны составить около 0,008 евро/т агломерата, что эквивалентно общим издержкам в 0,157 евро/т агломерата.

Мотивация для внедрения

Мотивацией для внедрения этой технологии является снижение выбросов диоксинов.

Пример установок

Испытания с использованием МЕА и ТЕА, разбавленных в воде, были проведены в г. Гент, Бельгия, на заводе компании ArcelorMittal.

Справочная литература: [224], [230], [231]

11.2.3 Закалка

Еще одним методом для подавления образования PCDD/F в воздушных коробах может стать быстрое охлаждение горячих отходящих газов с помощью инъекции холодной мелкодисперсной воды в воздушные короба. Инъекция должна снова иметь место как можно ближе к дну слоя агломерата, для того чтобы подавить образование PCDD/F [265].

11.3 /Новые технологии для коксовых печей

11.3.1 Коксовая печь повышенного качества [253], [320], [343]

Примером коксовой печи повышенного качества является проект SCOPE 21 в Японии, с описанием пилотной установки в г. Нагоя, приведенным здесь. SCOPE 21 означает коксовую печь повышенного качества в отношении производительности и улучшения экологических показателей в 21 веке. Национальный японский проект начал реализовываться Японской федерацией черной металлургии (JISF) в интересах разработки коксовых печей нового поколения. Цель проекта состояла в разработке инновационного процесса производства кокса, который будет отличаться экологичностью, энергоэффективностью и высокой производительностью.

Проект SCOPE 21 был завершен в 2003 г. Исследования были поддержаны всеми основными японскими производителями чугуна и стали (NSC, KSC, NKK, Sumitomo Metals и т.д.) в сотрудничестве с университетами. В настоящее время проводится определенная деятельность с точки зрения применения этого процесса с реальным оборудованием. Промышленный вариант батареи коксовых печей в рамках проекта SCOPE 21 был построен и пущен в эксплуатацию в 2008 г. на заводе в г. Оита компании Nippon Steel Corporation, Япония. Производительность батареи составила 1 млн. т кокса в год. Угольная смесь подогревается до 250°C, температура отходящих газов составляет 1270°C, а время коксования составляет 13 ч.

Идея проекта SCOPE 21 состояла в объединении хорошо известных технологий коксовых заводов, таких как:

- Подогрев угольной смеси до 350 – 400°C в псевдоожиженном слое с возможностью частичного брикетирования
- Транспортирование и загрузка смеси самотеком без выбросов с помощью питателей
- Науглероживание шихты в классической печи, построенной из сверхплотных динасовых кирпичей, которая отличается очень высокой теплопроводностью, и которая оснащена высокоплотными дверями. Общее время коксования составляет 6 – 8 ч, а конечная температура кокса – 850°C.
- Выдача кокса в установку сухого тушения, когда температура кокса сначала возрастает до 1000°C в предкамере, затем сухое тушение для транспортирования.

Все перемещения материалов осуществляются в закрытой системе транспортирования. Размеры пилотной печи составили половину от промышленного масштаба (высота: 7,5 м; длина: 8 м; ширина: 450 мм). На рис. 11.2 приведена схема производства кокса для процесса.



Рисунок 11.2: Технологическая схема производства кокса повышенного качества в процессе SCOPE 21 [320], [343]

Результаты

Исследования по экономической оптимизации общей системы позволили выявить, что коксовая батарея SCOPE 21 может привести к следующим преимуществам:

- Повышенная производительность, возросшая в 2,4 раза по сравнению с обычной коксовой печью
- Лучшее качество кокса
- Повышение уровня некокующегося или немного коксующегося угля до 50%
- Экономия на 20% потребляемой энергии в процессе производства кокса
- Снижение выбросов NOx на 30%
- Предотвращение образования дыма и пыли.

11.3.2 Способ контроля давления в одной печи

Во время написания справочного документа (2010 г.) на обычных коксовых печах расход швельгаза (полукоксового газа) от одной печи в газоход контролируется с помощью двухпозиционного клапана или с помощью технологии регулирования переменного давления, которая называется PROven (см. п. A5.3.10).

Способ регулирования давления в одной печи (SOPRECO®), описанный в этом разделе, основан на модификации этого клапана, оптимизации с помощью опыта и моделирования с помощью применения методов вычислительной газодинамики.

Система основана на специальном клапане, приводимом с помощью гидравлического или пневматического привода, и контроле давления в подъемной трубе. Клапан имеет соответствующую форму для работы в полном диапазоне расходов газа в течение всего цикла коксования.

Непрерывный контроль давления в печи в течение времени отгонки может предотвратить повышенное давление в течение первой фазы процесса, путем поддержания отрицательного давления в газоходе; это позволяет полностью снизить выбросы от дверей, загрузочных окон и т.д.

Кроме того, непрерывный контроль давления в печи предотвращает образование относительного отрицательного давления на поду печи в течение первой фазы отгонки, когда расход коксового газа низкий. Вследствие возможной инфильтрации воздуха с последующим сжиганием кокса и существенным ущербом на уровне пода печи, необходимо предотвращать падение давления ниже атмосферного. Поэтому преимущество контроля давления в коксовой печи связано со снижением выбросов (в течение первой части отгонки) и предотвращением инфильтрации воздуха в печь (в течение последней части отгонки).

Эта система первоначально была спроектирована для установки в существующих работающих батареях без значительных модификаций и без воздействия на работу печей. В случае нарушений в работе печи система может быть легко и незамедлительно перестроена для работы в обычном режиме эксплуатации. Это основное преимущество по сравнению с другими существующими системами. Для нескольких установок для достижения лучшего контроля давления используется новая конструкция клапана (рис. 11.3).

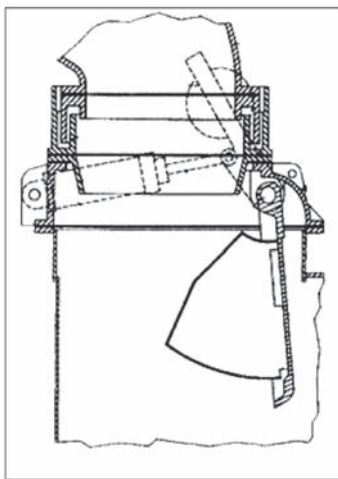


Рисунок 11.3: Клапан SOPRECO (система регулирования давления в отдельной камере батареи коксовых печей, разработанная компанией Paul Wurth) [320], [343]

На рисунке показана простая геометрия клапана SOPRECO, устанавливаемого на существующих работающих коксовых печах.

Система была испытана на печи № 45 компании Lucchini в г. Пьомбино, Италия, и она продемонстрировала полную надежность и нормальные условия эксплуатации. В марте 2006 г. компания Sollac M diterran e приняла решение установить эту систему на новой батарее коксовых печей в г. Фос-сюр-Мер, Франция. В настоящее время система находится на стадии сдачи в эксплуатацию.

Второе поколение системы SOPRECO под наименованием Модель 2 было разработано для выполнения более высоких требований со стороны батареи. Этот клапан был добавлен к главному клапану.

SOPRECO позволяет контролировать давление в печи в течение различных операций, связанных с “открытием/закрытием” (рис. 11.4). Сообщают, что может быть достигнута очень высокая точность в регулировании давления в камере печи, что особенно необходимо в случае камеры с трамбованной шихтой. Требуемое разрежение поддерживается на уровне – 60 мм вод. ст. в газоходе, в то время как давление в камере должно поддерживаться от 0 до 10 мм вод. ст. В общем, разность давлений на уровне 70 мм вод. ст. должна регулироваться точно, что выполняется для каждого клапана.

Система SOPRECO может применяться к новым и существующим коксовым цехам. Она может устанавливаться последовательно печь за печью.

Система была успешно испытана на трех печах с трамбованной шихтой в течение 6 месяцев. Система была установлена на новой батарее № 3 компании ZKS в г. Диллинген, Германия и пущена в эксплуатацию в январе 2010 г.

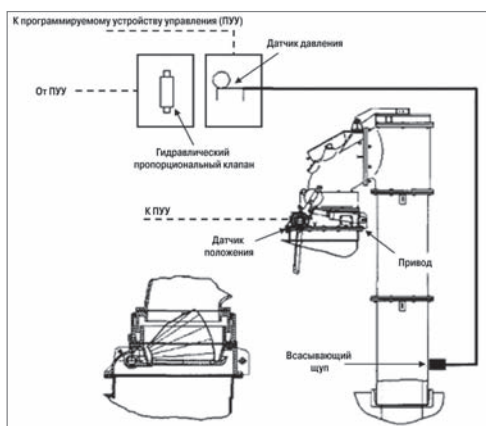


Рисунок 11.4: Схема системы SOPRECO [320], [343]

На рис. 11.5 показаны клапаны SOPRECO (модель 2), установленные на батареях с высотой камеры 6,3 м. Пуск батареи состоялся в январе 2010 г.

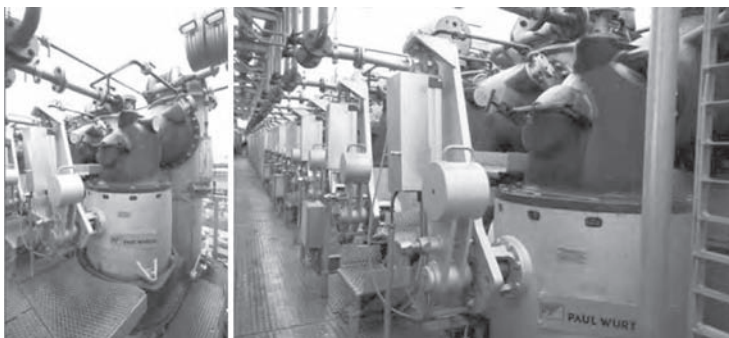


Рисунок 11.5: Клапаны SOPRECO модель 2 на батарее коксовых печей

11.3.3 Альтернативы использования коксового газа [206]

Для некоторых батарей коксовых печей по различным причинам целесообразно отклоняться от обычного использования коксового газа. Альтернативные возможности использования требуют различных методов и стадий технологического процесса для предварительной очистки коксового газа. Варианты исследований для использования коксового газа концентрируются на утилизации водорода, синтезе метанола, генерации пара для выработки электрической энергии и использовании в качестве восстановительного агента в доменной печи или при работе установок для прямого восстановления. Эти альтернативные возможности для использования коксового газа подвергаются общей оценке с учетом соображений о соответствующей инфраструктуре металлургического завода. Выгоды от прямых и косвенных продуктов коксовой печи зависят от специфических местных и эксплуатационных требований.

Для энергетического использования коксового газа альтернативным вариантом по отношению к классической утилизации тепла является отвод неочищенного коксового газа с температурой примерно 800°C из коксовой печи без охлаждения непосредственно в систему сжигания или частичного окисления. Эта технология еще не достигла стадии промышленного применения, поскольку еще не существует перспективного технического решения для контроля давления в индивидуальных камерах печи в условиях высокой температуры.

Другие варианты альтернативного использования коксового газа включают:

- Вдувание коксового газа и каменноугольной смолы в качестве вспомогательных восстанавливающих агентов в доменную печь. Эта технология уже осуществляется.
- Использование коксового газа в качестве восстанавливающего агента для производства железа прямого восстановления (DRI) или горячего брикетированного железа (HBI). Для производства DRI, когда коксовый газ используется в качестве восстанавливающего агента, необходим дополнительный производственный процесс. В этом случае проводится частичная очистка коксового газа.

11.4 Новые технологии для доменных печей [233], [356]

11.4.1 Снижение выбросов CO от воздухонагревателей с камерой внутреннего сгорания

В п. А6.1.4 были описаны две основные конструкции воздухонагревателей (с камерами внутреннего и внешнего сгорания). В случае камер внутреннего сгорания происходят высокие выбросы CO, в результате утечек из трещин в массе огнеупоров. Эти утечки представляются неизбежными и приводят к выбросам несгоревшего газа. Имеется, однако, возможность снижения утечек с помощью установления стальных листов соответствующего сорта в огнеупоры в течение замены футеровки.

Достигаемые экологические выгоды

Воздействие трещин (высокий уровень выбросов CO) можно значительно

снизить. В наличии еще нет результатов измерений до и после установления стальных листов).

Статус

Этот вариант уже был опробован на одном металлургическом заводе в ЕС-27.

11.4.2 Утилизация тепла шлака

В жидком шлаке из доменной печи содержится большое количество физического тепла. Его температура составляет примерно 1450°C, а в современной доменной печи производится около 250 – 300 кг/т жидкого чугуна. Ни в одной из промышленных систем в мире не используется этот источник потенциальной энергии. Это объясняется главным образом техническими трудностями в разработке безопасной, надежной и энергоэффективной системе, которая, к тому же, не будет влиять на качество шлака.

