**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО**

**СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АЛМАЛЫКСКИЙ ФИЛИАЛ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**КАФЕДРА «МЕТАЛЛУРГИЯ»**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ЗАРЕГИСТРИРОВАН** № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г |  | **«УТВЕРЖДАЮ»**  Заместителя директора по учебной работе О.Х Абдиев.  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2021 г |



**учебно – методический комплекс**

**«прямое получение железа из руд»**

Для студентов дневного и вечернего отделения, обучающихся по направлению

бакалавриата 5310300 Металлургия

Алмалык 2021

Учебно – методический комплекс оставлена на основе типовой программы зарегистрированной приказом № \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ от «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_ 2021г. Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Составители:** |  | **ст пр Суннатов Ж.Б** |
|  |  | **ТГТУ Алмалыкский филиала** |

Рабочая учебная программа рассмотрена на заседании кафедры «Металлургия» (2021 год «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_) Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета и предложена на совет факультета .

**Зведующий кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Суннатов Ж.Б**

**Секретарша: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Усмонова Х.С**

Учебно – методический комплекс рассмотрена на совете факультета «Горное дело и металлургия» (2021 год «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_ протокол №) Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета и предложена к рассмотрению на методический совет филиала.

**Председатель совета факультета \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Исоматов Ю.П**

**Секретарша: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Аскарова Н.М**

Учебно – методический комплекс рассмотрена и утверждена (2021 год «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_\_) на методическом совете Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета.

**Председтель методического совета \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ доц Холикулов Д.Б**

**Секретарша: \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Абдуғаниева Ю**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Конспект лекций……………………………………………………... | **4** |
|  | Методическое пособие……………………………………………… | **78** |
|  | Самостоятельное работы……………………………………………. | **97** |
|  | Глоссарий…………………………………………………………….. | **99** |
|  | Типовая программа………………………………………………….. | **122** |
|  | Рабочая программа…………………………………………………... | **124** |
|  | Раздаточные материалы…………………………………………….. | **127** |
|  | Тест…………………………………………………………………… | **130** |
|  | Использованная литература………………………………………… | **141** |

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО**

**СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АЛМАЛЫКСКИЙ ФИЛИАЛ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**КАФЕДРА «МЕТАЛЛУРГИЯ»**



**курс лекции**

**«прямое получение железа из руд»**

Для студентов дневного и вечернего отделения, обучающихся по направлению

бакалавриата 5310300 Металлургия

Алмалык 2021

**ЛЕКЦИЯ 1.**

**ВВЕДЕНИЕ. ПЕРСПЕКТИВЫ И ПУТИ ВНЕДОМЕННОГО**

*Ключевые слова:* металлургия, железо, чугун, сталь, сырое дутье, кричный процесс, конвертерный процесс, мартеновский процесс.

На протяжении столетий производство черных металлов осуществляется по двухступенчатой схеме:

А) восстановление оксидов железа до металла с полным отделением пустой породы и частичным переводом в металл некоторых элементов (C,Mn,Si,P,S и другие);

Б) рафинирование металла до получения стали данного состава.

Двухстадийный процесс имеет несомненные преимущества по сравнению с непосредственным производством стали из руды.

1. Таким путём можно получать металл заданной марки из любого железорудного материала независимо от содержания в нем пустой породы и вредных примесей.
2. Агрегаты, используемые в двухстадийной схеме (в первую очередь, доменные печи и кислородные конверторы) имеют весьма высокую суточную производительность.
3. Присутствие некоторых элементов в чугуне благоприятно для сталеплавильного передела: при выгорании C интенфицируется «кипение» ванны, что существенно улучшает качество стали, в результате окисления C и Si получается значительная часть необходимого для процесса тепла, что снижает температуру плавления металла и так далее. Всё это приводит к уменьшению материальных и энергозатрат на производстве чёрных металлов, что снижает их стоимость.

Параллельно с совершенствованием двухстадийного процесса или поиски эффективных способов непосредственного получения металла из руды (внедоменного метода производства). Эта технология быстро развивается, а для некоторых стран является наиболее перспективной. Следует отметить, что современная технология внедоменного получения железа не является прямым получением стали из руды в одном агрегате или непрерывной цепи агрегатов, а есть лишь вариант традиционного двухступенчатого процесса получения металла.

Процесс восстановления внедоменной печи проводится с разными целями: часто его называют предварительным восстановлением, а материалы, восстановленные таким образом, частично восстановленными или предварительно восстановленными. Это не точная терминология. Для дальнейшего использования этих материалов (в доменных, плавильных и других) главное значение имеет сколько металла образовалось при предварительном восстановлении оксидов. Величина степени восстановления не определяет количества металлургического железа. Поэтому такие материалы называются металлизованными или частично металлизованными, а их качество оценивают специальной величиной – степенью металлизации, которая представляет отношение содержания металлического железа в материале к общему (то есть сумме окисленного и металлического железа) содержанию железа в нем, % :

η мет =(Fe мет/Feобщ)\*100

Внедоменное восстановление применяется в промышленности по четырём направлениям:

1)получение частично металлизованных железорудных материалов для использования их в доменной плавке;

2)получение металлизованных материалов для их переплавки в сталь в сталеплавильных и электросталеплавильных агрегатах;

3)металлизация железа для переработки комплексных полиметаллических руд;

4)восстановление оксидов Fe для получения железного порошка

1.1. Получение частично металлизованных железорудных материалов для их использования в доменной плавке.

Проплавка металлизованных железорудных материалов (в основном окатышей, реже агломерата и руды) в доменной печи рассчитана на снижение расхода углерода – восстановителя за счет уменьшения количества углерода, идущего на прямое восстановление, вытекающего отсюда уменьшения расхода тепла на этот процесс. Известно, что, кроме удовлетворения потребностей плавки в тепле (в том случае кокс – источник углерода – теплоносителя), кокс участвует в формировании чугуна, то есть восстанавливает трудновосстановимые оксиды Si, Mn, а также Fe (в том случае углерод – восстановитель). Однако железо может быть восстановлено и газом, а прямое восстановление Fe имеет лишь потому, что к зоне высоких температур Fe не полностью восстановлено до металла, а частично остаётся в виде оксидов (FeO). Для условий современной плавки (сравнительно невысокий расход кокса и, следовательно, относительно небольшое количество газа – восстановителя – продукта сгорания углерода кокса) такое положение закономерно и подтверждением этого является близость к равновесному составу газа по отношению к FeO в зоне температур 800-10000С.

Использование природного газа (а также и других добавок), в результате чего резко увеличивается количество газа-восстановителя в основном за счет водорода, заметно снизило степень восстановления Fe. Однако и в современных доменных печах, работающих с высокой долей природного газа в дутье, 20-35% и выше Fe восстанавливается прямым путём, то есть с использованием твердого углерода.

Крупным единственным резервом дальнейшего снижения степени прямого восстановления Fe является подача в печь предварительно металлизованных материалов.

Металлизация сырья улучшает «холодную» (то есть при хранении и транспортировке) и особенно «горячую» (то есть восстановительно-тепловую обработку) прочность шихты. Основное разрушение железорудных материалов при восстановлении соответствует фазовому переходу гематит-магнетит. Разрушение происходит при восстановлении FeO до металла. Образование металла Fe существенно снижает разрушаемость железорудной шихты, резко снижает образование в печи мелочи и этим способствует заметному росту производительности печи.

При проплавке металлизованных материалов улучшается теплообмен между газом и шихтой, и, следовательно, прогрев шихты. При восстановлении железорудных материалов газом плотность их тем выше, чем выше степень металлизации.

На рост производительности доменной печи влияет резкое снижение количества мелочи в шихте и увеличение рудной нагрузки за счет экономии кокса.

При использовании в доменной печи металлизованных материалов в шихте резко снижается количество высших оксидов Fe, которые легко восстанавливаются печным газом. При степени металлизации шихты 30-40% трехвалентное Fe в шихте практически отсутствует, и весь кислород находится в трудновосстановительном оксиде Fe.

При проплавке металлизованного сырья «удельное» количество газа восстановителя возрастает почти в два раза, поэтому нецелесообразно использовать природный газ, мазут и другие водородосодержащие добавки. Использование же углеродосодержащих веществ (порошкообразных углей) приемлемо.

Непрямое восстановление при плавке металлизованного сырья связано с восстановлением газа, содержащего CO , оксид железа FeO в области низких и умеренных температур, причем для максимальной экономии кокса необходимо, чтобы к достижению температуры 900-10000С восстанавливалось не меньшее количество FeO , чем при обычных условиях плавки. Этому способствуют улучшенные газодинамические условия в шахте печи из-за боле высокой горячей прочности шихты и большой «удельный» выход газа-восстановителя, а препятствует более высокая плотность металлизованной шихты.

Металлизованную шихту для доменной плавки можно получить различными методами: восстановлением газом в шахтной печи, восстановлением на конвейерной обжиговой машине, комбинированным восстановлением твердым и газовым восстановителями в трубчатой печи. При этом следует обратить внимание на следующие обстоятельства:

1. металлизовать можно любой железорудный материал-руду, агломерат, окатышей, а также совмещать процессы окускования с металлизацией;
2. для металлизации можно использовать как твёрдый, так и газообразный восстановитель, а также их комбинацию;
3. в качестве восстановителя экономически целесообразно использовать недефицитные и недорогие виды топлива;
4. эффективность металлизации растёт с уменьшением количества пустой породы в железорудном материале.

На рис. 1 приведена диаграмма, где в общем виде изображены связи основных характеристик процессов получения и проплавки металлизованных материалов – производительности и расхода топлива со степенью металлизации шихты. График показывает, что оптимальная степень металлизации составляет 30-40%.

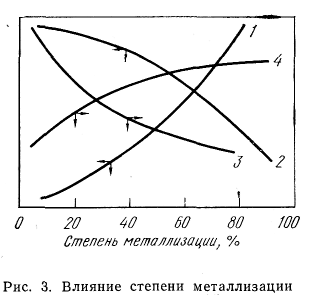


Рис.1. Влияние степени металлизации шихты на расход топлива (1) и производительность (2) в агрегатах для получения металлизованных материалов и при их проплавке в доменных печах (3 и 4).

**ЛЕКЦИЯ 2.**

**ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАЛЛИЗОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**ДЛЯ ИХ ПРОПЛАВКИ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ**

*Ключевые слова:* классификация стали, марки стали, назначение стали, химический состав, качество стали, вредные примеси, сталеплавиль­ные агрегаты, легирование, легирующие элементы, спокойная, полуспокой­ная, кипящая сталь.

Это направление в последнее время широко реализовано в промышленных масштабах и чаще всего определяется как «прямое получение железа». Его популярность вызвана влиянием на металлургию четырёх факторов.

1. Резкое сокращение мировых запасов коксующихся углей.

Отдельные регионы практически полностью лишены месторождений коксующихся углей, и даже страны, имевшие достаточные запасы этого топлива, выражают тревогу по поводу уменьшения этих запасов. В доменной плавке полностью заменить кокс другим видом топлива невозможно, поэтому внедоменное получение металла очень актуально. По новой схеме получение металла можно полностью обойтись без кокса.

2.Значительное повышение требований к качеству сталей.

Промышленный опыт показывает, что сталь, выплавленная с использованием металлизованных материалов (чаще всего вместо скрапа), обладает лучшими свойствами. Исчерпывающих объяснений этому феномену до сих пор нет. Основную причину видят в том, что металлизованные материалы, в отличие от лома, практически не содержат нежелательных примесей, особенно примесей цветных металлов. Следует также добавить, что металлизованные материалы не содержат практически в металле газа и не металлических включений.

3.Становление металлургии в развивающихся странах вызвало необходимость создания рентабельных маломощных заводов, которые имели бы возможность достаточно гибко менять программу производства и ассортимент металла. Новая схема металлургического производства позволила решить проблему создания экономичных «мини - заводов» производительностью 0,1-1,0 млн. т.

4. Значительные экологические преимущества.