Достижимые экологические выгоды

Оцениваемая экономия энергии составит приблизительно 0,35 ГДж/т жидкого чугуна.

Статус

Были проведены испытания в конце 1990-х годов. Не известно о промышленном применении.

Справочная литература: [65].

11.4.3 Вдувание отходов в доменную печь

Были проведены исследования по использованию загрязненной нефтепродуктами прокатной окалины с летучей золой. Проверен уровень вдувания 100 кг/т жидкого чугуна [238].

11.5 Новые технологии для кислородных конвертеров и разливки

11.5.1 Повышение стабильности конвертерного шлака для длительного применения

Использование конвертерного шлака в гражданском строительстве ограничено вследствие содержания в нем свободной извести, которая влияет на объемную стабильность. Недавно был разработан процесс переработки жидкого шлака с целью решения этой проблемы. После выпуска шлака в шлаковый тигель жидкий шлак обрабатывается с помощью вдувания кислорода и песка (SiO_2). При этом свободная известь связывается с образованием устойчивых фаз, и в результате шлаковый наполнитель становится объемно устойчивым. Кроме того, можно улучшить поведение шлака в окружающей среде.

Статус

Эта стадия переработки была разработана в рамках исследовательского проекта, завершенного в 1998 г. Во время написания этого справочного доку-

мента (2010 г.) такой способ использовался в двух европейских кислородно-конвертерных цехах. Реализация способа в значительной степени зависит от потребности рынка в гражданском строительстве и политических условий, связанных с более широким использованием этого продукта.

Процесс оказался намного труднее с точки зрения контроля, чем ожидалось; проблемы могут быть связаны с вязкостью, влияющей на химическую активность, и с однородностью. Технические проблемы требуют глобального решения. Улучшена предсказуемость пригодности партии шлака для получения желаемого качества. Нынешние стадии испытаний связаны с оптимизацией процесса и снижением стоимости. Примерами установок являются металлургический завод компании ThyssenKrupp в Дуйсбурге, Германия, и ArcelorMittal в Генте, Бельгия.

Основные достижения

За счет повышения стабильности можно выполнить требования к использованию шлака в гражданском строительстве. В дорожном строительстве шлак заменяет природные ресурсы и предотвращает выбросы в производственном процессе переработки природных материалов. Экономия за счет использования шлака может быть двойная – за счет лучшей несущей нагрузки и свойств тепловой изоляции. Это является основой повышения эффективности использования ресурсов в сталеплавильном производстве, и снижается потребность в полигонах.

Справочная литература: [363].

11.5.2 Повышение степени очистки отходящих газов в кислородных конвертерах с помощью модернизации гибридных фильтр-циклонов

Большая часть кислородных конвертеров в мире оснащена установками для очистки конвертерного газа на основе мокрых скрубберов. С помощью этих установок обычно достигать остаточного содержания пыли в диапазоне от 30 до 50 мг/нм³.

Модернизация существующих систем с помощью установки последующего (по ходу отходящих газов) небольшого мокрого электрофильтра может помочь дополнительно снизить выбросы пыли в очищенном газе. Комбинированная система называется “гибридный фильтр-циклон”.

Идея состоит в том, что очистка конвертерного газа больше не будет основываться только на имеющемся скруббере. Скруббер действует как устройство предварительного пылеудаления для осаждения крупных частиц пыли и в качестве колонны охлаждения и увлажнения для последующего электрофильтра. Перепад давления в мокром скруббере может быть значительно снижен, и, следовательно, можно снизить потребление энергии вентиляторами.

Установленный ниже по потоку газов электрофильтр является небольшой установкой, состоящей из одного или более электрических полей, так как содержание пыли в газе уже снижено в значительной степени с помощью скруббера. Кроме того, вследствие низкой температуры снижается объем газа.

Используется уже существующее оборудование, такое как вентилятор и устройства для очистки воды с небольшими модификациями (или без них). При использовании подобной модификации не оказывается воздействия на существующую утилизацию конвертерного газа.

Статус

Технология находится в стадии разработки.

Достижимые экологические выгоды

Системы гибридных фильтр-циклонов могут достичь степени очистки газа от пыли $\leq 10 \text{ мг/м}^3$. Дополнительное потребление энергии электрофильтром будет с запасом компенсироваться снижением потребления энергии вентилятором.

Данные не приведены о взаимодействиях между средами.

Применимость

Технология находится в стадии разработки.

Возможна установка на всех существующих кислородных конвертерах с системой очистки с мокрым скруббером. Новые конвертеры предпочтительно оснащать технологиями с сухим электрофильтром.

Экономика

Благодаря небольшому размеру дополнительного электрофильтра и использованию существующего оборудования, инвестиционные затраты очень низкие.

Эксплуатационные затраты можно снизить вследствие снижения перепада давления в скруббере, что значительно снижает потребление электроэнергии вентилятором.

Мотивация для внедрения

Относительно небольшие инвестиции для модернизации существующей очистки газа на основе скруббера с целью соблюдения местных норм на выбросы могут привести к внедрению фильтра-циклона, когда невозможна полная замена мокрых скрубберов.

Справочная литература: [192]

11.5.3 Зонт с вихревым отсосом для вторичного обеспыливания

Выбросы пыли, вызываемые выпуском плавки из конвертера или загрузкой лома в него, трудно улавливаются вследствие того, что конвертер наклоняется из строго вертикального положения, и вырывающиеся дымовые газы рассеиваются в помещении цеха. Для проведения технологических операций требуется определенное свободное пространство выше крышки конвертера для крана и корзин с ломом. Поэтому вытяжной зонт должен иметь некоторое расстояние от источника пыли. Для обеспечения хорошей степени улавливания в системе вторичного обеспыливания, несмотря на условия монтажа, используются различные конструкции вытяжного зонта. Новой разработкой является “зонт с вихревым отсосом” (циклонным). При отводе из зонта воздуха образуется воздушная бочка, а воздух отсасывается с обеих сторон осей бочки. Эти условия потока заставляют твердые частицы двигаться в осевой плоскости воздушной

бочки под действием распределения давлений в бочке, и они отводятся через отверстия в двух находящихся напортив друг друга отсасывающих труб в систему пылеудаления. Важно, что давление при откачке в бочке вытяжного зонта достаточно большое для обеспечения стабильности.

Статус

Инженерное решение для такого типа вытяжного зонта было разработано несколько лет назад. Появился первый опыт с загрузкой на некоторых металлургических заводах, и новая система будет внедрена в ближайшее время.

Ожидаемые экологические выгоды

Если система хорошо спроектирована, она будет в состоянии достичь лучшей степени улавливания неорганизованных выбросов от источников, которые нельзя отводить непосредственно у самого источника. Невозможно количественно оценить воздействие способа, поскольку нельзя измерить отводимое количество, и следует проводить оценку по видимым выбросам пыли. Не имеются результаты на работающих агрегатах для сравнения этой конструкции, поскольку любые изменения в системе вытяжки сопровождаются также улучшением характеристик всей системы вытяжки.

Справочная литература: [363].

11.5.4 Рециклинг шлака в сталеразливочных ковшах кислородного конвертера и электродуговой печи в качестве флюса в электрошлаковом производстве

Было испытано несколько технологий для рециклинга шлака в сталеразливочных ковшах кислородного конвертера и электродуговой печи:

(а) Рециклинг жидкого шлака в сталеразливочном ковше в электродуговой печи. Достижимый уровень рециклинга составляет 80%

(б) Рециклинг твердого шлака из сталеразливочного ковша в ЕАФ. Около 15% извести замещается этим шлаком с отношением 1:2. Можно подвергнуть рециклингу около 15% образующегося шлака в сталеразливочном ковше

(с) Рециклинг отработанных огнеупорных материалов из ЕАФ, кислородного конвертера и агрегатов для внепечной обработки стали. Предварительным условием для рециклинга является тщательная переработка и контроль качества.

Достижимые экологические выгоды

Для технологии (а) не требуется переработка шлака.

Для технологии (б) не требуется переработка шлака.

Для технологии (с) отработанный магнезит является подходящей заменой оливина и мягко обожженного доломита.

Взаимодействия между средами

Для технологии (а) можно наблюдать некоторый рост общего потребления энергии вследствие дополнительных отверстий в печи.

Эксплуатационные данные

Для технологии (а) не наблюдались негативные воздействия на качество стали в ЕАФ. Для технологии (б) обращение с твердыми материалами имеет

преимущество в том, что возможен выбор благоприятного состава шлака. Некоторые незначительные воздействия в отношении металлургии процесса и качества стали имеют место.

Применимость

Для технологии (а) были проведены испытания по рециклингу на агломерационной установке, шихте для доменной печи и для конвертера.

Экономика

Для технологии (б) эксплуатационные затраты компенсируются за счет экономии извести. Экономические выгоды связаны с уменьшением количества депонируемого шлака из сталеразливочного ковша.

Мотивация для внедрения

Мотивацией для внедрения является шаг к сталеплавному производству без отходов.

Пример установок

Компания RIVA Acciaio, г. Верона, Италия; компания Krupp Edelstahlprofile (КЕР), г. Зиген, Германия; компания ЕКО Stahl, г. Айзенхюттенштадт, Германия.

Справочная литература: [386]

11.6 Новые технологии для электродуговых печей

11.6.1 Непрерывная плавка губчатого железа в электродуговой печи

147

Печь Contiarс является дуговой печью на постоянном токе с кольцеобразной шахтой, образованной внутренним и наружным корпусом. Печь работает непрерывно с сырьевым материалом, загружаемым в верхней части кольцеобразной шахты. Погружной характер работы печи делает ее более энергоэффективной, чем печи с куполообразным сводом. Кроме того, в настоящее время появилась возможность как плавить, так и переплавлять чугуны с производительностью 80 т/ч при плавке и переплавке. Печь может принимать лом низкого качества (измельченный автомобильный лом), железо прямого восстановления (DRI) и (или) горячее брикетированное железо (HBI) и объединять их с углем и кремнистой породой для производства качественного чугуна с шаровидным графитом с 3,5% углерода и 2,5% кремния.

Печь загружается автоматически с помощью системы в виде воронки, которая направляет по конвейеру шихту в верхнюю часть печи. Как только шихта достигает верхней части печи, она распределяется в одной из восьми воронок, которая расположена на вращающемся устройстве вокруг верхней части печи. Автоматизированная система загрузки работает синхронно с системой автоматического управления режимом плавления, определяя, в каком месте кольцеобразной шахты требуется шихта.

За счет поддержания всей шахты с заполненной шихтой достигается то, что теплосодержание печных газов используется для предварительного подогрева шихты. Проницаемость шахты не является проблемой из-за имеющегося объема газов; однако загружаемый материал должен иметь надлежащий размер для

предотвращения появления перемычек в шахте.

Концепция непрерывной дуговой плавки реализуется с помощью центрального катода (графитового электрода) внутри внутреннего корпуса и соответствующего электропроводного подового анода. В традиционной дуговой печи, когда добавляется шихта, электрод поднимается до верха шихты. В печи с непрерывной дугой во внутреннем корпусе электрод поддерживается в погруженном состоянии. Центральный графитовый электрод защищает от повреждений внутренний корпус при падении лома. Его конец находится на некотором расстоянии ниже пода этого корпуса таким образом, что дуга постоянного тока горит между электродом и расплавленной металлической ванной. Конец электрода экранирует от излучения дуги постоянного тока загружаемый материал.

Полностью инкапсулированное плавильное устройство обеспечивает восстановительную атмосферу в нижней части печи и немного окислительные условия в шахте для достижения желаемых металлургических условий и утилизации газов. Кроме того, эта конструкция обеспечивает низкие потери окисленного железа или кремния. Система с рукавным фильтром улавливает выбросы.

Основные достижения

Печь Contiarc сконструирована для выполнения операций плавления и переплавки. Это обеспечивает следующие преимущества:

- Возможность плавки при низких затратах значительных количеств измельченного лома, металлической стружки, HBI и (или) DRI (таким образом, поддерживая контроль примесей)
- Кварц (SiO_2), который в виде гравия используется в строительной промышленности, может быть заменителем дорогого ферросилиция в качестве средства для создания необходимого уровня кремния в расплаве
- Уголь можно использовать вместо кокса в течение плавления для науглероживания основного металла и снижения количества кварца, поскольку углеродсодержащий продукт не требуется для получения тепла
- Без использования кокса уровень серы в расплавленном металле снижается
- Имеется меньше шлака с системой Contiarc, чем в случае печи с обычной конфигурацией, с куполообразным сводом, так как это восстановительная печь, и это означает, что многие оксиды, которые обычно действуют как шлак, возвращаются снова в металл
- В течение плавления контроль температуры в печи Contiarc осуществляется гибко, и это означает, что можно делать корректировку с помощью простого изменения отношения тока к напряжению. Это позволяет перегревать железо перед выпуском.