В отличие от традиционной схемы в новом варианте гарантируется полная безопасность для окружающей среды.

Для плавки в сталеплавильных печах полагают, что металлизованные материалы должны иметь степень металлизации не менее 80 %, т.е. степень восстановления достаточна высока. Эффективность металлизации в этом случае будет сильно зависеть от метода восстановления и применяемого агрегата. Широкие промышленные исследования были проведены до настоящего времени в агрегатах трех типов: а) шахтные установки непрерывного и периодического действия; б) аппараты с кипящим слоем; в) трубчатые вращающиеся печи и комбинированные установки типа конвейерной машины, трубчатая печь. Для первых методов применяют в качестве восстановителя газ или продукт газификации твёрдого топлива. Для последнего способа характерно совместное использование твёрдого и газообразного восстановителей. К настоящему времени трубчатые печи не нашли широкого распространения. Основное количество металлизованных материалов производят в печах шахтного типа. Общие закономерности процесса следующие:

1. Восстановление ведётся в твёрдофазной области. Жидкие продукты процесса отсутствуют. Следовательно, пустая порода от металла не отделяется и весь полученный материал направляют в сталеплавильный агрегат. Исходя из условий экономичности сталеплавильного процесса (минимальное количество шлака), предъявляются жесткие требования к содержанию пустой породы в исходном, железорудном сырье - её количество в металлизованном материале не должно превышать 5%, а, следовательно, в исходном окисленном материале должно быть менее 3%. Нетрудно определить, что содержание Fe в исходном железорудном концентрате, например, магнетитовом, должно составлять, не менее (100-3)0,724=70%, где 0,724-содержание Fe в магнетите равно 168:232.

Таким образом, первым условием реализуемости обсуждаемого процесса является наличие легкообогатимого железорудного материала, позволяющего получать концентрат, содержащий не менее 69-70% железа.

2.При восстановлении в твёрдофазной области удаления вредных примесей (P,S,Ar,Cu и др.) практически не происходит. Между тем для получения качественной стали в электропечах без значительного перерасхода энергии требуются низкие исходные содержания этих примесей. Поэтому вторым условием проведения процесса получения стали из металлизованных материалов является низкое (менее 0,01-0,02%) содержание вредных примесей в исходном железорудном концентрате.

3. Продуктом восстановления железорудных материалов в шахтных печах (в качестве сырья для восстановления в основном используются железорудные окатыши) является так называемое губчатое железо, названное так из-за своеобразного внешнего вида. Свежевосстановленное металлическое железо активно спекается, образуя гроздья и конгломераты, что отрицательно сказывается на ход процесса в шахтных печах. Поскольку интенсивность спекания металла растёт с повышением температуры, максимальная температура процесса не должна быть выше 750-9000С. Если температуры процесса низкие, то уменьшаются скорости восстановления и ухудшаются технико-экономические показатели.

4. В шахтных печах подвод газа-восстановителя осуществляется в слое с периферии. Чем больше поперечный размер шахтной печи, тем труднее достичь равномерного газа по сечению слоя, и, следовательно, равномерной тепловой и восстановительной обработки слоя. При определённом сечении это вообще становится невозможным. Поэтому шахтные печи имеют предел по производительности 400-600 тыс. т/год.

5. Свежевосстановленное губчатое железо обладает повышенной склонностью к окисляемости и пирофорностью, причем, чем ниже температура восстановления, тем в большей степени проявляются эти свойства. Поэтому при производстве металлизованных окатышей следует принимать специальные меры для подавления окисляемости и самовоспламенения.

Таким образом, процесс получения стали из металлизованных окатышей может осуществляться лишь при наличии определённых условий:

- наличие легкообогатимых и не имеющих вредных примесей железорудных материалов;

- недорогие источники газа-восстановителя;

- дешёвая энергия;

- целесообразность строительства мини-заводов.

Эти условия соответствуют не всем областям и регионам. Кроме того, до сих пор окончательно не изучена экономика получения стали из метализованных окатышей. Без сомнения, этот процесс экономически целесообразен при производстве качественной стали.

До настоящего времени многочисленные запасы полиметаллических руд либо не используются вовсе, либо из них извлекают какой либо один элемент. Между тем проблема безотходного производства особенно важна для руд подобного типа. Одним из наиболее рациональных путей эффективности переработки руд такого типа является металлизация оксидов железа и отделение их после металлизации от остальных составляющих. Для металлизации руд подобного типа используют твёрдый восстановитель, а фактором, способствующим определению Fe от других компонентов, является температура восстановления, которую подбирают таким образом, что до металлического состояния восстанавливаются только оксиды Fe, а остальные элементы так и остаются в оксидной форме.

**Лекция 3. Удаление воды, разложением гидратов и карбонатов**

При металлизации обожженных окисленных окатышей основное значение приобретают процессы восстановления, теплопередачи и движения твёрдой и газообразной среды. Если совместить окускование и металлизацию, число самостоятельных процессов возрастает, а взаимосвязи их усложняются. Некоторые из них существенно сказываются на показателях производства металлизованных материалов. Поэтому необходимо уделить им внимание.

Общую схему протекания процессов при производстве металлизованных материалов можно представить следующим образом (для металлизации без участия низкой фазы):

1 .Получение металлизованого 2. Получение металлизованного продукта в ходе окускования. материала из окускованого сырья.

Исходный материал Исходный материал

Сушка Восстановление

Разложение гидратов и карбонатов Твёрдофазные реакции

Твёрдофазные реакции Спекание металлического Fe

Восстановление

Спекание металлического Fe

Сырые окатыши, поступающие в агрегаты для обжига металлизации, представляют собой образцы шарообразной формы различного диаметра, довольно плотные. Обработку окатышей следует вести таким образом, чтобы, с одной стороны, не нарушалась их сплошность, а с другой не замедлялся процесс, не снижалась производительность установки.

В процессе сушки окатышей возможно два вида разрушения: **трещинообразование** на поверхности окатышей и высокотемпературное **взрывообразное** разрушение с образованием мелочи - «**шок**».

Трещинообразование возникает в начальный период сушки из-за наличия влажности и различной усадки в объёме высушиваемого окатыша. Вначале из окатышей удаляется капиллярная вода, удерживаемая физико-механическими силами. На этом этапе сушки окатыш представляет собой упруго-пластичное тело. При влажности, соответствующей граничной между капиллярной и связанной молекулярно, структурно-механические свойства окатышей изменяются. Модуль упругости, сопротивление разрушению резко увеличиваются. Окатыш на этом этапе представляет собой упруго-пластично-хрупкое тело. Далее удаляется слабосвязанная вода, удерживаемая молекулярными силами поверхности частиц твёрдого материала. Новое скачкообразное изменение структурно-механических свойств материала наблюдается при влажности, соответствующей адсорбционной влагоёмкости. При этом окатыш переходит в упруго-хрупкое составляющее.

Если в процессе сушки возникает переувлажнение отдельных частей слоя, то это сопровождается резким изменением структурно-механических свойств тела. При этом переувлажнённые участки насыщаются свободной влагой, которая не удерживается материалом. При избытке свободной влаги тело становится легко разрушаемым. При этом образуются трещины, что иногда наблюдается в промышленных условиях сушки. При удалении капиллярной воды из мест контакта между частицами одновременно уходит адсорбционная вода периферийных слоёв. Это приводит к непрерывному отсосу капиллярной воды из мест контакта и превращению её в связанную воду, в результате чего уменьшается расстояние между частицами тела, т. е. происходит усадка.

Начало процесса сушки, при котором удаляется капиллярная вода, особенно опасно с точки зрения трещинообразования.

При высыхании развиваются силы, как способствующие, так и препятствующие упрочнению окатышей. Соотношение положительных и отрицательных факторов может быть различным в зависимости от особенностей структуры окатышей.

В промышленных условиях в начальный период сушки разупрочнение проявляется в виде трещин, образующихся в окатышах средних и нижних слоёв (при движении газа-теплоносителя сверху вниз). Трещины представляют собой локальные разрушения глубиной до двух миллиметров различной длины. Трещины резко снижают прочность готовых окатышей (рис.2).

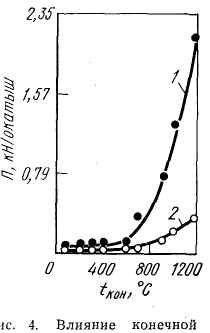


Рис. 2. Влияние конечной температуры обжига окатышей

на их механическую прочность: 1-обычные окатыши;

2-окатыши с поверхностными трещинами.

Другой вид разрушения («шок») наблюдается в конечный период. Шоку, как правило, подвержены верхние слои окатышей. Производственные потери в этом случае могут достигать 7%.

На разрушение окатышей при сушке влияют некоторые технологические факторы. Окатыши устойчивы к трещинообразованию и шоку лишь при определённых для каждой шихты значениях влажности. Чем выше влажность шихты, тем ниже температура начала разрушения и выше разница между температурами трещинообразования и шока. В процессе слоевой сушки окатышей на конвертерной машине происходит перераспределение воды на высоте слоя, в результате чего в отдельных участках слоя окатышей наблюдается их переувлажнение, что снижает прочность структуры окатышей.

Увеличение количества связующих веществ влияет на термостойкость окатышей по зависимости (рис.3).

Для шихты перед окомкованием характерно соотношение фаз, % (объёмн.): 40-50 твёрдых частиц, 15-20 влаги, 35-45 воздуха. При окатывании уменьшается содержание газообразной фазы, при сушке наоборот.

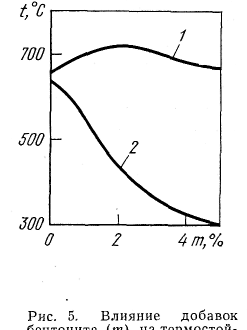


Рис.3. Влияние добавок бентонита (m) на термостойкость окатышей:

1. температура шока;
2. температура трещинообразования.

На качество окатышей влияет технология сушки окатышей. Из общей теории сушки капиллярно-пористых тел известно, что снижение градиентов влажности и температуры возможно путём предварительного нагревания сырых окатышей до температуры больше точки росы. Предложено совместить транспортировку окатышей и их подачу на машину с предварительным нагревом.

Кроме гигроскопической, шихта может содержать гидратную воду. Некоторая часть гидратной воды может находиться в виде сложных соединений в пустой породе.

Известно, что гидрооксиды железа теряют воду уже при умеренных температурах. Так, лигионит Fe2O3\*1,5H2O переходит в гетит Fe2O3\*H2O уже начиная с температуры 80-90 oC. Дегидратация гетита происходит с 320 oC. Как правило, для бурых железняков удаление гидратной воды заканчивается к 500-600 oC. Однако некоторые соединения удерживают воду и при более высоких температурах. Так, каолинит Al2O3\*2SiO2\*H2O часто содержит воду и при 800-1000 oC. Поэтому следует учитывать расход тепла в зонах высоких температур при переработке сырья, содержащего трудноразложимые гидраты.

Так как получение металлизованных офлюсованных материалов перспективно, важно знать, как ведут себя флюсующие добавки и, прежде всего, карбоната кальция и магния. В шихтовых материалах возможно наличие и карбоната марганца. Разложение карбонатов происходит по реакциям:

CaCO3=CaO+CO2-178.5 МДж,

MgCO3=MgO+CO2-109.87 МДж,

MnCO3=MnO+CO2-96.35 МДж.

**ЛЕКЦИЯ 4**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПЛАВКИ В СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ. ТЕХНОЛОГИЯ ROMELT.**

Использование продуктов прямого восстановления железа для выплавки стали известно, по крайней мере в Европе, с середины XVIII в., когда было начато производство слитков посредством переплава в тиглях цементованной стали. Однако даже к середине XLX в. производство стали таким способом, например в Англии, не превышало 50 тыс.т при производстве сварочного железа около 2 млн.т в год. В дальнейшем тигельный способ производства стали был вытеснен мартеновским и бессемеровским способами, а прямое восстановление железа доменным процессом.