Пример установок

В июле 2001 г. была пущена в эксплуатацию первая электродуговая печь на постоянном токе с погружным электродом (Contiarc) компанией ACIPCO в г. Бирмингем, штат Алабама.

11.6.2 Рукавный фильтр с интерметаллическим соединением для минимизации выбросов пыли, PCDD/F и тяжелых металлов

Рукавный фильтр с интерметаллическим соединением, устойчивый к высокой температуре, сочетает в себе фильтрующие и каталитические свойства и позволяет резко снизить выбросы пыли и соответствующих загрязняющих веществ.

Достигаемые экологические выгоды

В рамках пилотных испытаний компании LME Trith-Saint-Leger, Франция, эффективность очистки от пыли составила 99,9%, эффективность снижения выбросов PCDD/F – более 95% и выбросов тяжелых металлов – 95-100% (за исключением тяжелых металлов, находящихся в газовой фазе, типа ртути). Кроме того, можно сэкономить энергию вследствие умеренного охлаждения отходящих газов. Не передавались эксплуатационные данные, о взаимодействиях между средами, применимости, экономике, мотивации для внедрения, примеры установок.

Справочная литература: [252]

11.6.3 Утилизация старых шин в EAF

Так как старые шины применялись на цементных заводах (количество которых в Европе в 1999 г. составило 2,2 млн. т/год), их можно утилизировать и заменять уголь (антрацит) в электросталеплавильном производстве. Оптимизированный процесс утилизации в EAF требует адаптированной добавки шин, которые должны загружаться в нужном месте, ни в верхней части, ни у пода, а кислородные фурмы должны работать таким образом, чтобы предотвратить дожигание в любом месте, кроме дуговой печи.

Достигаемые экологические выгоды

Эта технология дает возможность утилизации старых шин и снизить потребность в добыче угля.

Взаимодействия между средами

Утилизация старых шин не приводит к чрезмерным выбросам PCDD/F, тяжелых металлов, PAH, SO₂ и ЛОС и не требует чрезмерного потребления энергии.

Не передавались эксплуатационные данные, о применимости, экономике, мотивации для внедрения.

Пример установок

В ходе пилотных испытаний, проведенных компаниями Asometal Hagondange, SAM Neuves-Maisons и LME Trith-Saint-Leger (все три из Франции), был достигнут уровень замещения 1,7 кг старых шин за 1 кг антрацита. Добавка 5 – 12 кг старых шин/т жидкой стали достигается, если шины разрезаются на небольшие куски с длиной не более 10 – 15 см. В 2006 г. компания LME Trith-Saint-Leger имела мощности по переработке 7000 т старых шин/год.

Аналогичные испытания проводила компания ArcelorMittal в Люксембурге.

Справочная литература: [252].

11.6.4 Рециклинг шлаков (конвертерного и электродугового) в качестве флюса в электросталеплавильном производстве

Подробности этой технологии представлены в п. 11.5.4.

12. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ БУДУЩИХ РАБОТ

Выбор времени процесса рассмотрения

Организационное совещание для проверки Справочного документа по наилучшим доступным технологиям (TWG) включило общий раздел (2), в котором содержится общая информация об управлении окружающей средой, материалами, водой, энергией, шумом, а также о мониторинге. Эти проблемы можно считать горизонтальными (обладающими одинаковым статусом) для видов деятельности в черной металлургии. В главах 3 – 8 представлена информация о конкретных процессах (агломерационные установки, установки для получения окатышей, коксовые печи, доменные печи, кислородно-конвертерный процесс выплавки стали и разливка, процесс выплавки стали в электродуговых печах и разливка).

Проверка справочного документа по НДТ для черной металлургии не влечет за собой полную переработку первого документа, принятого Комиссией в декабре 2001 г., но связана с доработкой существующего BREF, включая дополнительную информацию, которая была проверена (например, в отношении технологий), и которая может иметь воздействие на заключения, относящиеся к BAT. Обмен информацией и сбор данных был основан на пожеланиях, высказанных TWG.

Период для сбора информации и данных завершился в июне 2007 г. Методический документ о сборе данных был согласован на встрече IEF (Форум по обмену информацией). Первый формальный проект проверенного справочного документа по НДТ для черной металлургии охватывал все разделы, но заключения по НДТ и заключительные замечания были выпущены в феврале 2008 г. В то время к работе приступил новый автор. После оценки проекта документа было признано, что необходима измененная редакция некоторых глав, а также дополнительный период для сбора информации. Сбор информации завершился в феврале 2009 г. На основе дополнительной информации второй проект BREF был издан в июле 2009 г., с периодом консультаций в течение 10 недель для членов TWG, завершившимся в сентябре 2009 г.

Конечная встреча TWG была проведена в феврале 2010 г. Во время последнего пленарного заседания в нем принимали участие более 70 членов TWG.

Источники информации и пробелы в информации

Для проверенного BREF по черной металлургии было просмотрено более 200 документов и мнений государств-членов, представителей промышленности и экологических НПО. Система информации Комиссии о BAT (BATIS) служила как поле, где члены TWG могут передавать документы и информацию, которой можно делиться с членами, таким образом, достигая высокого уровня прозрачности. Важные мнения были включены в библиографию BREF. Основными поставщиками информации были EUROFER (Европейская конфедерация производителей чугуна и стали), промышленные ассоциации,

представляющие большинство европейских производителей стали, и следующие государства-члены ЕС: Австрия, Бельгия, Чешская Республика, Дания, Финляндия, Франция, Германия, Италия, Люксембург, Нидерланды, Польша, Швеция, Соединенное Королевство, а также Норвегия. Кроме того, информация была предоставлена корол (Институт экологии и политики), который представлял интересы НПО и некоторых поставщиков из Германии, Италии и Швейцарии. Эти документы можно рассматривать как структурные элементы проверенных частей документа BREF.

Дополнительная полезная информация была получена в результате посещения EIPPCB (Европейское бюро комплексного предотвращения и контроля загрязнения) предприятий в сфере черной металлургии в Австрии, Финляндии, Германии, Люксембурге, Нидерландах, Испании и Соединенном Королевстве. На основе предоставленной информации, данных и комментариев, полученных после периодов консультаций, этот документ BREF был пересмотрен путем обновления информации и данных о производственных показателях, потребности в энергии, затратах и достигнутых значений выбросов. Кроме того, были включены новые разделы, например, о мониторинге, инструментах управления, электростанциях на металлургических заводах, обращении с материалами, предотвращении и мониторинге рассеянных выбросов, отливках по форме, близкой к окончательной, подогреве лома, утилизации остатков с высоким содержанием железа и разработках, относящихся к снижению выбросов CO₂. В дополнение к этому, многие разделы были существенно переделаны и переработаны, например, технологии предотвращения выбросов в воздух, отвода и предотвращения вторичных выбросов в воздух, очистки сточных вод и внутреннем или внешнем использовании остатков и технологических газов.

Несмотря на всю очень полезную информацию и представленную информацию, следует указать на некоторые проблемы со сбором данных:

- Об основной части представленных данных о выбросах сообщалось как о коэффициентах выбросов (т.е. г/т продукта) для нескольких установок. Эти коэффициенты выбросов рассчитывались на основе измеренных значений концентраций выбросов и расходе отходящих газов, которые не были представлены как таковые. Было бы полезно иметь эту ценную информацию для оценки показателей конкретных технологий на уровне установки и для определения НДТ-AELs.

- Были некоторые неопределенности в отношении того, о каких конгенерах PCB и PAH делались сообщения, что затрудняло сравнение сообщенных значений выбросов.

В течение заключительной встречи TWG имело место подробное обсуждение в отношении процессов байпасирования, электростанций, работающих на технологических газах и степени улавливания пыли. Эти темы описаны ниже.

Процессы байпасирования

В течение операций пуска или останова или других специализированных операций, которые могут воздействовать на надлежащее функционирование

системы (например, работы по внеплановому обслуживанию и процессы очистки) или безопасность, системы снижения выбросов могут байпасироваться. Особое внимание следует уделять выбросам в течение байпасирования, в том смысле, что процессы байпасирования или частичного байпасирования должны быть минимизированы для достижения высокого уровня технического использования, относящегося к системе снижения выбросов. В наличии мало информации в отношении этой проблемы, поэтому, в будущем процессы байпасирования должны быть хорошо документированы. TWG приняла решение, что исходя из имеющейся информации о том, как иметь дело с этими конкретными условиями эксплуатации, необходимо делать заключение о НДТ, относящихся к процессам байпасирования.

Процессы на электростанциях, работающих на технологических газах на металлургических заводах

TWG рассмотрела информацию, переданную в отношении выбросов в воздух от процессов на электростанциях, работающих на технологических газах на металлургических заводах, которая оказалась недостаточной. Из информации, представленной в п.п. A2.2.1.2 и A2.5.3, не было возможности определить НДТ-AELs для пыли, SO_x, NO_x и CO. Эта проблема должна быть рассмотрена в течение проверки BREF по крупным топливосжигающим установкам (LCP) [282] и охвачена в отдельной главе этого BREF вместе с другими важными процессами на электростанциях, работающих на технологических газах.

Степень консенсуса, достигнутого в течение обмена информацией

На заключительной встрече TWG в феврале 2010 г. был достигнут высокий уровень консенсуса о заключениях по BAT, и было зарегистрировано только три расходящиеся точки зрения. В табл. 12.1 показаны расходящиеся точки зрения, выраженные членами TWG.

ТАБЛИЦА 12.1: РАСХОДЯЩИЕСЯ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Заключение по BAT	Точки зрения	Расходящиеся точки зрения
№ 20	Австрии и одной НПО	НДТ для агломерационных установок должны быть нацелены на снижение выбросов пыли с отходящими газами от агломерационной ленты только с помощью рукавного фильтра, а НДТ-AELs для пыли должны быть <10 мг/нм ³ , определенные как среднесуточные значения. Несколько объектов в ЕС имели установленные рукавные фильтры и достигли уровне выбросов пыли ниже 10 мг/нм ³ , как среднесуточные значения (см. п. A3.3.2.2). Не имеется технических, экономических проблем или проблем взаимодействия между средами, которые ограничивают применимость рукавного фильтра. На основе информации, приведенной в п. A3.3.2.1, постоянно низкие уровни выбросов не могут быть достигнуты с электрофильтром как среднесуточное значение, в особенности, когда остатки и пыль подвергаются рециклингу на агломерационной ленте

Заключение по BAT	Точки зрения	Расходящиеся точки зрения
№ 25	Австрии и одной НПО	НДТ должны быть на снижение PCDD/F и PCB с помощью применения вдувания адекватных адсорбционных агентов в газоход отходящих газов агломерационной ленты перед обеспыливанием с помощью рукавного фильтра. На основе информации из этого документа НДТ-AELs для PCDD/F должны быть <0,05 – 0,2 нг I-TEQ/нм3 для 6-8 часовой разовой пробы в устойчивых условиях. Несколько объектов в ЕС имеют установленные рукавные фильтры и достигли уровней выбросов ниже 0,2 нг I-TEQ/нм3 (см. п. A3.3.2.2). Кроме того, не имеется технических, экономических проблем или проблем взаимодействия между средами, которые ограничивают применимость рукавного фильтра в сочетании с вдуванием адекватных адсорбционных агентов в газоход отходящих газов
№ 19	Германии и одной НПО	Уровень выбросов пыли <10 мг/нм3 должен считаться как НДТ-AELs для коксовой печи с нижним обогревом на основе информации, предоставленной в п.п. A5.2.2.1 и A5.3.12.1. Большое количество и размер трещин в стенах печи очень старых коксовых цехов (до >0 лет) не следует использовать как основу для повышенных НДТ-AELs

Консультации на Форуме и последующее формальное принятие процедуры о заключениях по НДТ

Форум для обмена информацией согласно Статье 13 Директивы 2010/75/EU о промышленных выбросах (IED) (обычно дается ссылка на Статью 13 форума IED) был посвящен консультациям о предложенном содержании этого справочного документа НДТ 24 июня 2012 г., с представлением мнения участников на встрече 12-13 сентября 2011 г.

Мнение Форума по статье 13 IED можно представить в виде двух различных наборов комментариев. В конечном счете, в выраженном на Форуме мнении перечислены комментарии, в отношении которых был достигнут консенсус по включению их в заключительный справочный документ по НДТ. Во-вторых, в мнении перечислены те комментарии, в которых представлены точки зрения некоторых участников форума, но по которым не было консенсуса о включении их в заключительный справочный документ по BAT.

Полностью мнение участников форума представлено здесь: http://circa.europa.eu/Public/irc/env/ied/library?I=/ied_art_13_forum/opinions_article

Впоследствии Комиссия приняла в учет мнение форума по Статье 13 IED при подготовке проекта Комиссии о введении в действие решения, утверждающего заключения по НДТ для черной металлургии.

На встрече 21 ноября 2011 г по Статье 75 Директивы о промышленных выбросах (IED) Комитет выразил положительное мнение по поводу проекта Решения о введении в действие справочного документа по НДТ в чёрной металлургии.

В течение процесса консультаций существенных замечаний к тексту документа сделано не было.

Рекомендации для будущих работ

Обмен информацией о проверке BREF по черной металлургии представляет важный шаг вперед в достижении целей комплексного предотвращения и контроля загрязнений для производственных процессов в черной металлургии. Дальнейшая работа по проблемам, описанным ниже, может быть продолжена:

- В общем, было бы полезно собрать данные по большему количеству конкретных примеров применяемых технологий и их характеристик.
- Сбор информации, в частности данных о выбросах, проводился до разработки руководства Комиссии по этой проблеме (документ IEF от июня 2008 г. и руководство, разработанное в рамках IED). В будущем сбор данных и их передача будут улучшены при использовании этого руководства.
- Должно быть собрано больше информации в отношении методов мониторинга и частоты мониторинга, в частности для ртути и СОЗ (например, PCDD/F и диоксиноподобных PCB) в отношении процессов на аглофабрике и в EAF.
- Качество информации об использовании воды должно быть повышено с помощью четко определенных терминов водопотребления, водозабора, сточных вод и нормирования использования воды. Для сточных вод необходима дополнительная информация о сбросах, должно быть выражено мнение в отношении периодов отбора проб в течение мониторинга.
- Должна быть собрана дополнительная информация о мониторинге выбросов из значимых источников рассеянных выбросов, в частности, должно быть улучшено качество информации о выбросах от транспорта и обращения с пыльными материалами, таких как сырьевые материалы, некоторые промежуточные продукты и остатки.
- Должно быть улучшено качество информации о мониторинге выбросов от процессов подготовки сырьевых материалов типа дробления, измельчения, смешивания, грохочения, например, сушки и пылеприготовления угля для доменных печей.
- Для летучих органических соединений (ЛОС) следует более четко указывать, включен ли метан или нет.
- Для РАН должно быть более четко указано какие конгенеры включены (например, Borneff РАН, РАН, выраженные как EPA 16, или просто раздел ЕПА 16 или др.).
- В отношении PCB следует более четко указывать, какие конгенеры включены (например, Ballschmitter PCB, WHO (12) или сумма некоторых конгенов PCB или др.).
- Должны быть собраны данные о выбросах от установок по очистке коксового газа, в частности о ВТХ и РАН.
- Для агломерационных установок должно быть собрано больше информации от вторичного пылеудаления (приготовление смесей, смешение, спекание, охлаждение агломерата).

- Должно быть собрано больше стоимостных данных (например, капитальные затраты, эксплуатационные затраты) в отношении всех мер/технологий.
- Должна быть собрана информация и данные в отношении мнений по поводу минимизации потребления энергии и повышения энергоэффективности.
- Должна быть собрана информация в отношении мер/технологий по непрерывному мониторингу выбросов ртути, которая может быть применена в черной металлургии.
- Должны продолжаться работы по отливкам по форме, близкой к окончательной.

Предложения для будущих научно-исследовательских работ

Для агломерационных установок (см. п. А3.2.2.1) сообщалось о выбросах HCN, бензола и РАН, которые являются важными в некоторых случаях. Так как причины их появления остаются неясными, рекомендуется проведение анализа данных исследований. В этом контексте должно быть прояснено воздействие использования антрацита.

Для коксовых печей измерение выбросов твердых частиц из башен тушения должно быть основано на официальном методе отбора проб. Еще одна проблема связана с установлением согласованного метода для измерения или оценки рассеянных/неорганизованных выбросов, например, ВТХ и РАН от операций на коксохимическом заводе, включая башни тушения.

Для кислородных конвертеров должен быть проверен мониторинг и приняты меры по снижению рассеянных выбросов от важных источников, например, вторичные выбросы.

В частности, в отношении технологий, описанных в разделе Новые технологии (п. 11.1.1, относящийся к стратегиям снижения выбросов CO₂, и п. 11.3.1 о коксовой печи повышенного качества), должны быть проведены научно-исследовательские работы. Возможно, эти технологии будет целесообразно рассмотреть в будущем при определении НДТ для черной металлургии.

Комиссия оказывает поддержку с помощью серии программ по научно-исследовательским работам, в рамках серии проектов, связанных с чистыми технологиями, очисткой стоков и рециклингом, а также со стратегиями управления. Потенциально эти проекты могут внести полезный вклад в будущие проверки BREF.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] Arimitsu, 'Energy Saving in the Japanese Steel Industry', *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry*, 1995, pp. 105-136.
- [2] Auth et al., 'Die Entwicklung des Thyssen-Heißbrikettier-Verfahrens und die betriebliche Anwendung (The Development of the Thyssen-Hot-Briquetting Process and its Practical Application)', *Dritte Duisburger Recycling-Tage*, 1988.
- [3] Remus, R., 'Minutes from the Expert meeting Emissions from storage and handling of bulk materials', *Expert meeting Emissions from storage and handling of bulk materials*, 1998, Umweltbundesamt, Berlin, Germany.
- [4] Beer et al., 'Auswirkungen unterschiedlicher Koksgruskoernungen bei der Eisenerzsinterung (Impacts of Different Coke Breeze Grain Size Distribution on the Sintering Process)', *Stahl und Eisen* 111, Vol. No. 8, 57-64, 1991.
- [5] Beer et al., 'Verfahrenstechnische und metallurgische Maßnahmen zur Verminderung des Energieeinsatzes in Sinteranlagen (Process-integrated and Metallurgical Measures to Reduce Energy Consumption of Sinter Plants)', *Stahl und Eisen*, Vol. No. 11, 25-37, 1991.
- [6] Volkhausen, W., 'Description of the Oxycup Process', Personal Communication, 2008.
- [7] Bothe, *Umweltproblematik bei der Eisenerzsinterung (Environmental Problems of the Iron Ores Sintering Process)*, 1993.
- [8] Endemann, G., 'Description of the DK-Process', Personal Communication, 2008.
- [9] Fisher et al., 'Investigation of the Formation of Dioxins in the Sintering Process', *2nd International Congress on the Science and Technology of Ironmaking Conjunction with the 57th Ironmaking Conference of Iron and Steel Society*, 1998, C-Toronto.
- [10] Kessler, K., 'Zero Waste Production bei der Stahlverwertung', *Metall*, Vol. Vol. 59 3, No 2005, 2005.
- [11] Campell et al., *Oxy-coal Injection at Cleveland Iron Works*, 1992, pp. 120-125.
- [12] VDEh, Technical Background Paper om Recycling of FE-containing Material, 2006.
- [13] Deckers et al., 'Development of Environmental Control Technologies', *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry*, 1995, Praha.
- [14] Dietrich, *Reaktionskinetische Betrachtungen des Sintervorganges und Moeglichkeiten zur Leistungssteigerung (About the Reaction Kinetics of the Sintering Process and Possibilities for Productivity Increase)*, 1961.
- [15] Both, I. et al, *Technologies for the optimum recycling of steelmaking residues*, Stahl und Eisen, 2008.
- [16] Rentz, *Report on Best Available Techniques in the Electric Steelmaking Industry*, French-German Institute for Environmental Research, 1997.
- [17] Hillman, C. and Sassen, K.-J., 'Solutions for dusts and sludges from the BOF process', *Stahl und Eisen*, Vol. Vol 128 Nr. 5, 2006.
- [18] VDI/DIN, VDI 3790 part 1 Environmental meteorology - Emissions of gases, odours and dusts form diffuse sources - Fundamentals, 2005.
- [19] EC BOF, *Technical Note on the Best Available Techniques to Reduce Emissions of Pollutants into the Air from the Basic Oxygen Steel Making*, 1995.

- [20] VDI/DIN, VDI 4210 part 1 Remote sensing - Atmospheric measurements with LIDAR - Measuring gaseous air pollution with DAS LIDAR, 1999.
- [21] EC Coke, *Study on the Technical and Economical Aspects of Measures to Reduce (on the Basis of the Best Available Technologies) the Pollution (of Water and Other Environmental Areas) from the Industrial Emissions of Cokeries*, 1996.
- [22] EC EAF, *Technical Note on the Best Available Technologies to Reduce Emissions of Pollutants into the Air from Electric Arc Steel Production Plants*, 1994.
- [23] EC EAF, *Optimisation of Environment and Related Energy Utilisation in Scrap-based Steel-making (Phase I)*, 1997.
- [24] EC Haskoning, *Techno-economic Study on the Reduction Measures, Based on Best Available Technologies, of Water Discharges and Waste Generation from the Primary and Secondary Iron & Steel Industry*, 1993.
- [25] VDI/DIN, VDI 4285 part 1 Determination of diffuse emissions by measurements - Basic concepts, 2005.
- [26] Oberösterreichische Landesregierung, UVP Linz 2010: Permit of the Environmental Impact Assessment 'Linz 2010', 2004.
- [27] EC Panorama, 'Iron and Steel', *Panorama of EU Industry 97*, Vol. Vol.1 10-8 - 10-14, 1997.
- [28] ECSC, Treaty on the foundation of the European Union for Coal and Steel on April 18th (1951), 1951.
- [29] EC Sinter/BF, *Technical Note on Best Available Techniques to Reduce Emissions of Pollutants into the Air from Sinter Plants, Pelletisation and Blast Furnaces*, 1995.
- [30] Roederer et al., *Coordinated Study 'Steel-Environment'*, 1996.
- [31] Caughlin, R., 'Note on fugitive and diffuse sources of particulate matter at steelworks', Personal Communication, 2009.
- [32] Voestalpine Linz, Environmental statement 2008, 2008.
- [33] Eisenhut et al., 'New Findings and Developments in Environmental Protection and Health Safety at Work on Coke Oven Plants', *Ironmaking Conference Proceedings*, 1988, Bergbau-Forschung GmbH, D-Essen.
- [34] dena, Successful Record for Pump Systems: Energy Efficiency Pays Off, 2007.
- [35] Dr. Luengen, H.B., 'Technische Entwicklungen in der Stahlindustrie verringern CO₂-Emissionen', *Rheinklima - die Zukunftsfähigkeit eines europäischen Wirtschaftsraums im Wandel des Klimas*, 2005, Bonn.
- [36] EPRI, *Proceedings of the CMP Electric Arc Furnace Dust Treatment Symposium*, EPRI Center for Materials Production, 1992.
- [37] Motz, *Annex I: Substance Identity - from the ferrous slag consortium agreement*, 2009.
- [38] EUROFER BOF, *Document on "Oxygen Steelmaking and Casting"*, – Environmental Committee – Task Group Oxygen Steelmaking, 1997.
- [39] EUROFER EAF, *Document on "Electric Arc Furnace Steelmaking"*, – Environmental Committee – Task Group Electric Arc Furnace Steelmaking, 1997.
- [40] IPCC, *Fourth Assessment Report on Climate Change 2007, Synthesis Report*, IPCC, 2007.