С середины XIX в. производство стали по двухступенчатой схеме начало расти, возникли проблемы переработки лома, количество которого быстро увеличивалось, поэтому интерес к железу прямого восстановления как шихтовому материалу резко упал.

Попытки разработки технически и экономически приемлемых способов производства стали, минуя доменный процесс, предпринимались с самого начала существования последнего.

До середины текущего столетия разрабатывались и испытывались, в том числе в промышленных условиях, множество способов прямого восстановления железа, предполагавших использование продуктов последнего при производстве стали. Несмотря на это, в 40-50-х годах основное количество производимого железа прямого восстановления было представлено кричным железом, используемым большей частью в доменных печах. До середины 50-х годов губчатое железо из богатых руд применялось для выплавки стали в промышленных масштабах лишь в Швеции. Железо, полученное по способу Виберга, использовали в кислых мартеновских печах при выплавке высокоуглеродистых сталей (инструментальных, подшипниковых и др.). Количество губчатого железа в шихте в различные годы колебалось в пределах 10-35%. В меньших масштабах использовали губку в дуговых электропечах.

В период 1965-1975 гг. отмечается быстрое увеличение объема выплавки стали на железе прямого восстановления, которая, по ориентировочной оценке, составляла, тыс.т/год: 1950 150; 1955 250; 1960 350; 1965 700; 1970 1500; 1975 5000.

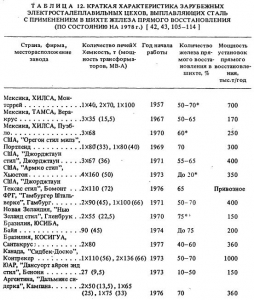
Производство стали с использованием металлизованных окатышей развивается в Мексике, США, Канаде, ФРГ. Этому способствовали, с одной стороны, успехи в области обогащения железных руд, окусковывания получаемых из них концентратов, прямого восстановления железа, а с другой - новые решения в области технологии выплавки.

Проведенные в различных странах промышленные опыты по применению железа прямого восстановления в мартеновских печах, кислородных конверторах и электропечах показали, что наибольший эффект от применения металлизованных материалов на данном этапе развития сталеплавильного производства получается при плавке в электропечах, хотя в ряде случаев оправдано их применение и в других агрегатах.  
Переплав в дуговых электропечах металлизованных материалов с загрузкой их тем же способом, что и лома (загрузочной корзиной порциями, составляющими 30-50 % всей шихты) приводит к заметному ухудшению показателей периода плавления и плавки в целом по сравнению с плавкой лома. Это явилось сдерживающим фактором в расширении использования металлизованных материалов в электропечах на начальной стадии развития указанного направления сталеплавильного производства.  
В 1964-1966 гг. канадская фирма "Стил оф Кэнэда" совместно с другими фирмами провела исследование по выплавке стали в электропечах с непрерывной загрузкой части шихты в виде металлизованных окатышей. Разработанная технология, основанная на совмещении операций плавления окатышей и управляемого окислительного рафинирования жидкого металла, позволила существенно улучшить показатели плавки по сравнению с плавкой, где окатыши загружались в несколько приемов, и даже превзойти показатели плавки на ломе в части производительности.

В дальнейшем технология плавки с непрерывной загрузкой окатышей в электропечь совершенствовалась, однако основы ее не претерпели существенных изменений.

Проводились и проводятся в настоящее время исследования в области плавки металлизованного сырья с использованием газового нагрева. Несмотря на обнадеживающие результаты, промышленного применения такой вид плавки пока не получил.

В табл. 12 приведены краткие сведения о цехах, выплавляющих сталь с применением металлизованных окатышей. Общий объем выплавки стали в них составляет, по нашей оценке, более 8 млн.т в год.

[](http://metal-archive.ru/uploads/posts/2015-02/1423019580_t12.jpeg)

Сортамент цехов, как правило, представлен углеродистыми и малолегированными сталями для производства мелкого сорта, арматуры, проволоки. Исключение составляют завод в Монтеррейе (Мексика), где производится листовая сталь, заводы в Веракрусе (Мексика) и в Кампане (Аргентина), выпускающие бесшовные трубы из углеродистых и малолегированных сталей.

Сталь выплавляется в печах средней и большой емкости. В цехах, построенных в последнее время, число печей не превышает четырех, хотя имеются проекты строительства цехов и с большим количеством печей. Современными печами сверхвысокой мощности оснащены цехи заводов в Гамбурге (ФРГ), Контрекере (Канада).

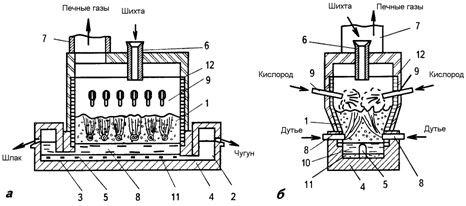
В шихте используется в среднем 60 % окатышей, однако в цехах заводов Латинской Америки из-за дефицита лома этот показатель доходит до 90 %.  
За исключением цеха в Бомонте, металлизованные окатыши поставляются в основном с установок прямого восстановления, расположенных недалеко от электросталеплавильного цеха, хотя имеется уже опыт перевозок их на большие расстояния.

Число цехов, использующих металлизованные окатыши, постоянно расширяется за счет сооружения новых.

Большие металлургические комплексы, рассчитанные на производство 1-3 млн.т год стали каждый, на базе прямого восстановления железа намечено построить в Венесуэле (Матанзас, Пуэрто Ордаз) и Иране (Аваз, Исфаган, Бандар - Аббас). Заводы мощностью 0,5-1,0 млн.т стали строятся или намечено построить в ряде других стран. Первые установки прямого восстановления комплекса в Авазе (Иран) пущены в начале 1978 г. В этом же году сданы в эксплуатацию электропечи в Басре (Ирак), Катаре и ожидается пуск установок прямого восстановления.

Намечается расширение выплавки стали на окатышах в Европе. В Эмдене (ФРГ) группой Корф сооружается установка прямого восстановления мощностью 880 тыс.т в год, продукция которой будет поставляться электросталеплавильным цехам ФРГ, Италии, Англии. В России строится Оскольский электрометаллургический комбинат, который будет выплавлять сталь на металлизованных окатышах из руд КМА.

Разработанный в Московском государственном институте стали и сплавов под руководством профессора В.А. Роменца одностадийный процесс жидкофазного восстановления неподготовленных железорудных материалов с использованием в качестве восстановителя энергетических углей осуществляется в плавильно-восстановительной печи прямоугольного сечения (рисунок 5.7), работающем с небольшим разряжением в рабочем пространстве, исключающем выбросы газов в атмосферу.



**Рисунок 5.7** – Схема плавильного агрегата процесса Ромелт:

а – продольный разрез; б – поперечный разрез; 1 – барботируемый слой шлака; 2 – металлический сифон; 3 – шлаковый сифон (отстойник); 4 – горн с подиной; 5 – переток; 6 – загрузочная воронка; 7 - дымоотводящий патрубок; 8 – фурмы нижнего ряда (барботажные); 9 – фурмы верхнего ряда (для дожигания); 10 – слой спокойного шлака; 11 – слой металла; 12 – водоохлаждаемые кессоны

Исходным железорудным сырьем в процессе Ромелт является железная руда, в том числе пылеобразная, с широким диапазоном содержания железа. В качестве восстановителя и энергоносителя применяется энергетический уголь в виде пыли.

Железорудная шихта и уголь подаются в агрегат из расходных бункеров с помощью системы весовых дозаторов и конвейеров без специального смешивания. Загрузка осуществляется через специальное отверстие в своде на шлаковую ванну.

В ванне при температуре 1500 – 1600оС происходит быстрое плавление железосодержащего сырья и замешивание угля в барботируемый слой шлака, который образуется при подаче дутья через фурмы нижнего ряда.

Дутье обеспечивает необходимое барботирование ванны и генерирование тепла в результате неполного сжигания углерода до СО. Образовавшийся восстановительный газ, который содержит СО и Н2, используется для восстановления оксидов железа шлака, а остаток его дожигается над ванной до СО2 и Н2О в кислороде, который вдувается в рабочее пространство печи с помощью второго ряда фурм. При этом обеспечивается дополнительный приход тепла в расплавленную ванну.

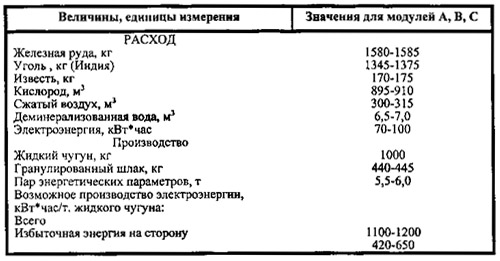
Капли восстановленного в шлаковой ванне железа науглероживаются, укрупняются и опускаются на подину агрегата через зону спокойного шлака, образуя металлическую ванну с температурой 1375 – 1450оС. Полученный металл содержит, % мас.: 4,0 – 4,8 С, 0,05 – 0,15 Mn, 0,01 – 0,1 Si, 0,05 – 0,12 P, 0,025 – 0,060 S.

Металл и шлак удаляются из печи через раздельные сифонные устройства с отстойниками безнапорным способом, что обеспечивает поддержание в печи необходимого постоянного уровня металла и шлака. Металлические и шлаковые сифонные устройства и рабочее пространство печи являются системой сообщающихся сосудов.

Газы в зависимости от степени их дожигания удаляются из рабочего пространства печи с температурой 1500 – 1800оС через дымоотводящий патрубок, проходят котел-утилизатор, мокрую и сухую очистку.

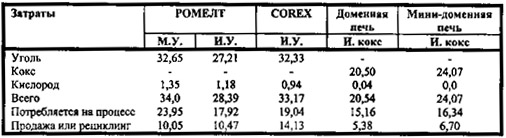
В таблице 5.3 представлены сведения о расходах материалов и выходе побочной продукции при производстве 1 т чугуна процессом Ромелт.

**Таблица 5.3** – Удельный расход материалов и выход побочной продукции при производстве 1 т чугуна процессом Ромелт



В таблице 5.4 представлены данные о затратах энергии на выплавку 1 т чугуна различными процессами в условиях Индии.

**Таблица 5.4** – Сведения об энергозатратах на выплавку чугуна различными процессами, ГДж/т жидкого чугуна



В таблице 5.4 использованы следующие обозначения:

М.У. – местный уголь; И.У. – импортный уголь; И. кокс – импортный кокс.

Из таблицы видно, что в условиях Индии процесс Ромелт обеспечивает меньшие затраты энергии на производство чугуна в сравнении с процессом Корекс, приближаясь к затратам энергии на выплавку чугуна в минидоменных печах

# **ЛЕКЦИЯ 7**

# **СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ОКИСЛОВ ЖЕЛЕЗА**

*Ключевые слова:* сталеплавильные шлаки, температура плавления, вязкость, плотность, поверхностное натяжение, межфазное натяжение, электрическая проводимость, коэффициент теплопроводности, теплоем­кость , энтальпия.

Железо образует с кислородом три стабильных оксида: Fe1-yO, Fe3O4 и Fe2O3 (рис.7.).

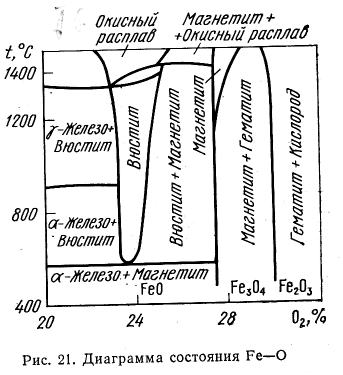


Рис. 7. Диаграмма состояния Fe - O

Вюстит может содержать от 23,1 до 25,6 % O2. Вюстит имеет гранецентрированную кубическую решётку типа NaCL. Если все узлы, решётки, соответствующие ионам кислорода, заняты, то в узлах ионов железа имеются вакансии. Считают, что из-за этого в решётке должно находиться эквивалентное соотношение ионов трехвалентного железа, иначе нарушается условие электронейтральности.

Избыток положительных зарядов ионов железа может передвигаться по решётке между ионами двух- и трехвалентного железа. Эти заряды называют дефектными электронами, они являются носителями электричества и причиной электропроводности вюстита. Благодаря наличию вакансий ионов железа, возможно передвижение ионов железа по решётке, при этом вакансия иона железа блуждает в противоположном направлении. Между коэффициентом самодиффузии железа в вюстите D\*fe и коэффициентом диффузии вакансий Dв существует зависимость:

yDb=(1-y)D\*Fe y-концентрация вакансий.

Коэффициент вакансий в основном не зависит от y и может быть найден следующим образом:

Db=D0bexp(-27800/RT), где D0b=4,5\*10-2см2/с.

С концентрацией вакансий постоянная решётка вюстита меняется почти линейно.

Состав и параметры вюстита:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Состав | Кол-во железа,% | Постоян.  решетка, нм | Плотность  г/см3 | Состав | Кол-во  железа,% | Постоян.  решетка, нм | Плотность  г/см3 |
| Fe0,91O  Fe0,92O | 47,68  47,85 | 0,4282  0,4285 | 5,613  5,624 | Fe0,93O  Fe0,945O | 48,23  48,65 | 0,4292  0,4201 | 5,658  5,728 |

При 7500C равновесие линии Fe-Fe1-y-0 и Fe1-yO-Fe304 пересекаются. Следовательно, ниже этой температуры вюстит должен распадаться на Fe и магнетит.

Магнетит имеет решётку типа шпинели. Для шпинелей характерно, что О2 в решётке образует самую плотную кубическую упаковку.

Магнетит слабо растворяется в α-Fe2O3

Магнетит ферримагнитен, температура Кюри 627- oC. При окислении магнетита можно получить различные оксидные фазы, отвечающие одинаковому химическому составу Fe2O3. Устойчивым является гематит (α – Fe2O3), имеющий тригональную решетку и этим отличающийся от остальных оксидов Fe (табл. 2). Параметр решетки α=0,5427 мм. Гематит является антиферромагнетитом.

Таблица 2

Характеристики окислов железа.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Молекулярная  атомная  масса | Плотность | Мольный объем  относительный к атому | |
| Железа | Кислорода |
| Fe  Fe0,95O  α-Fe2O3  γ-Fe2O3  Fe3O4 | 55,85  69,05  159,70  159,70  231,55 | 7,86  5,73  5,26-5,355  4,4  5,1 | 1  1,78  2,09-2,13  2,55  2,10 | --  1  0,82-0,83  1  0,93 |

Магнетит γ-Fe2O3 (α=0,8322-0,8340нм) получают при определённых условиях (главное не высокие температуры). Также, как и магнетит, он ферримагнитен.

Термодинамические области устойчивости оксидов железа указаны на рис. 8.

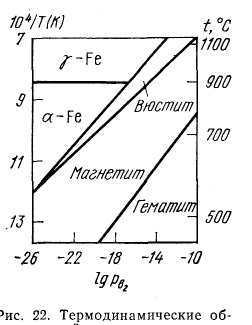


Рис. 8. Термодинамические области устойчивости оксидов железа.

# **ЛЕКЦИЯ 6.**

# **ТЕРМОДИНАМИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ ЖЕЛЕЗА**

*Ключевые слова:* Металлургические процессы, металлоиды, моле­кулярная теория, ионная теория, термическая диссоциация, активность, ко-валентная связь, химическая связь, газовая фаза, передача кислорода.

Восстановление железа из оксидов протекает ступенчато путём последовательного перехода от высших оксидов к низшим по схеме

Fe2O3 Fe3O4  FeO Fe

(выше 5700С) или Fe2O3 Fe3O4  Fe (ниже 5700С).

При этом в соответствии с диаграммой Fe-O в системе возникают не только низшие оксиды и металл, но и твёрдые растворы.

Приведём реакции восстановления оксидов железа газообразными восстановителями:

3Fe2O3+CO=2Fe3O4+CO2+37, 25 МДж; (1)

Fe3O4+CO=3FeO+CO2-20, 96 МДж; (2)

FeO +CO=Fe+CO2+13, 65 МДж; (3)

3Fe2O3+H2=2Fe3O4+H2O-4, 2 МДж; (4)

Fe3O4+H2=3FeO+H2O-62, 41 МДж; (5)

FeO+H2=Fe+H2O-27, 80 МДж . (6)

Каждая из этих реакций является трёхкомпонентной и трёхфазной, то есть обладает двумя степенями свободы. Следовательно, из их величин, характеризующих состояние (общее давление, Т, парциальное давление восстановителя и продукта восстановления), лишь две могут произвольно меняться. Остальные же являются их функцией. Учитывая, что по принципу Ле-Шателье равновесие не зависит от общего давления, получаем

К=f(T)=Pco2(h2o)/Pco(h2) (7)

Для реакций (1) и (4) соответственно

Lg Кр =1720/Т+2, 81 и Lg Кр=-160/Т+4, 48 (8)

Реакции (1) и (4) практически необратимы.

Для реакций (2) и (5)

Lg Kp=-1560/T+2, 00 и Lg Kp-3440/Т+3, 67 (9)

Так как эти реакции идут с поглощением тепла, константы равновесия их растут с повышением температуры, то есть содержание CO и H2 в равноместной смеси падает.

Реакция (3) сопровождается выделением тепла, в результате чего с ростом температура сдвигается влево. Для этой реакции

LgКр= 1190/Т-1, 26 (10)

Реакция (6) эндотермична, поэтому равновесие с ростом температуры сдвигается вправо.

LgКр=-690/Т+0,405 (11)

а с учётом нестехеометрии вюстита

Fe0, 947O+H2=0,947Fe+H2O (12)

LgКр=-940/Т+0, 52 (13)

Реакции восстановления магнетита до железа:

Fe3O4+4CO=3Fe+4CO2 (14) (экзотермическая)

Fe3O4+4H2=3Fe+4H2O (15) (экзотермическая)

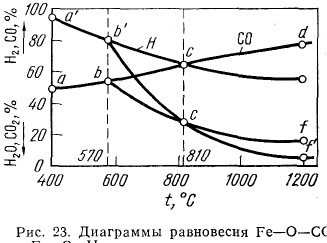


Рис. 9. Диаграммы равновесия Fe-O-CO и Fe-O-H2

Графическое изображение реакций 1-6 приведено на рис. 9. Каждая из линий на диаграмме соответствует изменению равновесного состава газовой фазы в зависимости от температуры для реакции (1)-(6), (14), (15).

Линия а-b (14), b-f(2), b-d (3), a’-b’(15), b’-f’(5), b’-d’(6). Линий соответствующих равновесию реакций (1) и (4) на диаграмме нет, поскольку они близки к оси абсцисс. Диаграмма даёт сведения о составе газа, который необходим для полного восстановления оксидов железа.

С учётом избытка газа-восстановителя реакции (2), (3), (5) и (6) принимают вид

Fe2O4+mCO 3FeO+ (m-1) CO+CO2 (2’)

FeO+nCO Fe+ (n-1) CO+CO2 (3’)

Fe3O4+pH2 3FeO+ (p-1)H2+H2O (5’)

FeO+qH2 Fe+ (q-1)H2+H2O (6’)

Для реакции (3) при температуре 8000С равновесный состав газа содержит около 70% СО и 30%СО2, тогда К=1/(n-1)=30/70; n=10/3. Таким образом, требуется не 1 моль восстановителя, а 3 1/3 моля.

Анализ кривых равновесия реакций восстановления оксидов железа оксидом углерода показывает, что процесс можно условно разделить на «легкую» и «трудную» части. К первой можно отнести восстановление высших оксидов железа, ко второй-восстановление FeO. Для протекания (1), (2) требуется невысокое содержание газа-восстановителя в газовой среде.

Восстановление FeO возможно при высокой концентрации СО в газовой фазе.

Реакции (1)-(6) и рисунок иллюстрируют различия в термодинамике восстановления оксидов железа оксидом углерода и водородом. При температуре ниже 8100С водород является более слабым восстановителем, чем СО, поскольку равновесная концентрация Н2 в смеси превышает равновесное содержание оксида углерода. При температуре больше 8100С Н становится более сильным восстановителем.

Восстановление оксидов железа твёрдым углеродом возможно по следующим реакциям:

3Fe2O3+C=2Fe2O4+CO-129, 07 МДж; (16)

Fe3O4+C=3FeO+CO-187, 28 МДж; (17)

FeO+C=Fe+CO-152, 67 МДж; (18)

Для реакции (18)

LgКр=-7730/Т+7, 84 (19)

Суммарный отрицательный тепловой эффект 4240 кДж/кг железа.

В присутствии твёрдого С при анализе восстановления оксидов железа следует учитывать равновесие в системе С-СО-СО2:

СО2+С=2СО-166,32 МДж (20)

Реакция (20), которую называют реакцией газификации углерода или реакцией Белла-Будуара, зависит от давления. При повышении давление равновесия сдвигается влево. На рис.10 дана диаграмма равновесных линий реакций (20).

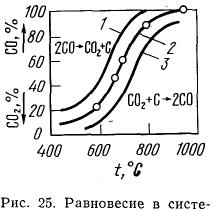


Рис.10. Равновесие в системе C – CO – CO2 при давлении, кПа:

1 – 50; 2 – 100; 3 - 150

Реакция (20) является обратимой. Левее равновесной кривой реакция идёт в направлении распада оксида углерода:

2СО СО2+С+166,32МДж (21)

правее в направлении его образования:

СО2+С СО-166,32МДж (22)

Поскольку реакция зависит от давления, на рисунке дана не одна линия равновесного состава газа, а семейство линий. Газ в области высоких температур состоит из СО, а газ, покидающий шахтную печь для металлизации, имеет 15-16% СО2 и 19-20% СО или в пересчете на сумму СО+СО2 40-45%СО2 и 55-60%СО. Область изменения реальных составов газа в печи заштрихована. Рис.11. представляет собой совмещённую диаграмму равновесий в системе Fe-O-CO и C-CO-CO2

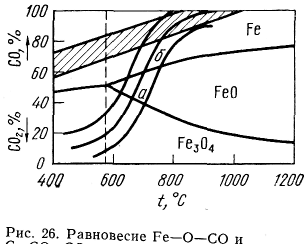


Рис. 11. Равновесие Fe-O-CO и С-СО-СО2

При рассмотрении совмещённой диаграммы видно, что при высоких температурах газ содержит ничтожное количество СО2, так как скорость реакции СО2+С=2СО велика. Поэтому реакция восстановления при высоких температурах идёт с затратой твёрдого углерода, а продуктом восстановления является оксид углерода. Отсюда реакцию восстановления можно записать следующим образом:

FeO+CO=Fe+CO2

CO2+C=2CO

FeO+C=Fe+CO (23)

Исходя из вида газообразного продукта, восстановления различают на прямое и непрямое (косвенное) восстановление. Восстановление, в ходе которого продуктом является СО, называется прямым, а то, в ходе которого образуется СО2 или Н2О, называется непрямым.

Реакция (23) является удобной схемой для объяснения механизма прямого восстановления. Однако механизм прямого восстановления в достойной мере ещё не расшифрован. Обычно принимают, что косвенное восстановление соответствует умеренным температурам (до900-10000С), а прямое - высоким.

# **ЛЕКЦИЯ 7.**

# **ТЕРМОДИНАМИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Ключевые слова:* окисление углерода, равновесные концентрации, ферростатическое давление, капиллярное давление, оксид углерода, рудное кипение, чистое кипение, коэффициент диффузии, теплообмен, массооб-мен, обезуглероживание.