- [41] European Commission, *BREF on Industrial Cooling Systems*, European Commission, 2001.
- [42] EC, *Reference Document on General Principles of Monitoring (MON)*, 2003.
- [43] Freuhan, 'Challenges and Opportunities in the Steel Industry', *Iron and Steel Magazine*, Vol. No. 3, 1993, pp. 59-64.
- [44] Freuhan, 'Effect of Emerging Technologies on Competitiveness in the Steel Industry', *Iron and Steel Magazine*, Vol. No. 2, 1994, pp. 17-22.
- [45] Gebert, *Abgasreinigungssysteme fuer Sinteranlagen (Off Gas Purification Systems for Sinter Plants)*, 1995.
- [46] Geiseler, 'Verwertung der Stahlwerksschlacken (Re-use of Slags from Basic Oxygen Steel-making)', *Stahl und Eisen 111*, Vol. No. 1, 1991, pp. 133-138.
- [47] Geiseler, *Verwertung von Hochofen- und Stahlwerksschlacken (Re-use of Blast Furnace and BOF Slag)*, 1992, pp. 1-32.
- [48] EC, *Reference Document on Energy Efficiency (ENE)*, 2008.
- [49] Goverde et al., *Milieuvoorzieningen bij Hoogovens Ijmuiden*, 1995.
- [50] Grützmaier et al., *Staubunterdrückung in Hochofengießhallen (Dust Suppression in Cast Houses)*, 1991, pp. 51-56.
- [51] UN ECE, *Recommendations on Monitoring and Response Procedures for Radioactive Scrap Metal*, UN, 2006.
- [52] de Haas et al., *Vermeidung der Staubbildung in Hochofengießhallen (Dust Suppression in Blast Furnace Cast Houses)*, 1997.
- [53] BDSV, *European Steel Scrap Specification*, 2009.
- [54] Haissig, '21st Century Electric Steelmaking: The Integrated Meltshop', *Iron & Steel Society's 25th Advanced Technology Symposium in St. Petersburg Beach*, 1997, USFlorida on May 11-14.
- [55] Harp et al., *Untersuchung und Bewertung der Einsatzmöglichkeiten verschiedener Verfahren zur Aufbereitung von Huettenwerksrest- und -abfallstoffen (Investigation and Assessment of the Applicability of Different Techniques to Treat Residues and By-products from Integrated Steelworks)*, Betirebsforschungsinstitut (BFI), 1990.
- [56] Dr. Gaertner, A., 'Messung diffuser Emissionen', *Workshop on "Diffuse Emissionen"*, 2004, Duesseldorf.
- [57] Heinen, *Elektrostahl-Erzeugung, 4. Aufl. (Electric Arc Furnace Steel Production, 4. ed.)*, Verlag Stahleisen GmbH, D-Duesseldorf, 1997.
- [58] Kaestli, P., 'Comparison of conversion costs of continuous scrap preheating systems', Personal Communication, 2009.
- [59] Nethe, *Der Einsatz von Sorbentien im gesamten System von Abgasreinigungsanlagen*, 2005.
- [60] Hille et al., *Wirtschaftliche Betrachtungen zur Entwicklung der Hochofenkapazitaeten in der Welt (Economical Considerations of the Development of Blast Furnace Production Capacities in the World)*, 1997, pp. 93-101.
- [61] Hodges, 'Pollution Prevention and the Sinter Plant', *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry*, 1995, Praha.

- [62] Hoffmann, *Die Rueckgewinnung von Zink und Blei aus Staeben der Elektrostahlerzeugung (The Recovery of Zinc and Lead from Dusts from Electric Arc Furnace Steelmaking)*, 1997.
- [63] Wirling, J., 'Safety aspects in the use of carbonaceous sorbents during waste gas treatment', *MT International*, Vol. Vol. 3, 2007, pp. 144-152.
- [64] IISI, *The Management of Steel Industry By-products and Wastes*, IISI-Committee on Environmental Affairs, 1985.
- [65] InfoMil, *Dutch Notes on BAT for the Production of Primary Iron and Steel*, Spatial Planning and the Environment, Directorate for Air and Energy, Department of Industry, 1997.
- [66] Joks, 'Development of Energy Conservation Technology at Thyssen Stahl AG in Germany', *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry*, 1995, Praha.
- [67] TSW GmbH, 'Anlagen- und Betriebsbeschreibung zur Modernisierung und umwelttechnischen Sanierung des Stahlwerks der TSW', Personal Communication, 2005.
- [68] Karcher et al., *Ermittlung und Verminderung der Emissionen von Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen: Untersuchung der Zusammenhaenge der Dioxin- /Furanemissionen in Abhaengigkeit von Einsatzstoffen und Minderungstechniken bei Elektrolichtbogenofen (Investigation and Reduction of PCDD/F Emissions from Thermal Processes: Investigation of Connections of PCDD/F Emissions Depending on Input and Minimisation Techniques at Electric Arc Furnaces)*, 1996.
- [69] Kemeny, 'Technical Look at EAF Dust Treatment. Proceedings of the CMP Report', *CMP Electric Arc Furnace Dust Treatment Symposium*, Vol. No. 94-2, 1994.
- [70] Kersting et al., 'Countermeasures for Organic Emissions from Sinter Plants (1997)', *ENCO-STEEL – Steel for Sustainable Development*, 1997, on June 16-17, 1997 in SStockholm.
- [71] Kim et al., 'Improvement of Sinter Plant Stack Emissions at Kwangyang Works, Posco', *2nd International Congress on the Science and Technology of Ironmaking Conjunction with the 57th Ironmaking Conference of Iron and Steel Society*, 1998, C-Toronto on March 22- 25.
- [72] N.N., *Eisen und Stahlerzeugung, Hinweise und Erlaeuterungen zu Anhang 29 der Abwasserordnung*, 2005.
- [73] Knapp, 'Quality and Improvements of the Shaft Furnace with Post-combustion', *Monterrey Symposium*, 1996, Monterrey.
- [74] Knoerzer et al., 'The Design and Operation of Jewell's New Nonrecovery Coke Oven Batteries', *50th Ironmaking Conference*, 1991, US-Washington on April 14-17.
- [75] Knoop et al., 'Steuerung des Einschmelzens im Drehstrom-Lichtbogenofen zum Schutz der Wandkuehlelemente (Control of Melting in the Three-Phase-Current Arc Furnace to Protect the Water-cooled Side Walls)', *Stahl und Eisen 117*, Vol. No. 2, 1997, pp. 91-96.
- [76] Koeller, 'Environmental Protection - A Challenge to Management in the Austrian Steel Industry', *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry*, 1995, Praha.
- [77] Austrian TWG member, Austrian comments on the first draft of the reviewed IS BREF, 2008.
- [78] Kreultsch et al., *Iron and Steelmaking of the Future*, Iron and Steelmaking International, 1994, pp. 4-8.
- [79] Kuhner et al., 'Noise Abatement for Electric Arc Furnaces', *Iron and Steel Engineer 73*, Vol. No. 4, 1996, pp. 83-86.
- [80] Dornseiffer, P., Luxembourg comments on the first draft of the reviewed IS BREF, 2008.

- [81] Norwegian TWG member, Norwegian comments on the first draft of the reviewed IS BREF, 2008.
- [82] Lemperle et al., *Corex Today and Tomorrow*, Metallurgical Plant and Technology International, 1993.
- [83] Ehrlich, C. et al, 'PM 10, PM 2.5, PM 1,0-Emissions from industrial plants-Results from measurement programmes in Germany', *Atmospheric Environment*, Vol. Vol. 41, 2007, pp. 6236 - 6254.
- [84] Grasselli, A. and Raggio, C., 'Consteel EAF Technology', Personal Communication, 2008.
- [85] VDI/DIN, VDI 2584 - Naturstein Aufbereitungsanlagen in Steinbrüchen, 2006.
- [86] Linninger et al., 'Modernes Technologie- und Informationsmanagement am Beispiel der Auslegung von Elektrolichtbogenöfen (Modern Technology and Information Management by Hand of the Design of Electric Arc Furnaces)', *Stahl und Eisen* 115, Vol. No. 3, 1995, pp. 93-101.
- [87] Medinger et al., *Bilanz der Quecksilbermissionen aus Quellen im Linzer Stadtgebiet (Balancing the emissions of mercury in the area of the city of Linz)*, City of Linz – Office for Environmental Protection, 1996.
- [88] Löhr et al., 'State of the Art in Biological Waste water Treatment in European Coking Plants', 1996, B-Gent.
- [89] Löhr et al., *Process for Waste water Treatment of Coking Plants*, 1997, pp. 54-60.
- [90] Köhler et al., 'Introduction to PW Bell less top charging system', Personal Communication, 2009.
- [91] Memoli, F. and Ferri, M., 'New track record for Consteel due to new environment-friendly features', *MPT International*, Vol. No. 5 2007, 2007, pp. 58 - 65.
- [92] Lünen, 'Roheisenerzeugung im Jahr 2000 (Pig Iron Production in 2000)', *Stahl und Eisen* 115, 1995, pp. 45-55.
- [93] Matzke, *Blei-, Zink- und Alkalientfernung beim Sintern von Reicherzsmischungen (Lead, Zinc and Alkali Removal During Sintering of Rich Ore Mixtures)*, 1987.
- [94] Mc Manus, *Scrap Preheating: A Trend Gains Momentum*, 1995, pp. 60-61.
- [95] Mertins, 'Die Aufbereitung von Hochofengichtgasschlaemmen – ein Beitrag zur Entsorgung eines Abfallstoffes (The Treatment of Blast Furnace Top Gas Sludges – A Contribution for the Disposal of a Solid Waste)', *VCH, Verlag Erzmetal* 39, Vol. No. 7, No 8, 1986, pp. 399-404.
- [96] VDI/DIN, VDI 4211 part 1 Remote sensing - Atmospheric measurements near ground with FTIR spectroscopy - Fundamentals, 2000.
- [97] Murphy et al., 'High Pressure Water Jet Coke-oven Door Cleaning and Mass-flow Charging of Ovens', *Iron and Steel Engineer*, Vol. No. 3, 1991, pp. 23-30.
- [98] Nagai, *Sources of Iron Beyond 2000*, EAF Supplement, 1995.
- [99] DK Recycling, 'DK recycling operational data', Personal Communication, 2009.
- [100] Nathaus et al., *Wet Quenching Towers with De-dusting Equipment – Brochure and Reference List*, 1997.
- [101] Neuschütz et al., 'Comparison on Thermochemically Calculated and Measured Dioxin Contents in the Off-gas of a Sinter Plant - Part 1', *9th Japan-Germany Seminar on Fundamentals of Iron and Steelmaking*, 1996, on September 8-9.

- [102] Eurofer, Eurofer comments on the first draft of the reviewed IS BREF, 2008.
- [103] OECD, *Environmental Implications of Energy Use in Industry*, Organisation for Economic Co-operation and Development, 1988.
- [104] te Lindert et al., *Demonstation Plant for Sintering with Reduced Volume of Flue-gases*, 1997.
- [105] Pazdej et al., 'Treatment of BF and BOF Dust and Sludges', *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry*, 1995, CZ-Praha.
- [106] Pedersen et al., 'Environmental Aspects of Steel Mill Gas Cleaning', *Steel and the Environment in the 21st Century*, 1996, UK-London on April 2-3.
- [107] N.N., 'Rogesa: Neue Abgasreinigung an Sinteranlage', *Stahl und Eisen*, Vol. 129 Nr.2, 2009, p. 1.
- [108] Philipp et al., 'Umweltschutz in der Stahlindustrie – Entwicklungsstand – Anforderungen – Grenzen (Environmental Protection in the Steel Industry - State of Developments – Requirements – Limits)', *Stahl und Eisen* 107, Vol. No. 11, 1987, pp. 507-514.
- [109] Hein, M. et al, 'Umweltaspekte beim Nasslöschen', *Fachtagung Kokereitechnik*, 2000, Essen.
- [110] Brouhon, Belgium comments on the first draft of the reviewed IS BREF, 2008.
- [111] Poth, 'Die Schlackengranulation des Hochofens Schwelgern mit einer OCPEntwaesserung (The Slag Granulation of the Blast Furnace Schwelgern with OCP Dewatering)', *Stahl und Eisen* 105, 1985, pp. 386-389.
- [112] Pütz, 'Uebersicht ueber Dioxinemissionsquellen der Stahlindustrie unter besonderer Beruecksichtigung ihrer Sinteranlagen (Survey about the PCDD/F Sources in the Steel Industry with Special Consideration of Sinter Plants)', *12. Aachener Stahlkolloquium*, 1997.
- [113] Gidlund et al., Information about Swedish pelletisation plants, 2008.
- [114] Remus, Rainer, 'Mission report (Corus Ijmuiden, the Netherlands)', Personal Communication, 2008.
- [115] Walker, D.; Barkdoll, M., 'Cokemaking', *Cokemaking International*, Vol. 14 No.1, 2002.
- [116] Rentz et al., *Stoffstrommanagement in der Eisen- und Stahlindustrie (Material Flow Management in the Iron and Steel Industry)*, E. Schmidt Verlag, 1996.
- [117] Hoffmann, A. et al, 'Cokemaking', *Cokemaking International*, Vol. 13 No.2, 2001.
- [118] Rothery, *Desulphurisation of Coke Oven Gas by HSR Process*, 1987.
- [119] Sakuragi et al., *Operation Results of the Exhaust Gas Recirculation System in Tobata No. 3 Sinter Plant*, La Revue de Métallurgie – CIT, 1995.
- [120] Schiemann, *Untersuchungen des Sammelschrotts auf PCB-Quelen und Entwicklung geeigneter Vorbehandlungsmaßnahmen (Investigations of Collected Scrap on PCB Sources and Development of an Appropriate Pretreatment)*, 1995.
- [121] Hein, M., 'Cokemaking', *Cokemaking International*, Vol. 14 No.1, 2002.
- [122] Scholz et al., 'The Formation of PCB on Fly Ash and Conversion to PCDD/PCDF', *Organohalogen Compounds* 31, 1997, pp. 538-541.
- [123] SHI, *A System for Waste Heat Recovery in Sintering Plant*, 1987.