Восстановление оксидов Mn. Высшие оксиды марганца легко восстанавливаются оксидом углерода при низких и умеренных температурах:

2MnO2+CO=Mn2O3+CO2+227, 56 МДж

Lg Kp=12480/Т-1, 77

3Mn2O3+CO=2Mn3O4+CO2+170, 77 МДж

Lg Kp=11230/Т-1, 96

Значение констант равновесия для этих реакций очень велики уже при низких температурах, а в газе, равновесном для реакции, гораздо больше CO2, чем в колошниковом газе. Поэтому восстановление высших оксидов марганца идёт практически до конца уже при 400-5000С.

Mn3O4+CO=3MnO+CO2+52.08

Lg Kp=525/T+0.64

Эта реакция протекает в интервале 600-10000С.

Реакция восстановления MnO оксидом углерода в процессе металлизации практически невозможна:

MnO+CO=Mn+CO2-121.80 МДж

Lg Kp=-5350/T-0.75

При 12000С Кр=10-5. Для протекания реакции требуется содержание СО2 в газовой фазе менее 0,01%, что недостижимо. Даже при небольших количествах углекислоты возможна обратная реакция.

Таким образом, марганец из оксида марганца восстанавливается только прямым путём:

MnO+C=Mn+CO-288.29 МДж

LgКр=-14260/Т+8, 36 (до1500К)

Высшие оксиды марганца также легко восстанавливаются твёрдым углеродом.

При температуре выше 11000С образуется карбид Mn3C, углерод которого может восстанавливать марганец из MnO.

Восстановление марганца из силиката идёт по реакциям:

MnSiO3+C=Mn+SiO2+CO

LgKp=-15560/T+9.02(до1500К)

LgKp=-16310/T+9.52(свыше1500К)

MnSiO3+4/3C=1/3Mn3C+SiO2+CO

LgKp=-15310/T+9.04

Таким образом, при восстановлении силиката марганца твёрдым углеродом может образоваться как металлический марганец, так и его карбид.

В расплавленном железе марганец несколько снижает активность углерода и повышает его растворимость.

Восстановление оксидов кремния. Кремний в процесс попадает с шихтой в виде SiO2

SiO2=Si+O2-872.63 МДж

SiO2-труднорастворимый оксид с высокой величиной теплоты диссоциации, поэтому кремний восстанавливается при высоких температурах, при этом расходуется большое количество тепла. Водород и оксид с кремнием не восстанавливают. Восстановить кремний можно только твёрдым углеродом:

SiO2+2C=Si+2CO-636.76 МДж

LgKp=-34380/T+20.57-0.66LgT (твёрдая фаза)

LgKp=-36240/T22.57-0.91LgT (жидкость)

Кремний может образовывать силициды железа

Fe+Si=FeSi+80.64 МДж

или SiO2+2C+Fe=FeSi+2CO

На восстановление кремния влияет давление в печи: чем выше давление, тем меньше и позднее начинает восстанавливаться кремний.

Восстановление оксида фосфора. Фосфор попадает в процесс металлизации в виде солей фосфорной кислоты, основными из которых являются вивианит Fe3(PO4)3\*8H2Oи апатит Са3(PO4)2\*CaF2. Восстановление фосфора начинается при умеренных температурах, однако заметно может проявлять себя лишь при 900-10000С и выше (водородом) и 1000-12000С (оксидом углерода).

2Fe3 (PO4)2+16C=3Fe2P+P+16CO

Ca3(PO4)2+5C=3CaO+2P+5CO

Как видно из этих уравнений, одновременно восстанавливается железо и фосфор и, кроме того, образуется фосфорит железа. Фосфор или его фосфорит активно растворяются в железе и целиком переходит в металл.

Прямое восстановление фосфора, наряду с затратой твёрдого углерода, требует большого расхода тепла.

Восстановление других соединений. Ванадий образует пять соединений с О: V2O5, V2O4, V2O3, VO, V2O.

Высшие оксиды ванадия легко восстанавливаются газом при умеренных температурах, низшие-твёрдым С только при высоких(12000С и выше) температурах.

Хром ведет себя аналогично Mn и V. Для перевода Cr в металл требуется повышенный расход твёрдого восстановителя и высокие температуры.

Восстановление титана также идёт только при высоких температурах твёрдым углеродом.

Особенности восстановления оксидов при наличии растворов.

1. Восстановление оксидов, находящихся в растворе.

Рассмотрим восстановление оксидов на примере FeO, растворённого в железе.

Непрямое восстановление происходит следующим образом:

[Fe]fe+CO=FeTB+CO2

Система трёхкомпонента. Если раствор не насыщен, то число фаз равно2(раствор и газ), а число степеней свободы- 3. В насыщенных растворах добавляется оксидная фаза, находящаяся в равновесии с растворами и система становится двухвалентной. Давление не влияет на равновесие, так как превращение протекает без изменения объема. Следовательно, в ненасыщенных растворах равновесный состав газа определяется температурой и концентрацией FeO, а в насыщенных только температурой:

K’=aFeP’co2/aFeOP’co=aFeCO’2/aFeOCO’,

где aFe и aFeO активности железа и его оксида; CO2’ и CO’ –равновесные концентрации СО2 и СО при восстановлении раствора. Если аFe=1, aFeO=γFeO NFeO, где γFeO коэффициент активности вюстита; NFeO мольная доля вюстита в растворе, а К’=CO2/CO, получим

СО2’/CO’=(CO2/CO)γFeONFeO

C уменьшением концентрации FeO уменьшается отношение CO2/CO, то есть чем ниже содержание оксида, тем труднее его восстанавливать, тем богаче восстановителем должна быть газовая смесь.

Прямое восстановление происходит по схеме

FeO+CO=Fe+CO2

CO2+C=CO

FeO+C=Fe+CO

Система в ненасыщенных растворах двухвариантная, а при постоянном давлении имеет одну степень свободы. По мере уменьшения концентрации оксида его становится труднее восстанавливать.

1. Переход продукта восстановления в раствор.

Рассмотрим восстановление MnO, когда продукт реакции (Mn) растворяется в железе:

MnOTB+CO =[Mn]Fe+CO2

Число компонентов равно4. Оксид Mn мало растворим в железе и практически образует самостоятельную фазу. В ненасыщенном растворе марганца в железе система трехфазна (раствор Mn в Fe, MnO и газ) и трёхвариантна, а равновесный состав газа есть функция температуры, давления и концентрации марганца. Пренебрегая влиянием давления, получаем

К’=aMnCO2’/aMnOCO’

При aMnO=1 и aMn=γMnNMn получаем

СО’2 /CO’=CO2/CO\*1/γMnNMn

Отсюда следует, что в присутствии растворителя железа, когда NMn<1, равновесный состав газа беднее оксидом углерода, чем при получении чистого металла. При переводе продукта в раствор восстановление оксида облегчается, так как увеличивается его упругость диссоциации.

Окисление углерода - одна из главных физико-химических реак­ций сталеплавильного процесса, оно описывается реакциями:

[С] + [0] = {СО} (1)

[С] + 2[0] ={С02} (2)

Реакция 2 протекает при содержании углерода в ванне <0,05%. При 1600°С рсо Для реакции 2 в смеси газов СО+СО2 составляет около 2 кПа. При давлении р = 101,3 кПа и активностях У|с) и у[0| =1 константа уравнения реакции (1) определяется по уравнению

КР=1/([С][0])

Произведение равновесных концентраций при 1580-1620°С и Рсо=Ю1,3 кПа составляет т=[С][О]= 0,0025-0,0026.

Процесс окисления углерода может протекать при физической концентрации кислорода выше равновесной. На рис. 9.1 показана зависи­мость между содержанием [С] и [О] в металле для равновесных и действи­тельных условий сталеплавильных процессов.

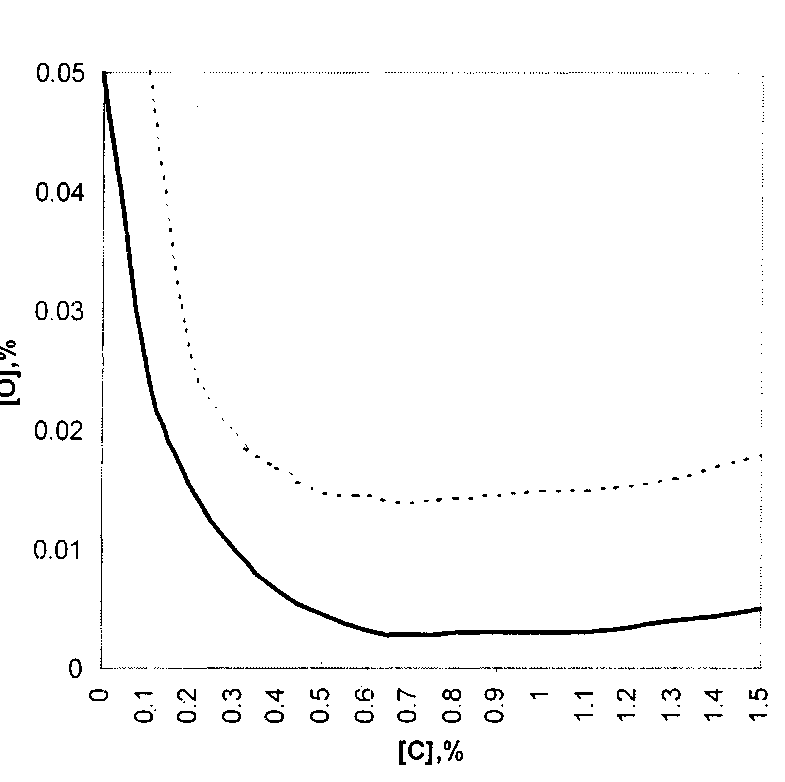


Рис.9.1.Зависимость между со­держанием [С] и [О] в ме­талле для действи-тельных (1) и равновесных (2) ус­ловий сталепла-вильных процессов.

При низких концентрациях углерода (<0,10%), помимо содержа­ния углерода, на содержание кислорода влияют и другие параметры плавки - окисленность шлака, концентрация марганца в металле, температура ста­леплавильной ванны.

Пузырек оксида углерода СО, согласно реакции (1), может выде­ляться из металла только в том случае, если он обладает величиной рсо, про­тивостоящей давлению находящихся над ним масс металла и шлака (р(|,ер -ферростатическое давление), атмосферному давлению (раш) и давлению, создаваемому внутри пузырька поверхностным натяжением металла (ка­пиллярное давление рка„).

Р со Рфер ~\*~ Ратм Ркам

Ферростатическое и капиллярное давления определяются из урав­нения:

Рфер ^метРмет '" ^шлРшл

Ркап ^м-г \*

где ратм - давление в рабочем пространстве сталеплавильного, аг­регата; Ьмст и Ь1ПЛ высота слоев металла и шлака над образующимся пузырь­ком, м; рмст и ршл -плотность металла и шлака, кг/м~, ам\_, - поверхностное

натяжение на границе газ-металл, мДж/м"; г - радиус пузырька СО.

Из-за ничтожно малой растворимости оксида углерода в железе, малого радиуса зародыша критического размера пузырьков СО (порядка 10" 9) и огромного капиллярного давления реакция окисления углерода в ме­таллическом расплаве невозможна. Пузырьки СО в сталеплавильной ванне образуются преимущественно на твердой шероховатой поверхности поди­ны и откосах, не растворившихся кусках железной руды и извести, неме­таллических включениях в объеме ванны.

В мартеновских печах различают рудное и чистое кипение. Рудное (пенистое) кипение - результат зарождения мелких пузырьков СО на гра­нице шлак-металл, чистое кипение - на границе металл-подина ( пузырьки в этом случае в 30-40 раз больше).

Величина энергии активации Е реакции окисления углерода нахо­дится в пределах 63000-147000 кДж/кмоль, что свидетельствует о протека­нии процесса в диффузной области. Величина Е может быть рассчитана по уравнению:

Е - 19,155 ^(Кг/КОТ^з/СТз - Т,)

где К - константы равновесия при температурах Т, 19,155 - произ­ведение Я на коэффициент перехода от 1п к 1§.

В период чистого кипения в мартеновской ванне кислород посту­пает из атмосферы печи через шлак, при Т|= 1800К скорость окисления уг­лерода ус,= 0,1% С/ч, а при Т,-1900К ус,= 0,13% С/ч.

Схематически эту реакцию можно изобразить так:

(Ре) {СО}

I I

диффузия [Ре] + [СО] диффузия

При прочих равных условиях К2/К1 = ус2/ усь Тогда

Е = 71500 кДж/кмоль.

Полученная величина энергии активации реакции окисления угле­рода указывает на то, что процесс лимитируется одной из диффузных ста­дий.

В ускорении тепло- и массообмена между металлической и шла­ковой фазами важную роль играют корольки металла, увеличивающие по­верхность соприкосновения металла со шлаком. Пузырьки монооксида уг­лерода, проходящие через слой шлака, несут на себе металлическую обо­лочку, которая при разрыве пузырьков на поверхности шлака разрушается, принимая шарообразную форму. Таким путем регенерируется значительное количество капелек металла, получивших название корольков. Последние благодаря разности плотностей перемещаются в нижние слои шлака и на границе металл-шлак прекращают свое существование. Содержание угле­рода в корольках, отобранных по глубине шлакового покрова, значительно ниже, чем в ванне, что указывает на значительное обезуглероживание ко­рольков во время их пребывания в шлаке. Измеренные размеры корольков составляют от 0,1 до 5,5 мм.

# **ЛЕКЦИЯ 8**

# **КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ**

*Ключевые слова:* Сталеплавильный шлак, сера, фосфор, десульфу-рация, дефосфорация, сульфиды, скорость диффузии, коэффициент распре­деления, активность, жидкоподвижность шлака, основность шлака.

Восстановление оксидов - сложный и многостадийный процесс. В общем случае при рассмотрении любого восстановления приходится решать два основных вопроса:

1. В какой среде проходит акт химического взаимодействия, приводящего к отнятию кислорода от оксида;
2. В зависимости от схемы процесса, какая стадия является самой медленной, определяющей скорость восстановления в целом.

В общем случае отнятие кислорода от оксида металла может происходить в газовой фазе, на границе металл-оксид или низший оксид-высший оксид.

А.А.Байков одним из первых предложил схему механизма восстановления оксидов:

MeO=Me+1/2O2 (1)

B+1/2O2=BO

MeO+B=Me+BO

Процесс состоит из двух стадий: диссоциация оксида металла MeO и окисление восстановителя из оксида кислородом. Следует иметь в виду, что диссоциация не обязательно проходит по схеме (1). Возможно протекание диссоциации с образованием атомарного кислорода:

MeO=Me+O

В середине тридцатых годов появилось новое представление о механизме восстановления оксидов, известное под названием адсорбционно-автокаталитической теории:

MeO+B=MeO\*Bадс.

MeO\*Bадс. =MeBOадс.

MeBOадс. =Me+BO

MeO+B=Me+BO

Реакция восстановления проходит в три стадии: адсорбция газа-восстановителя на поверхности восстанавливаемого оксида, химическая реакция на поверхности оксида, десорбция продукта восстановления.

Таким образом, восстановление оксидов есть сумма отдельных процессов, каждый из которых характеризуется собственным равновесием. В общем случае восстановление оксидов складывается из следующих стадий:

1. Подвод газа-восстановителя к куску железорудного материала (или внешняя диффузия газа);
2. Диффузия газа-восстановителя по порам куска к его поверхности;
3. Адсорбция газа-восстановителя на поверхности оксида;
4. Диффузия газа-восстановителя или ионов в твёрдой фазе;
5. Собственно химическое взаимодействие с отнятием кислорода от молекулы оксида;
6. Образование зародышей металлической фазы;
7. Десорбция продуктов восстановления;
8. Отвод продуктов восстановления из пор куска.

Внешняя диффузия газа.

Диффузия вещества, как известно, обусловлена различной его концентрацией в различных частях системы, и вещество переносится в направлении от большей концентрации к меньшей. Такую диффузию часто называют молекулярной или свободной и подчиняется она двум законам Фика:

J=-D (ðc/ðx) ðc/ðτ=ð/ðx(D(ðc/ðx))

Кроме того, при движении газа, обтекающего частицы железорудного материала, происходит конвективная диффузия, которая обуславливается разной плотностью в отдельных участках системы. Такая диффузия наблюдается только в подвижной среде. Для неё скорость существенно зависит от характера движения потока, которое может быть ламинарным и турбулентным. Наблюдаемая скорость диффузии (или диффузионный поток) определяется уравнением

J=D(C1-C2/L)

При оценке внешнего переноса обычно пользуются критериями подобия. Критерий Рейнольдса характеризует соотношение сил вязкости и инерции в движущейся среде:

Re=fud/η,

где u-скорость среды; f-плотность среды; η-коэффициент динамической вязкости; d-характеристический размер потока.

Критерий Пекле характеризует соотношение количеств вещества, переносимых за счёт конвекции (udc/dx) и диффузии(Dd2c/dx2):

Pe=ud/D, где D-коэффицент диффузии газа.

При большем значении Pe молекулярной диффузией можно пренебречь по сравнению с конвективной.

Критерий Шмидта является диффузионным критерием:

Sc=Pe/Re=υ/D,

где υ-коэффициент кинематической вязкости, равный η:ρ.

Для газов Sc=1 и Pe=Re.

Если обозначить D/L=β, получим

J=β(C1-C2)

Величина β называется коэффициентом массопередачи. Он зависит от всех величин, определяющих скорость переноса, кроме концентраций, и его иногда называют константой скорости диффузии.

Связь массообмена с газодинамикой потока может быть выражена эмпирической функцией

L/d=I(Re,Sc)

Из сопоставления этой величины с формулой с коэффициентом можно получить критерий Шервуда:

Sh=βd/D

В этих выражениях d-характеристическое расстояние, чаще обозначает размер обтекаемого газом сферического куска. Критерий Шервуда связан с критериями Рейнольдса и Шмидта следующим образом:

Sh=C+C’RemScn

где С и С’ –константы.

Для случая, когда газ обтекает шарообразные куски С=2, величина Sh=2, C’=0,6. Для ламинарного потока m=1/2; n=1/3. Для турбулентного –m=0.5:0.8, n=1/3.

Таким образом, при реальных условиях процесса восстановления и фильтрации газом слоя кусковых железорудных материалов внешняя диффузия не может лимитировать процесс восстановления.

Диффузия газа в порах кускового материала.

При движении газа в порах приведённые выше закономерности сохраняют свою силу в том случае, если размер поры больше средней величины свободного пробега молекул. В более мелких порах столкновение молекулы о стенки поры будут чаще, чем соударения молекул. Такое движение газов называется кнудсеновским или молекулярным. Коэффициент кнудсеновской диффузии определяется выражением

Dk=8/3d(RT/2πM)1/2

где d-«эффективный» размер поры (r круглой поры), а диффузионный поток (количество вещества в молях, проходящее за 1с площадь в 1см2)-выражением

Jk=8/3d ∆P/L(2πMRT)-1/2

где ∆Р - разность давлений газа в начале и конце диффузионного пути; L-длина поры.

Коэффициент кнудсеновской диффузии не зависит от давления, в то время как величина диффузионного потока зависит от давления.

Энергия активации Е зависит от размера поры. При кнудсеновском течении Е=0. Для очень мелких пор

DT=D0exp(-E/RT)

Поэтому такой вид диффузии называется активированным. Диффузионный поток в этом случае, согласно закону Фика, определяется уравнением

J=Da∆C/L,

где Da-коэффициент активированной диффузии; ∆С-изменение концентрации газа внутри твёрдого тела по диффузионному пути L.

В случае активированной диффузии смеси газов, как и при кнудсеновском течении, каждый компонент диффундирует независимо от других и скорость проникновения отдельных компонентов смеси зависит только от концентрации каждого газа и его коэффициента диффузии. Однако, в отличие от кнудсеновского течения соотношение скоростей активированной диффузии различных газов связано не с массами молекул, а определяется отношением экспоненциальных членов. Так как различие величин энергии активации для отдельных газов велико, активированная диффузия в значительно большей мере является избирательной, чем молекулярное течение.

Одним из направлений значительного улучшения физико-химических и служебных свойств различных углеродистых и легированных сталей является возможно более полное удаление серы и фосфора при вы­плавке стали в сталеплавильных агрегатах с основной футеровкой и основ­ными шлаками. Глубокая дефосфорация металла необходима для производ­ства трубной, конструкционной, строительной стали. Вредное влияние фосфора проявляется особенно при действии низких температур.

Сера образует сульфиды почти со всеми элементами, под влияни­ем которых, особенно Ре8 (1„л=1193°С), усиливается склонность к образова­нию трещин при прокатке и сварке, уменьшается сопротивление коррозии, пластические и электротехнические свойства стали. Специально серу вво­дят (до 0,08-0,2%) в автоматные стали с повышенным содержанием мар­ганца для улучшения обрабатываемости режущими инструментами при вы­соких скоростях резания, т.к. сульфид марганца имеет высокую 1Ш1=1620°С.

В основном сталеплавильном шлаке в определенных количествах растворяются сульфиды Са8, Мп8, М§8, Ре8, А128з, №28, а также сульфиды легирующих элементов. Ре8 имеет неограниченную растворимость в рас­плавленном химически чистом железе. В присутствии углерода и кремния эта растворимость снижается. Мп8 и А128з обладают крайне малой раство­римостью в железе, Са8 и М§8 практически нерастворимы в металле.

Процесс десульфурации металлической ванны характеризуется следующими показателями:

А8 - количество серы, удаленной из металлической ванны за опре­деленный промежуток времени или плавку;

ух- скорость диффузии, определяемая отношением А8/т,

т - продолжительность отрезка времени процесса десульфурации; - коэффициент распределения серы между шлаком и металлом,

11, = (8)/[8]; х - степень десульфурации, определяемая из соотношения

Р8=[8]чуг-[3]к,,:100/8чуг

где [8]муг и [8]к.п - содержание серы в пробах чугуна и стали, ото­бранной в середине разливке (ковшовая проба).

В процессе десульфурации металлической ванны большую роль играют оксиды СаО, МпО, №2О, а также легирующие элементы. Главным десульфуратором является СаО.

Сера обладает большой активностью, поэтому процесс десульфу­рации осуществляется на поверхности раздела фаз шлак-металл. Для тер­модинамического анализа десульфурации металлической ванны может быть принята следующая химическая реакция:

(СаО) + [Ре8] - (Са8) + (РеО) (1)

Константа равновесия этой реакции определяется по уравнению:

Кр = ОС(СаЗ) ОС(рсо/ ОЦсаО) а[1;е8|

где а(СаЗ) *•>* оЦре8|? оС(КеО) и (Х(СаО) " активности в шлаке оксида и сульфида кальция, оксида и сульфида железа в металле.

Величина сс^! пропорциональна концентрации серы в металле, поэтому уравнение можно записать

[8] = СС(Са8) ОЦГеО) / Кр ОЦсаО)

Из этого уравнения следует, что удалению серы из металла в шлак способствуют повышение активности оксида кальция а(Сао) и снижение ак­тивности сульфида кальция а(Са8) и сульфида железа а(рс0), что достигается скачиванием шлака и частичной наводкой шлака путем присадки извести.

Для реакции (1) 1§КР - +3,49186, а АО°,877 = - 125278 кДж, на 1 кг оксида АО0187? - - 2237 кДж.