[124] Arendt, P. et al, 'Konventioneller Horizontalkammerofen', *Stahl und Eisen* 126 Nr. 1, 2006.

[125] Smith, *New Concept in EAF Energy Saving Commissioned at Sheerness Steel*, I&SM, 1992, pp. 57-59.

[126] Spencer et al., *Chem. and Eng. Technology* 15, 1992.

[127] Dr. Fleischanderl, Alexander, 'Improved dry-type gas cleaning process for the treatment of sinter offgas', *MPT International*, Vol. No. 3 2006, 2006.

[128] Sporenberg, *Messprotokolle und Berichte über die Durchführung von Emissionsmessungen im Kamin der Sinteranlage sowie Nebenanlagen der EKO Stahl GmbH Eisenhüttenstadt*, Umweltschutz Messtechnik GmbH, 2006.

[129] Stalherm et al., *Design and Start-up of the Third Wide Chamber Coke-oven Battery at Prosper, West-Germany*, 1990, pp. 9-15.

[130] Stalherm et al., *Cokemaking and the Environment*, Steel Times International, 1995, pp. 19- 22.

[131] Stat Stahl, *Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 1996 (Statistical Yearbook of the Steel Industry 1996)*, 1997.

[132] Steeghs et al., *High Injection Rates of Coal into the Blast Furnace*, 1994.

[133] Stieglitz et al., *Investigation of Precursors Reaction in the De-Novo Synthesis of PCDD/PCDF on Fly Ash*, 1997, pp. 1083-1090.

[134] Strohmeier et al., *Steelworks Residues and the Waelz Kiln Treatment of Electric Arc Furnace Dust*, 1996, pp. 87-90.

[135] Busink, R., 'Specific emissions to water from direct cooling at continuous casting', Personal Communication, 2009.

[136] Theobald, *Kreislaufuehrung von Hochofenwaschwasser (Recycling of Blast Furnace Gas Scrubbing Water)*, 1988.

[137] Theobald, *Ermittlung und Verminderung der Emissionen von halogenierten Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen (Study of the Emissions of Polychlorinated Dibenzodioxins and -furans and Heavy Metals from Iron and Steel Plants)*, 1995.

[138] Theobald, *Hintergrundpapier zum Anhang 24 (Anforderungen an die Eisen- und Stahlindustrie) zur Rahmen-Abwasserverordnung nach § 7a Wasserhaushaltsgesetz (Background Paper for the Requirements in annex 24 (Requirements for Iron and Steel Industry) of the Waste water Rule According to Section 7a of the German Water Management Act)*, 1997.

[139] GfA Münster-Roxel, *Emissionen der Primorec S.A.in Differdange, Luxembourg*, 2008.

[140] Eurofer, *Compilation of open issues according to the Member state comments and gaps of information on the review of the IS BREF draft*, 2009.

[141] Ferry, M., *Direct strip casting of metals and alloys*, 2006.

[142] Hendricks, C., 'Strip casting technology - A revolution in the steel industry?', *MPT International*, Vol. Vol. 18 No. 3, 1995.

[143] UA-OÖ, 'Quecksilberemissionen aus Sinteranlagen (Mercury Emissions from a Sinter Plant)', Personal Communication, 1998.

[144] UBA-BSW, *Ermittlung und Verminderung der Emissionen von Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen; Untersuchung der Zusammenhaenge der Dioxin- /Furanemissionen in Abhaengigkeit von Einsatzstoffen und Minderungstechniken bei Elektro-Lichtbogenofen (Determination and Minimisation of PCDD/F Emissions from Thermal Processes, Investigation of the Effect of Electric Arc Furnace Input and Emission Control Techniques on the Formation of PCDD/F Emissions)*, sponsored by the Federal Environmental Protection Agency of Germany, Berlin, 1996.

[145] UBA Comments, *Comments on the draft 'Dutch Notes on Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the Production of Primary Iron and Steel'*, Environmental Protection Agency of Germany (UBA), Berlin, 1997.

[146] Schäperkötter, M. et al, *Energieeinsparung, CO₂-Emissionsminderung und Ressourcenschonung bei der Herstellung und Anwendung von (hochfesten und duktilen) HSD-Stählen*, BMBF, 2009.

[147] UK EAF, *Chief Inspector's Guidance to Inspectors - Process Guidance Note IPR 2/3*, 1994.

[148] UK Coke, *Chief Inspector's Guidance Note, Series 2 (S2) - Processes Subject to Integrated Pollution Control*, 1995.

[149] Kemper, G., 'State of the Art in Continuous Casting Technology', *Stahl* 2008, 2008, Düsseldorf.

[150] Bakker, Wim, Dutch comments on the first draft of the reviewed IS BREF, 2008.

[151] TÜV Süd Industrie Service GmbH, *Emissionsmessungen an diffusen Quellen im Oxygens-tahlwerk 1; hier:Dachreitern der Mischerhalle und über den Konvertern bei Thyssen Krupp Stahl AG Duisburg-Bruckhausen*, 2005.

[152] Ullmann's, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5. edition Steel, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1994.

[153] UN-ECE, *The Recuperation and Economic Utilization of By-products of the Iron and Steel Industry*, United Nations, Economic Commission for Europe CH-Geneve, 1990.

[154] UN-ECE, "By-Product Utilization from Stationary Installations" – *Status Report*, Austrian Federal Ministry of the Environment, A-Vienna, 1996.

[155] UN-ECE Pops, *Long-range Transboundary Air Pollution*, United Nations/Economic Commission for Europe, 1997.

[156] Coke oven manager association, List of UK and European Coal and Coke Works, 2008.

[157] Thompson, P. et al, *Process related pattern in dioxin emissions: a simplified eassessment procedure applied to coke combustion in sinter plant*, sciencedirect, 2003.

[158] Dr. Ameling, D., 'Steel - Innovative solutions for energy and ressource challenges', *8th International Arab Iron and Steel Confernece*, 2008, Doha-Qatar.

[159] VAI, 'Successful Application of the Top-layer-sintering Process for Recycling of Ferrous Residuals Contaminated with Organic Substances', *56th Ironmaking Conference*, 1997, US-Chicago on April 13-16.

[160] IEA Clean Coal Centre, Use of PCI in blast furnaces, 2006.

[161] Vos, 'Environmental Control at Hoogovens IJmuiden Coke Oven Plant', *European Symposium on Environmental Control in Steel Industry*, 1995, Praha.

[162] Voss-Spilker et al., 'Emission Prevention and Energy Saving in Electric Arc Furnaces by the Fuchs Shaft Furnace Technology', *Steel and the Environment in the 21st Century*, 1996, UK-London on April 2-3.

[163] Infomil, Range of achieved emission concentrations applying Arsenic removal in a pelletisation plant, 2009.

[164] Weiss, 'Minderung der PCDD/PCDF-Emissionen an einer Eisenerzsinteranlage (Reduction of PCDD/F Emissions from a Iron Ore Sinter Plant)', *VDI-Colloquium "Dioxins – Occurrence, Reduction, Monitoring"*, 1996, D-Fulda on October 29-30.

[165] VDI/DIN, VDI 3790 part 3 Environmental meteorology - Emission of gases, odours and dusts from diffuse sources - Storage, transshipment and transportation of bulk materials, 1999.

[166] Lundqvist, A., 'Operational data from the plants located in Malmberget and Kiruna, Sweden', Personal Communication, 2009.

[167] Werner, *Control of Organic Micropollutants from the EAF*, International Iron and Steel Institute, 1997, pp. 247-255.

[168] EC, *BREF on Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others (LVIC-S)*, 2007.

[169] LKAB, *Ökad pelletskapacitet i Karuna - Teknisk beskrivning*, 2004.

[170] N.N., 'Chimie industrielle: Proposition de facteurs d'émission por la sidérurgie wallonne; chargement du haut fourneau (SNAP 040202)', Personal Communication, 1997.

[171] N.N., *EIE relative à une demande de permis d'environnement. Redémarrage du haut fourneau No.6 de Seraing. ArcelorMittal*, SGA Belgium S.A., 2007.

[172] Fandrich et al., 'Actual review on secondary metallurgy', *La Revue de Métallurgie - CIT*, 2008, pp. 364 - 374.

[173] UBA-Germany, Data for waste water treatment in a coking plant, 2005.

[174] Euroslag, *Legal Staus of Slags - Position Paper*, The European Slag Association, 2006.

[175] Eurofer, Contribution to the second revised IS BREF draft July 2009, 2009.

[176] EPA, Miscellaneous Sources, AP 42, 2009.

[177] Eurofer, Comments on the second revised IS BREF draft from July 2009, 2009.

[178] N.N., *Untersuchung einer Abwasserprobe der BSW Kehl*, 2008.

[179] Metz et al., *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. Prpared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 2005.

[180] N.N., *CO2 Capture and Storage - A key carbon abatement option*, IEA International Energy Agency, 2008.

[181] Vangkilde-Pedersen et al., Towards Hydrogen and Electricity Production with Carbon Capture and Storage, 2007.

[182] Infomil, 'Infomil contribution on BOF emissions at Corus IJmuiden', Personal Communication, 2009.

[183] Weiss, *Massnahmen zur Verbesserung der Entstaubung einer Eisenerzsinteranlage mit nach folgenden Untersuchungen zur Minderung der PCDD/PCDF-Emissionen*, Stahlwerke Bremen, 1998.

[184] European Union, *Commission staff working document - updated sectoral overview*, 2009.

[185] EC, *Reference Document on Economics and Cross-Media Effects (ECM)*, 2006.

- [186] Sowa et al., 'Advanced Technologies for Desulphurisation of Coke Oven Gas', *COG Desulphurisation ICC 2009 Ranchi*, 2009, Ranchi, India.
- [187] TÜV SÜD, *Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen zur Ermittlung der Konzentrationen an polychlorierten Dibenzo-Dioxinen und Furanen (PCDD/F) im gereinigten Abgas der Sinterbänder 2, 3 und 4 einer Sinteranlage der ThyssenKrupp Steel AG*, 2007.
- [188] European Commission, *BREF on Ferrous Metals Processing Industry*, 2001.
- [189] N.N., 'Data from the Emission register', Personal Communication, 2008.
- [190] Eurofer, 'Sinter plant ArcelorMittal Bremen, Dust Emission 1999 to 2009', Personal Communication, 2010.
- [191] Infomil, 'Infomil Contribution on EAF emissions in the Netherlands', Personal Communication, 2010.
- [192] Schlüter, 'Hydro-Hybrid Filter for BOF gas cleaning', Personal Communication, 2009.
- [193] Voestalpine Linz, *Emissionsmessungen Sinterband 5 - Reingas Quecksilber* -, 2010.
- [194] Leroy et al, New abatement techniques of the atmospheric emissions of large sinter plant, 2007.
- [195] Werner, 'Data about the utilisation of EAF slags in 2008', Personal Communication, 2010.
- [196] Josis, 'New data for the biological waste water treatment plant at Sidmar and Seremange', Personal Communication, 2010.
- [197] Jost, 'New data for the biological waste water treatment plant at Dillingen', Personal Communication, 2010.
- [198] Mensink, C. et al, 'Source Analysis and Emission Abatement Measures for PM10 Hot spot Regions in Flanders', *11th conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, 2007, Cambridge.
- [199] Mark et al., 'Port Talbot PM 10: A Study into industrial source identification, reduction and improvement', *IUAPPA- 17th EFCA conference*, 2006, Lille, France.
- [200] Commission, *BREF on the Production of Iron and Steel*, European Commission, Sevilla, 2001.
- [201] Colin et al., *Amélioration de la stabilité de fonctionnement et des performances des stations d'épuration biologique d'effluents de cokerie*, Cinquieme Programme de Recherches, CECA, 2003, p. 8.
- [202] USEPA, *Development Document for Final Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Iron and Steel Manufacturing Point Source Category*, USA Environmental Protection Agency, 2002, p. 12.
- [203] Liszlo et al., 'Design and first operational experience of the Pressure Regulated Oven System (Proven) at the coke plant 'Schwelgern'', *2nd International Meeting on Ironmaking - 1st International Symposium on Iron ore*, 2004, Vitória, Espírito Santo, Brazil.
- [204] Neuwirth et al., 'State-of-the-art plant technology for cokemaking', *MPT International*, Vol. 5, No 2003, 2003, pp. 38-48.
- [205] Cleary et al., 'Coke production and demand today and tomorrow - face up to the reality?', *Stahl und eisen*, Vol. 125 (2005) Nr.1, 2005, pp. 17-27.