На показатели процесса десульфурации металлической ванны в основных сталеплавильных процессах большое влияние оказывают основ­ность (СаО/8Ю2) и жидкоподвижность шлака. Чем выше основность (СаО/8Ю2), прирост основности шлака за определенный период времени Д(СаО/8Ю2), концентрация свободного оксида кальция при нормальной вязкости шлака СаО' при нормальной вязкости шлака, тем больше при про­чих условиях он может удерживать в своем составе серы и тем выше долж­ны быть показатели десульфурации . Когда повышение основности шлака сопровождается снижением его жидкоподвижности, концентрация серы в шлаке увеличивается и показатели десульфурации начинают ухудшаться. Таким образом, зависимость состава шлака (СаО/8Ю2), Д(СаО/8Ю2), СаО' -показатели десульфурации имеет экстремальный характер. На рис. 10.1 по­казана зависимость между основностью шлака и показателями десульфура­ции, из которого видно, что при наличии гетерогенного шлака с частицами нерастворенной извести десульфурация металла протекает значительно ху­же.

Для расчета коэффициента распределения серы г|ч между шлаком и металлом в зависимости от состава шлака можно пользоваться следую­щим уравнением:

|, = [0,5+ 2,25 1п(1--с0)] [1+ (4п(Саог + 2,5 п(Мп0))

**ЛЕКЦИЯ 9**

**КИНЕТИКА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДОВ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)**

*Ключевые слова:* раскисление, кислород, элемент-раскислитель, сродство к кислороду, коалесценция, коагуляция, неметаллические включе­ния, газы, водород, азот, теплота растворения, легирующие элементы.

Адсорбция

Чтобы прошла реакция твёрдого тела с газом необходим их контакт. Но реагировать с оксидом могут лишь молекулы, которые после столкновения с поверхностью твёрдого тела не отразились от неё, а некоторое время были с ней связаны. В температурной области, в которой восстановление идёт с заметной скоростью, на поверхности оксида находятся лишь молекулы, удерживаемые химическими силами. В химически адсорбированных молекулах внутримолекулярные связи могут ослабляться или даже исчезать. Вновь возникшие связи между химически адсорбционными молекулами, атомами и элементами поверхности твёрдого тела могут быть, напротив, настолько прочными, что при последующей адсорбции атомы твёрдого тела могут перейти в газ. Таким образом, максимальная скорость реакции между газом и оксидом ограничена количеством молекул газа, которое в единицу времени сталкиваются с поверхностью оксида.

Число столкновений молекул газа с поверхностью оксида можно определить, исходя из выражения

Zi=PiNL/πRTMi,

где Рi-парциальное давление газа-восстановителя; Mi-молекулярная масса газа-восстановителя; NL-число лошмидта, моль-1.

Для водорода, например, при10000С и 98КПа величина Zi=5\*1023 столкновений/(см2\*с).

По типу и размеру силы взаимодействия между элементами газа и твёрдого тела разделяются на 2 группы: физическая адсорбция и хемосорбция. При физической адсорбции эффективными являются силы, подобные силам взаимодействия между частицами газа. При хемосорбции взаимодействие основывается на явлениях типа химической связи.

В то время как при физической адсорбции теплота адсорбции не часто превышает 10кДж/моль, при хемосорбции величина теплоты адсорбции 800-900 кДж/моль не редкость.

Физическая адсорбция не может являться лимитирующим этапом процесса восстановления руд.

Процессы в твёрдых фазах.

В отличие от многих гетерогенных процессов восстановление характеризуется образованием в начальный период слоя продуктов реакции. Дальнейший ход процесса во многом связан с характеристикой этого слоя: при образовании пористого слоя возможна диффузия газа-восстановителя внутрь куска, при наличии плотного слоя процесс невозможен без твёрдофазных химических реакций и диффузии.

При восстановлении гематита по ходу процесса в непосредственном контакте между собой находится Fe-FeO, FeO-Fe3O4, Fe3O4-Fe2O3. Наружный слой вюстита взаимодействует с газом-восстановителем, например,

FeO+H2=Fe+H2O

Для дальнейшего протекания реакции необходима диффузия в твёрдых продуктах восстановления.

На общую скорость восстановления может влиять диффузия лишь во внешнем из образовавшихся слоёв металла или низшего оксида. Диффузия во внутренних слоях не оказывает влияния на восстановление.

Диффузия в решетке соединения протекает преимущественно путём блуждания дефектов решетки, например вакансий или ионов по междоузлаям.

В вюстите значительными дефектами являются вакансии ионов железа. Они делают возможной диффузию железа в решётке оксида.

Диффузионный поток железа описывается выражением

JFe=Db3/VFeO∆y,

где Db - коэффициент диффузии вакансий ионов железа; VFeO мольный объем FeO; ∆y разность концентраций вакансий на пути диффузии.

Наряду с диффузией в невосстановленом продукте идут твёрдофазные реакции

Fe3O4+Fe=4FeO и 4Fe2O3+Fe=3Fe3O4

Без твёрдофазных реакций представить себе процесс восстановления невозможно. Путём расчётов установлено, что объём твёрдого оксида, доступного для проникновения газа-восстановителя составит 10% от всей массы твёрдого оксида. Поэтому следует утверждать, что в любых условиях восстановления на втором его этапе лимитирующими должны быть реакции в твёрдой фазе.

В качестве примера упомянем о последнем исследовании З.И.Некрасова и В.Ф.Мороза. На рис. 12 приведены кривые восстановимости чистого вюстита с разной степенью нестехиометричности. График характеризует прямую зависимость степени (и скорости) восстановления от доли вакансий и, следовательно, диффузии в твёрдой фазе (рис.12).



Рис. 12. Влияние нестехиометричности вюстита на степень его восстановления (8000С, водород).

Реакция на границе фаз.

Для протекания процесса восстановления необходим непосредственный контакт восстановителя и оксида. Реагировать с оксидом могут только те молекулы газа-восстановителя, которые после столкновения с поверхностью твёрдого тела в течение требуемого для реакции времени находились на поверхности. Поэтому максимальная скорость восстановления ограничена количеством молекул газа, которое сталкивается с твёрдым телом. Адсорбированные молекулы вступают в химическую реакцию с оксидами железа.

Если процесс восстановления лимитирует химическая реакция, то реакционная поверхность линейно перемещается внутрь куска.

Учитывая, что степень восстановления R=1-ri3/r03, получаем выражение Мак-Кевана:

D0r0[1-(1-R)1/3]=kτ,

где Ri-радиус невосстановленой части; r0-исходный радиус оксидного шара; d0-исходное содержание кислорода в куске; k-коэффициент пропорциональности.

Опыты Мак-Кевана были выполнены с плотной и беспористой рудой. Однако химическая реакция может лимитировать процесс и в случае, если кусок руды обладает пористостью.

Зародышеобразование.

При отнятии кислорода у оксида на поверхности материала происходит местное изменение соотношения Me-O. Первичный металл, оказавшийся свободным, выделяется в виде отдельных зародышей. Число и распределение зародышей зависят от структуры поверхности оксида. Для роста зародыша необходим транспорт металла от места отнятия кислорода к зародышу. Он происходит путём диффузии ионов металла и электронов в решётке оксида по поверхности. Скорость отнятия кислорода и диффузия металла определяют; имеется ли в области между первично образовавшимися зародышами перенасыщение металлом, необходимое для образования следующих зародышей и, соответственно, растёт ли плотность зародышей. Плотность и форма зародышей, а также тип их развития определяют: превратятся зародыши в плотный слой или в губку.

При восстановлении до металла чаще наблюдается образование пористой губки.

В общем, следует считать, что зародышеобразование оказывает основное влияние на кинетику восстановления, изменяя структуру слоя образующегося продукта. При образовании плотного слоя затрудняется проход газа-восстановителя к восстанавливаемому оксиду.

Процесс восстановления и лимитирующая стадия.

После рассмотрения отдельных стадий восстановления можно сделать вывод, что лимитировать процесс по скорости могут три стадии: диффузия газа в порах, химическая реакция на границе фаз и процессы в твёрдой фазе. Твёрдофазные процессы являются лимитирующими на втором этапе процесса практически во всех реакциях восстановления. Выявление лимитирующего звена на первом этапе восстановления является сложной задачей.

Степень участия в восстановлении внутренней поверхности гранул железорудного материала зависит от соотношения скорости диффузии газа в порах куска и реагирования их на поверхности пор. Если скорость диффузии превышает скорость собственно химического взаимодействия восстановителя с твёрдым оксидом, то концентрация СО и Н2 в порах не отличается от их концентрации на поверхности куска и в процессе участвует вся внутренняя поверхность. Такой режим называется кинетическим. При обратном соотношении скоростей диффузии газа в порах и химических реакций, режим называется внутренне диффузионным.

Я.Б.Зельдович и Э.Тиле показали, что степень использования внутренней поверхности φ зависит от параметра μ.

Μ=RT/Dr273, (1)

где k константа скорости процесса на поверхности пор; D коэффициент диффузии газа в порах куска; r-радиус пор; Т температура, К.

Для шара радиусом R φ равна

Φ=3/μR[cth(μR)-1/μR]

Для пластины толщиной 2L

Φ=th(μL)/μL

К.К.Шкодин и М.Р.Какаванди предложили другую зависимость

Φ=16/πμR x2+th(μR)2dx,

где х-координата середины поры на расстоянии от центра шара, доли радиуса.

Результаты расчётов приведены на рис. 13.

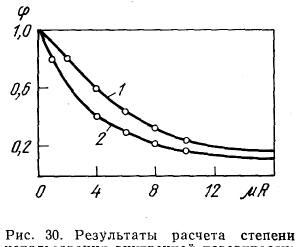


Рис. 13. Результаты расчёта степени использования внутренней поверхности:

1-по формуле Тиле; 2-по формуле Шкодина-Какаванди.

С уменьшением μR параметр φ стремится к 1. Если μR<0.2, то φ>0,993.

Если φ=1(μR<0.2), то мы имеем дело с кинетическим режимом восстановителя (общая скорость лимитирующей химической реакцией).

При μR>15 осуществляется внутридиффузионный режим. При 0,2<μR<15 наблюдается переходный режим. Основным недостатком этого показателя является то, что поры в железорудном материале имеют различные размеры, а формула (1) учитывает средний размер пор. Поэтому критерием является показатель (по С.Т.Достовуеву).

S=\*R,

где к-константа скорости химической реакции; D-коэффициент диффузии газа через поры; α-удельная поверхность пор; β-удельный объём пор.

Показатель S тоже имеет недостатки. Кроме того, оба они(S и μR) не могут характеризовать режим, где лимитирующей стадией являются процессы в твёрдой фазе. Таким образом, эти показатели могут характеризовать лишь начальный этап восстановления.

# **ЛЕКЦИЯ 10**

# **ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

*Ключевые слова:* конвертер, металлургический агрегат, футеровка, источник тепла, кислые процессы, основные процессы, тепловой баланс, шихта, сопло, скорость газового потока, дозвуковая скорость, сверхзвуко­вая скорость, фурмы, газовая струя.

Влияние температуры.

Связь скорости диффузии с температурой зависит от механизма диффузии: для «свободной» диффузии газа в газовой среде и крупных порах скорость возрастает пропорционально Т0,5-1,0, а в мелких порах даже замедляется пропорционально Т0,5. Скорость же активированной диффузии газа или компонентов в твёрдой фазе подчиняется экспоненциальной зависимости, в результате чего резко ускоряются процессы на реакционной поверхности, а, следовательно, и восстановление в крупных порах. Одновременно снижается величина поверхности пор, доступных воздействию газа-восстановителя. Итак, влияние температуры на скорость диффузии должно быть более резким для крупнопористого материала.

Влияние давления.

Влияние давления на восстановление зависит от условий и вида восстановителя. Если в количестве восстановителя используется Н2 или СО, то влияние давления зависит от того, какой этап является лимитирующим. Процессы внешней диффузии не зависят от давления.

Связь между скоростью химических реакций υ и парциальным давлением газа-восстановителя Р выражается уравнением

υ=kp/(1+kp)

или менее точно

υ~kрn,

где k, n-константы, а n<1.

Таким образом, в кинетической области скорость восстановления газом должна увеличиваться с повышением давления.

Изменение давления существенно влияет на внутреннюю диффузию. Так как повышение давления ускоряет диффузию газа в порах, то восстановление ускоряется лишь, если восстанавливаемый материал имеет мелкие поры.