[206] Diemer et al., 'Potentials for utilisation of coke oven gas in integrated iron and steel works', *Stahl und eisen*, Vol. 124 (2004) Nr. 7, 2004, pp. 21-30.

[207] Ameling et al., 'The coke scenario of the German and EU15 steel industry', *Stahl und eisen*, Vol. 124 Nr.9, 2004, pp. 25-34.

[208] Lindfors et al., *BAT examples from the Nordic iron and steel industry*, Nordic Council of Ministers. Norden, 2006, p. 156.

[209] EC, *Preparatory work for new dioxin measurement requirements for the European metal industry. Final report*, EC, 2005, p. 151.

[210] Brouhon, 'Comments of EUROFER to the Stockholm Convention on POPs', Personal Communication, 2006.

[211] Remus, Rainer, *Mission report Voestalpine Linz and Donawitz*, 2008.

[212] EC CLM BREF, *Reference Document on Best Available Techniques in the Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries (CLM BREF)*, 2009.

[213] Bittner et al., 'Chemistry of intermediate species in the rich combustion of benzene', 1983, pp. 95-125.

[214] Richter et al., 'Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and their radicals in a nearly sooting premixed benzene flame', *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 28, 2000, pp. 2609-2617.

[215] BSS, *Air Quality. Several case studies*, 2007, pp. 26-32.

[216] sniffers et al., *Technical description of fugitive emission monitoring & management*, The Sniffers nv/sa, 2006, p. 18.

[217] Siemens-vai, *Sinter solutions*, Siemens-vai, 2006, p. 14.

[218] Dong et al., 'A multistage approach to the cohort analysis of lifetime lung cancer risk among steelworkers exposed to coke oven emissions', *American Journal of Epidemiology*, Vol. Vol. 128, No. 4, 1988, pp. 860-873.

[219] Van den Berg et al., 'Toxic equivalency factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for Humans and Wildlife', *Environmental Health Perspectives*, Vol. 106, No 12, 1998, p. 21.

[220] Eurofer, 'Comments from Eurofer on the Iron and Steel BREF first draft', Personal Communication, 2008.

[221] Thomas et al., *Blast furnace tuyere injection of iron ans steelmaking by-products*, 2002, p. 116.

[222] Janhsen et al., *Coke quality for blast furnace operation with high levels of coal/oil injection*, 2002, p. 205.

[223] USEPA, *Emission Factor Documentation for AP-42. Section 12.2. Coke production. Draft July 2001*, U.S. Environmental Protection Agency, 2001, p. 313.

[224] Xhrouet, *Contribution a l'étude d'une technique de réduction de la formation des dioxines dans le procédé d'agglomération des minerais de fer*, Université de Liège. Faculté des Sciences Appliquées, 2002.

[225] Brouhon, *Emissions from French coke ovens. Focus on PAH and Dioxins*, 2006.

- [226] EEA, *Emission Inventory Guidebook. CORINAIR. Solid Fuel Transformation Plants. Emission Factors of sub-processes of coke production*, US Environmental Protection Agency, 1999, p. 1.
- [227] WB, *Coke Manufacturing. Pollution Prevention and Abatement Handbook*, The World Bank Group and UNEP, 1998, pp. 286-290.
- [228] UNEP, *Standardized toolkit for identification and quantification of Dioxin and Furan releases*, United Nations Environmental Programme, 2001, pp. 51-52.
- [229] Green, 'Emission report for an Australian Iron and Steel installation', Personal Communication, 2004.
- [230] Brouhon et al., *Control of the PCDD/Fs generation at the Sinter plant*, CRM, Collective Research Programme 1999-2000, 2001, p. 23.
- [231] Xhrouet et al., 'Amines compounds as inhibitors of PCDD/Fs de Novo Formation on Sintering Process fly ash', *Environmental Science Technology*, Vol. 36, 2002, pp. 2760- 2765.
- [232] Brouhon et al., *Traitement Chimique de Destruction spécifique des cyanures*, CEBEDEAU-CRM, 1990, p. 50.
- [233] Poos et al., *Etude des émissions de cyanures au haut-fourneau en marche journalière et en descente des charges*, CCE, 1993, p. 50.
- [234] Poland, *Emission data from Polish iron and steel plants*, 2007, p. 18.
- [235] Ailor, *Principal environmental issues facing the U.S. coke industry in 1999 and beyond*, 1999, p. 40.
- [236] Germany, *TA Luft 2002*, 2002, p. 6.
- [237] USEPA, *Risk Assessment Document for Coke Oven MACT Residual Risk*, USEPA, 2003, p. 269.
- [238] Janke et al., *Verwertung von ölkontaminierten Walzzunderschlamm und Shreddermüll über Hochöfen*, DBU, 1997, p. 119.
- [239] Setterstig, *Dioxin removal by the ADIOX technology*, Götaverken Miljö AB, 2006, p. 22.
- [240] UKEA, *IPPC. Guidance for the Production of Coke, Iron and Steel*, UK environmental agency, 2004, p. 185.
- [241] Poland, *Technical information on Polish iron and steel plants*, 2007, p. 8.
- [242] Caughlin, *UK comments to the I&S BREF*, UK Environmental Agency, 2007, p. 8.
- [243] Eurofer, *Revision of solid residues/by-products of the I&S BREF*, 2007, p. 3.
- [244] Plickert, *Performance values of iron and steel plants in Germany*, UBA, 2007, p. 6.
- [245] Kuhn et al., *Chrome immobilisation in EAF slags from high-alloy steelmaking: development of a slag treatment process*, 2004, p. 97.
- [246] EC, *Iron and Steel - a materials system analysis*, European Environment Agency, 2005, p. 90.
- [247] Netherlands, *Comments from the Netherlands to some information provided by Eurofer*, 2007, p. 2.
- [248] Eurofer, *Response from Eurofer to the comments from the Netherlands*, Eurofer, 2007.

- [249] Netherlands, *Contribution from the Netherlands to the revision of the I&S BREF*, 2007, p. 8.
- [250] EC, European Steel Technology Platform, ESTEP, 2006.
- [251] Eurofer, *Comments from Eurofer to the contribution from the Netherlands*, 2007, p. 3.
- [252] France, *Contribution from France to the revision of the I&S BREF*, 2007, p. 5.
- [253] ICSTI' 06, 'The 4th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking', *The 4th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking*, 2006, Osaka, Japan.
- [254] Eurofer, *Comments from Eurofer to the contribution from France*, 2007, p. 2.
- [255] Kasai et al., 'Effect of additives on the dioxins emissions in the iron ore sintering process', *ISIJ international*, Vol. Vol 41, No 1, 2001, pp. 93-97.
- [256] Kasai et al., 'Behavior of dioxins in the sintering process of iron ores', *Tetsu-to-Hagané*, Vol. Vol. 87, No. 5, 2001, pp. 24-33.
- [257] Kawaguchi et al., 'Behaviour of trace chlorine in sintering bet and its effect on dioxins concentration in exhaust gas of iron ore sintering', *Tetsu-to-Hagané*, Vol. Vol. 88, No.2, 2002, pp. 9-15.
- [258] Kuzuhara et al., 'Formation of PCDD/Fs during oxidation of carbonaceous materials at low temperatures', *Tetsu-to-Hagané*, Vol. Vol. 89, No. 8, 2003, pp. 1-8.
- [259] Kasama et al., 'Investigation on the dioxin emission from a commercial sintering plant', *ISIJ International*, Vol. Vol. 46, No. 7, 2006, pp. 1014-1019.
- [260] Germany, *Contribution from Germany to the revision of the I&S BREF*, 2007, p. 10.
- [261] Kasama et al., 'Analysis of exhaust gas visibility in iron ore sintering plant', *ISIJ international*, Vol. Vol. 46, No. 7, 2006, pp. 1027-1032.
- [262] Pütz et al., *Untersuchungsergebnisse über Möglichkeiten zur primärseitigen Dioxinminderung bei der Eisenerzsinterung*, VDI Berichte, 1996, pp. 249-268.
- [263] Kasai et al., 'Macroscopic behaviours of dioxins in the iron ore sintering plants', *ISIJ international*, Vol. Vol. 41, No. 1, 2001, pp. 86-92.
- [264] Germany, *Dust emission from CSQ wet quenching tower*, 2007, p. 1.
- [265] Tan et al., 'Study on polychlorinated dibenzo-p-dioxin/furan formation in iron ore sintering process', *Metallurgical and materials transactions B*, Vol. Vol 35B, 2004, pp. 983-991.
- [266] Kawaguchi et al., 'Promoter material and inhibitor material for dioxins formation in sintering process', *Tetsu-to-Hagané*, Vol. Vol. 88, No. 7, 2002, pp. 12-19.
- [267] Kawaguchi et al., *Effect of properties of solid fuel on dioxin concentration of the exhaust gas in the iron ore sintering process*, *Tetsu-to-Hagané*, 2002, pp. 20-27.
- [268] SHI, *Gas cleaning system using activated char*, 2006, p. 15.
- [269] Germany, *Coke transport by pipe conveyors*, 2007, p. 1.
- [270] Reynard, *Slags from iron and steel production*, End-of-Waste Project. Aggregates case study, 2007, p. 20.
- [271] Luo, *The end of waste criteria. A case study on scrap metal*, End of Waste criteria. 23/3/07, 2007, p. 24.

- [272] Germany, *Nitrification-denitrification concept in the biological treatment plant for coke oven waste water*, 2007, p. 5.
- [273] Eurofer, *Comments from Eurofer to the information provided by Germany*, 2007, p. 5.
- [274] Eurofer et al., *Zinc coated steel*, Association of Eurofer, IZA-Europe and EGGA association, 1999, p. 24.
- [275] Kobelco, *Environmental sustainability report 2005*, 2005.
- [276] Italy, *Contribution from Italy to the revision of the I&S BREF*, 2007, p. 14.
- [277] Wiesenberger, *Review of the BREF Iron and Steel Production - Austrian Comments*, UBA, 2007, p. 35.
- [278] J-P.Birat et al., *Quality of heavy market scrap: development of new and simple methods for quality assessment and quality improvement*, 2002, p. 139.
- [279] IISI, *The Steel Industry. Industry sector report for the United Nations World Summit on Sustainable Development*, IISI, 2002, p. 55.
- [280] Aguado-Monsonet, 'Visits to Iron and Steel plants', Personal Communication, 2007.
- [281] Eurofer, *Contribution to the Energy Management section*, 2007, p. 11.
- [282] EC, *BREF on Large Combustion Plants (LCP)*, 2006.
- [283] EC, *BREF on Emissions from Storage (EFS)*, 2006.
- [284] EC, *BREF on Non-Ferrous Metal processes*, 2001.
- [285] EC, *BREF on Waste Incineration (WI)*, 2006.
- [286] Stahl, *Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2009-2010*, Stahleisen-Verlag, 2008.
- [287] MVAE, 'International conference on Clean Technologies in the Steel industry', *International conference on Clean Technologies in the Steel industry*, Tardy, 2005, Balatonfured (Hungary).
- [288] IA, *Projecto "Emissões para a atmosfera no sector da transformação de metais com processos metalúrgicos, e sua aplicação ao contexto nacional" (Air emissions from metal industry in Portugal)*, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2006, p. 177.
- [289] EC, *Community implementation plan for the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*, EC, 2007, p. 92.
- [290] Nippon Steel Engineering Co., 'Comments on Coke Dry Quenching', Personal Communication, 2008.
- [291] EC, *Panorama of the European Union*, Eurostat, 2006, p. 162.
- [292] DGENTR, *Possible developments in the structure of the EU and World steel industries*, Commission, 2007, p. 11.
- [293] DGENTR, *Overview of the EU Steel sector*, DGENTR, 2007, p. 16.
- [294] Fleischanderl, *MEROS - An improved dry-type gas-cleaning process for the treatment of sinter offgas*, *The Revue de Métallurgie - CIT*, 2006, pp. 481-486.
- [295] Hartig et al., *Cleaning of sinter waste gases. State of the art*, *La Revue de la Métallurgie - CIT*, 2006, pp. 258-265.

- [296] Leroy et al., 'Treatment of sinter plant flue gas', *DustConf 2007*, 2007.
- [297] Hekkema et al., *H2S-noodwasinstallatie*, Corus and Tebodin, 2004, p. 20.
- [298] Fleischanderl, *Scrubbed clean*. Meros, Metals & mining, 2006, pp. 38-39.
- [299] Eurofer, *Contemporary data across all European plants*, Eurofer, 2007, p. 4.
- [300] Eurofer, *General review of Sintering section of BREF*, Eurofer, 2007, p. 22.
- [301] Eurofer, *Update technique continuous and undisturbed sinter plant operation to minimise emissions*, Eurofer, 2007, p. 2.
- [302] Eurofer, *Update technique Use of residues in the sinter plant*, Eurofer, 2007, p. 2.
- [303] Eurofer, *Update technique lowering the content of volatile hydrocarbons in the sinter feed*, Eurofer, 2007, p. 3.
- [304] Eurofer, *Update technique lowering the sulphur content of the sinter feed*, Eurofer, 2007, p. 2.
- [305] Eurofer, *Update technique Heat recovery from sintering and sinter cooling*, Eurofer, 2007, p. 4.
- [306] Eurofer, *Update technique suppression of dioxin formation by addition of urea*, Eurofer, 2007, p. 3.
- [307] Eurofer, *Update technique partial waste gas recycling*, Eurofer, 2007, p. 10.
- [308] Eurofer, *Update electrostatic precipitator*, Eurofer, 2007, p. 5.
- [309] Eurofer, *Update technique on fabric filters*, Eurofer, 2007, p. 6.
- [310] Eurofer, *Update information on cyclones*, Eurofer, 2007, p. 2.
- [311] Eurofer, *Update fine wet scrubber*, Eurofer, 2007, p. 5.
- [312] Dr. Michael Degner et al., *Steel Manual*, Steel Institute VDEh, Düsseldorf, 2008.
- [313] Eurofer, *Update wet desulphurisation*, Eurofer, 2007, p. 4.
- [314] Eurofer, *Update technique regenerative activated carbon*, Eurofer, 2007.
- [315] Van den Berg., et al, Project for the re-evaluation of human and mammalian toxic equivalency factors for dioxins and dioxin-like compounds, 2006.
- [316] Eurofer, 'Water and Waste Water Management in Integrated Steelworks', Personal Communication, 2009.
- [317] Endemann, G. et al, 'Dust, scale and sludge generation and utilisation in German steel-works', *Stahl und Eisen*, Vol. 126 Nr. 9, 2006.
- [318] Eurofer, *Review of the pelletisation chapter*, Eurofer, 2007, p. 21.
- [319] Eurofer, *Cold briquetting in pelletisation plants*, Eurofer, 2007, p. 2.
- [320] Eurofer, *Review of coke oven plants chapter*, 2007, p. 62.
- [321] Eurofer, *Review of coke handling and screening*, 2007, p. 1.
- [322] Eurofer, *Review of collection and treatment of COG with recovery of by-products*, 2007.
- [323] Eurofer, *Review of Mass stream overview of coke ovens*, 2007.

- [324] Eurofer, *Review of input/output data from coke oven plants in EU*, 2007, p. 1.
- [325] Eurofer, *Review of quantities of emissions to water from coke ovens*, 2007, p. 1.
- [326] Buchwalder, J. et al, 'Verminderung der Staubemissionen an der Sinteranlage von Arcelor-Mittal Eisenhüttenstadt', *Stahl und Eisen*, Vol. 126 Nr. 9, 2008.
- [327] Eurofer, *Review of waste water from wet oxidation desulphurisation process from coke ovens*, 2007, p. 1.
- [328] Eurofer, *Review of energy demand in coke ovens*, 2007, p. 1.
- [329] Eurofer, *New information on Pressure regulation in coke ovens*, 2007, p. 2.
- [330] Eurofer, *Review of maintenance of coke ovens*, 2007, p. 1.
- [331] Eurofer, *Review of improvement of oven door and frame seals*, 2007, p. 1.
- [332] Eurofer, *Review of cleaning of oven doors and frame seals*, 2007, p. 1.
- [333] Eurofer, *Review of emission reduction at coke oven firing*, 2007, p. 2.
- [334] Eurofer, *Review of quenching techniques for coke*, 2007, p. 3.
- [335] Eurofer, *Review of section on larger coke oven chambers*, 2007, p. 2.
- [336] Eurofer, *Review of non-recovery coking*, 2007, p. 3.
- [337] Eurofer, *Review of minimising oven charging emissions*, 2007, p. 2.
- [338] Eurofer, *Review section on minimising leakage between coke oven chamber and heating chamber*, 2007, p. 1.
- [339] Eurofer, *Review DeNOx of waste gas from coke oven firing*, 2007, p. 1.
- [340] Eurofer, *Review of removing tar from the coal water in coke ovens*, 2007, p. 1.
- [341] Eurofer, *Review of waste water treatment plant*, 2007, p. 4.
- [342] GWAA Bremen, *Messberichte: Emissionsmessungen im Abgas vor und nach Eisenerzsinteranlage*, 2005.
- [343] Eurofer, *Review of emerging techniques in the coke ovens*, 2007, p. 4.
- [344] Eurofer, *Review blast furnace chapter*, 2007, p. 20.
- [345] n.n., 'Euroslag Proceedings of the 3rd European Slag Conference', *Euroslag Proceedings of the 3rd European Slag Conference*, 2002, Nottingham.
- [346] Eurofer, *Review input/output tables of blast furnace chapter*, 2007.
- [347] Eurofer, *Review blast furnace slag processing*, 2007, p. 5.
- [348] Eurofer, *Review of technique direct injection of reducing agents in blast furnaces*, 2007, p. 5.
- [349] Eurofer, *New technique on direct injection in blast furnaces of used oils, fats and emulsions as reducing agents and of solid iron residues*, 2007, p. 3.
- [350] Eurofer, *Review of top gas pressure energy recovery in blast furnaces*, 2007, p. 2.
- [351] Eurofer, *Review technique on use of tar-free runner linings in blast furnaces*, 2007, p. 2.
- [352] Eurofer, *Review technique on blast furnace gas treatment*, 2007, p. 3.

- [353] Eurofer, *Review of technique on de-dusting of tapholes and runners and fume suppression during casting in blast furnaces*, 2007, p. 3.
- [354] Eurofer, *Review technique condensation of fume slag processing in blast furnaces*, 2007, p. 2.
- [355] Plickert, *Retrofitting the Waste Gas exhaustion system (2005-2007). First measurement results on dust and PCDD/PCDF emission*, 2007, p. 12.
- [356] Eurofer, *Review of the emerging technique section of the blast furnace chapter*, 2007, p. 3.
- [357] Germany, *Data for the review of table on pollutants load of waste water from blast furnace slag granulation*, 2007, p. 1.
- [358] Germany, *Review of the table on pollutant load of waste water discharged from blast furnace gas scrubbing water*, 2007, p. 1.
- [359] Netherlands, *Permit rule for an oxygen steel plant for roof emissions*, 2007, p. 1.
- [360] Sick-Maihak, 'FW300 Laser transmissiometer. Precise and instant measurement in harsh conditions', 2006, p. 2.
- [361] Sigmund, 'Fine dust - a challenge for Voestalpine', 2007, p. 13.
- [362] Germany, *Wastewater from continuous casting*, 2007, p. 1.
- [363] Eurofer, *Review of the Chapter on Basic oxygen steel making and casting (1)*, 2007, p. 73.
- [364] Fuchs, G., 'New Energy Saving Electric Arc Furnace Design', 2008.
- [365] Eurofer, *Eurofer comments on tables and figures of Chapter 8. BOF and continuous casting*, 2007, p. 12.
- [366] Dornseiffer et al., *Air and Noise Protection in Steelmaking Electric Arc Furnace in Luxembourg*, Ministère de l'environnement in Luxembourg, 2007, p. 10.
- [367] Prüm et al., 'Reducing dioxin emissions in electric steel mills', *MPT international*, Vol. 1, No 2005, 2005, pp. 36-42.
- [368] Prüm et al., 'Verringerung der dioxinmission bei elektrostahlwerken (Reducing dioxin emissions in electric steel mills)', *stahl und eisen*, Vol. 124 (2004) Nr. 10, 2004, pp. 61-67.
- [369] Eurofer, *Material flow stainless steel meltshop*, 2007, p. 1.
- [370] Öberg, 'Emissions of persistant organic pollutants from Swedish steel mills', 2007, p. 6.
- [371] Eurofer, *Update input/output data for electric arc furnaces*, Eurofer, 2007, p. 1.
- [372] Czech TWG member, Czech Republik comments on the first draft of the reviewed IS BREF, 2008.
- [373] Eurofer, *Review of the EAF chapter of the current BREF*, Eurofer, 2007, p. 42.
- [374] Eisen, H.-P. et al, 'Construction of the exhaust recycling facilities at a sintering plant', *Stahl und Eisen*, Vol. 124 Nr. 5, 2004.
- [375] IISI, *Energy Use in the Steel industry*, 1998, p. 120.
- [376] Eurofer, *Review of dust composition from EAF*, 2007, p. 1.
- [377] Heidenreich et al., 'Catalytic filter elements for combinted particle separation and nitrogen oxides removal from gas streams', 2007, p. 9.

- [378] Eurofer, *ULCOS project. CO2 and air emissions*, Eurofer, 2007, p. 5.
- [379] Corus IJmuiden, *Biological Treatment Plant - Corus IJmuiden*, 2010.
- [380] Voestalpine Linz, *Emission measurement pure gas sinter belt 5 - hydrogen cyanide content*, Voestalpine Linz, 2008.
- [381] Pall, 'Pall gas solid separation systems', 2006, p. 16.
- [382] Linz, 'Emission data for the sinter plant provided for the Voestalpine steelworks in Linz for the year 2008 and 2009', Personal Communication, 2008.
- [383] EIPPCB, *Alternative techniques for Iron and steel production*, 2006, p. 6.
- [384] Max-Planck-Institut et al., *The formation and prevention of scale during twin roller strip casting*, 2002, p. 131.
- [385] Malmberg et al., *Online slag analysis utilising contact-free microwave technology*, 2005, p. 71.
- [386] Cores et al., *Efficient utilisation of raw materials used in secondary steelmaking as flux in steelmaking furnaces*, 2005, p. 89.
- [387] Fisher et al., *Influence of sinter mix materials on the environmental impact of high productivity iron ore sintering*, 2005, p. 101.
- [388] Fisher et al., *Effects of operational factors on the formation of toxic organic micropollutants in EAF steelmaking*, 2005, p. 154.
- [389] Briggs et al., *Reductions in dust and gaseous emissions from sinter strands*, 2004, p. 166.
- [390] Atkinson et al., *Injectant coal gasification, char formation and char utilisation at high injection rates*, 2004, p. 193.
- [391] Tavernier et al., *Foaming of the slag and recycling of stainless steel dusts by injection into the electric arc furnace for stainless steels*, 2004, p. 92.
- [392] Schmidt et al., *Optimised blast furnace slag water quenching with sulphur compounds control*, 2003, p. 149.
- [393] Turpin et al., 'Effects of flattening the stockpile crest and of the presence of buildings on dust emissions from industrial open storage systems', *XVIIth International Conference of Modelling, Monitoring and Management of Air Pollution*, 2009.
- [394] Colletta et al., *High-purity zinc and ferroalloy recovery from EAF dusts through a combined pyro-metallurgical treatment*, 2002, p. 76.
- [395] Badr et al., 'Effect of aggregate storage piles configuration on dust emissions', *Atmospheric Environment*, Vol. Vol. 41, 2007, pp. p. 360 - 368.
- [396] Reg. 1221/, REGULATION (EC) No 1221/2009 of the European Parliament and the Council of 25 November 2009 on the voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS), repealing Regulation (EC) No 761/2001 and Commission Decisions 2001/681/EC and 2006/193/EC., 2009.
- [397] DG Environment, What is EMAS? http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm, 2010.
- [398] ISO, ISO 14001: 2004 http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials.htm, 2004.