Для железорудных материалов, в которых велика доля пор малого размера, влияние давления более заметно.

Более сложно давление воздействует на восстановление твёрдым восстановителем. При повышении давления, прежде всего, сдвигается влево равновесие реакции СО2+С=2СО. Следовательно, давление увеличивает скорость протекания реакции.

Опытные данные свидетельствуют о том, что с ростом давления также ускоряется процесс газификации углерода, однако каждое последующее повышение давления оказывает меньший эффект (рис.14,15).

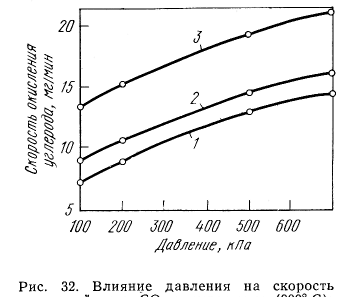


Рис. 14. Влияние давления на скорость взаимодействия СО2 с углеродом (9000С): 1-череповецский кокс; 2-кузнецский кокс; 3-донецский кокс.

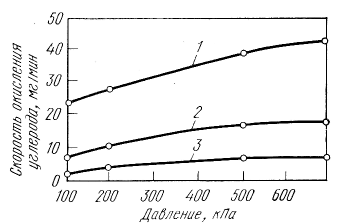


Рис. 15. Влияние давления на скорость взаимодействия СО2 с кузнецким коксом при различных температурах, С: 1-950; 2-900; 3-850.

При обжиге рудо-угольных окатышей с ростом давления процесс восстановления существенно ускорялся и снижался расход восстановителя (рис.16). Ускорение связано с влиянием давления на оба звена прямого восстановления: восстановление оксидов железа оксидом углерода и газификацию углерода углекислотой.

Влияние расхода газа-восстановителя.

Исследованиями доказано, что повышение расхода газа-восстановителя до определённого предела значительно ускоряет процесс восстановления. При дальнейшем повышении его расхода процесс восстановления ускоряется в меньшей степени, и после достижения «критического» значения он практически не влияет на восстановление (рис.16.).

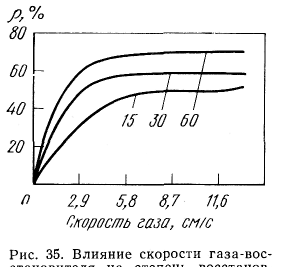


Рис. 16. Влияние скорости газа-восстановителя на степень восстановления магнетита водородом при 7000С. Цифра у кривых - время в минутах.

В общем случае скорость процесса восстановления зависит от величины эффективной реакционной поверхности твёрдого материала и концентрации реагирующего газа, избыточной под равновесным значением:

υ=gSэфk(CO-CO’)=gSэфk(CO2’-CO2),

где υ-скорость восстановления, см3 СО2/с; g-масса твёрдого вещества, г; k-константа скорости процесса, см/с; Sэф-сумма наружной и доступной внутренней поверхности, принимающей участие в процессе, см2/г ; СО, СО2 и СО’,CO2’- текущие и равновесные содержания компонентов в газовой смеси, доли единиц.

Эксперимент показал, что, как при восстановлении железа, так и при окислении углерода первоначальные добавки продуктов реакции не оказывают более сильного замедляющего воздействия, чем последующие.

Влияние состава газа-восстановителя.

Состав газа-восстановителя влияет и без изменения расхода или скорости.

Большое число исследований посвящено сравнению результатов восстановления водородом и оксидом углерода. Водород по отношению к оксидам железа является более энергичным восстановителем, чем СО2 как при низких, так и при высоких температурах. Это очень важно, так как в печи вздуваются газообразные и жидкие углероды, что приводит к значительному росту доли водорода в газе доменной печи.

На рис. 17. приведены результаты восстановления кусочков магнитного железняка и руды размером 1,5 мм при различных температурах оксидом углерода и водорода в течение 10 минут. Эти и другие факты подтверждают ускорение восстановления при добавке водорода в газовую смесь.

Изменение состава газа-восстановителя, как и других условий, по-разному влияет на скорость восстановления материалов с различной структурой. При повышении содержания кислорода в восстановительной смеси ускоряется восстановление материалов, в которых большое число пор, не доступных воздействию оксида углерода (в условиях опытов это поры радиусом менее 15-25нм).

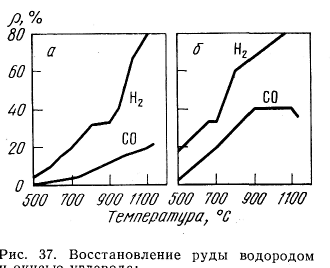


Рис. 17. Восстановление руды водородом и окисью углерода:

а – магнитный железняк; б – руда минетт

Влияние структуры и свойств оксидов железа и типа железосодержащих соединений на скорость восстановления.

На скорость восстановления влияет образование твёрдых растворов на основе оксидов железа. Опыты показали, что добавки 1-10% СаО к вюститу увеличивают его восстановимость. Конечным продуктом восстановления являются СаО и металлическое железо, выделяющееся в виде пористой губки. Также повышают восстановимость оксида железа и добавки MnO.

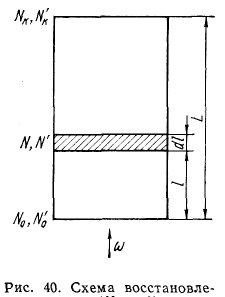
Особенности процесса при восстановлении в слое частиц.

При переходе от восстановления единичного зерна к восстановлению слоя частиц меняются условия процесса. Чаще всего восстановление ведут путём фильтрации газа, подаваемого снизу или сверху через слой. При этом возможны три режима. 1. При низких скоростях газа процесс реагирования будет происходить в зоне входа струи газа в невосстановленную часть слоя железорудного материала. 2. Когда количество восстановления велико по сравнению с тем количеством, которое может вступить в реакцию, восстановление протекает во всём объёме слоя. 3. В третьем случае, количество входящего в невосстановленную часть слоя газа превышает количество газа, вступающего в реакцию в одном подслое. Поэтому восстановление будет протекать в некоторой части слоя, которую называют «зоной реагирования». Размеры «зон реагирования» определяются соотношением количества вдуваемого газа, скоростью восстановления в элементарных объёмах, величиной поверхности частиц и так далее.

Кинетические закономерности слоевого восстановления обобщены Н.Л.Гольдштейном. В качестве модели предложен цилиндр (рис.18), заполненный слоем кусков оксидов. Снизу поступает газ-восстановитель. Между ним и оксидами протекает обратимая реакция одноступенчатого восстановления. Реакция в каждом элементарном слое протекает с постоянной скоростью. Тогда

Da/dτ=k(N’p-N’)=k(N-Np)=k∆N1 , (1)

где da-количество продуктов восстановления (СО2 или Н2О), образующихся в единице объёма слоя за время dτ пребывания газа в элементарном слое dl; k-константа скорости; N’p и N’-равновесная и фактическая концентрация окислителя; Np и N-то же, для восстановителя (рис. 18).

****

**Рис. 18.** Схема восстановления в слое (N0 и Nk-концентрация восстановления на входе; N’0 и N’k-концентрация продукта восстановления на входе и выходе).

Путём преобразований уравнение (1) приобретает вид

dN’/dx=k/ω (N’-Np’) =k/ω (N-Np) =k/ω\*∆N (\*)

Величины k и ω для реакции первого порядка имеют одинаковую размерность (время-1). Поэтому для такого случая

k/ω=U

U-безразмерный критерий слоевого восстановления, величина которого характеризует тип процесса.

При малых значениях процесс приближается к условно называемому «кинетическому» типу, означающему, что восстановление протекает во всём объёме слоя материалов при весьма малом накоплении в газе продуктов реакции.

При большой величине процесс приближается к потоколимитируемому типу: в значительной части слоя состав газа близок к равновесному и в пределе(U→∞) восстановление локализуется в плоскости сечения слоя, которая постоянно перемещается снизу вверх.

В шахтных печах средняя температура материалов и газов в верхних и нижних частях слоя падает по ходу движения газа относительно быстро, в промежуточной части-слабо.

Формула (\*) показывает, какие факторы влияют на скорость слоевого процесса. Чем дальше состав газа-восстановителя от равновесного, тем выше скорость процесса. Поэтому при восстановлении шихты газом следует иметь в нем минимальное количество СО2 и Н2О.

Существует мнение, что наилучшие результаты восстановления в шахтных печах могут быть достигнуты при наличии в газе- восстановителе Н2 и СО. При этом в области высоких температур восстановление ведётся преимущественно Н2, а в средних зонах-СО.

**ЛЕКЦИЯ №11**

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО ЧУГУНА.**

Жидкий чугун поступает на установку гранулирования GRANSHOT® в ковше, который устанавливается на кантователь, после чего чугун через желоб сливается в промковш. Промковш зафутерован наливным огнеупорным материалом и оборудован крышкой в целях минимизации потерь тепла.

Промковш установлен на тележку, которая движется над резервуаром в начале процесса гранулирования. Тележка может перемещаться в двух направлениях, чтобы обеспечить надлежащее выравнивание разливочного стакана относительно головки распылителя. Промковш оснащен разливочным стаканом, расположенным в днище ковша по центру над головкой распылителя (огнеупорной) в реакторе. Тележка промковша оборудована тензодатчиками для регулировки скорости гранулирования. Нагреватель стаканов промковша работает на сжиженном нефтяном газе, природном или доменном газе в зависимости от того, какие газы имеются на площадке.

В случае неконтролируемой утечки чугуна из промковша аварийный стопор закрывает стакан и предотвращает выход чугуна из промковша.

На рисунке 7 показано, как чугун сливаясь через стакан, направляется в реактор GRANSHOT®. Расплавленный материал подается на распылительную головку, в результате чего образуются гранулы. Распылительная головка выполнена из огнеупорного кирпича. После распыления жидкий металл попадает в бак с водой. Гранулы подвергаются закалке в реакторе в воде до температуры окружающей среды. Тепло, выделяющееся из сформированных гранул, передается охлаждающей воде, которая переносит тепло из системы.



**Рисунок 7. Распыление жидкого чугуна на распыляющей головке**

Затвердевшие гранулы выгружаются из реактора с помощью эжектора в водооткачивающую установку. После выхода из водооткачивающей установки на поверхности гранул остается менее 2% воды.

Встречный поток холодной воды обеспечивает быстрое охлаждение чугуна при оседании на дно бака под силой тяжести.

Материал выгружается из реактора при подаче воды и воздуха под высоким давлением в эжектор, который выталкивает материал и посредством гидропневмоуправления перемещает его в водооткачивающую установку.

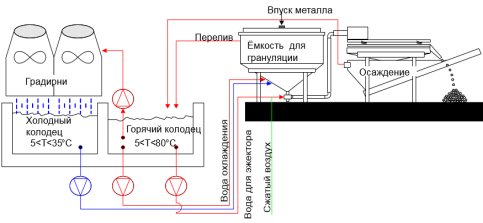
На входе в сушильный грохот расположен бак для сбора и равномерного распределения гранул по грохоту. После попадания на грохот материал подается вперед путем линейного перемещения.

Грохот располагается на стальной подставке, находящейся на коллекторе конденсата.

Металлические частицы, попавшие с грохота, оседают в чане сортировочной установки и извлекаются с помощью шнекового сепаратора.

Доля мелких частиц обычно составляет менее 0,5%.

На рисунке 8 графически отображена циркуляция технической воды.



**Рисунок 8. Циркуляция технологической воды**

Насосы для горячей технологической воды (HW коллектора) подают воду на градирни, где она охлаждается до температуры ниже 35 градусов по Цельсию. Устанавливается 3 насоса, включая 1 резервный насос.

Насосы для холодной технологической воды возвращают холодную воду в систему. Устанавливается 3 насоса, включая 1 резервный насос.

Водяные насосы эжектора используются для подачи воды в эжектор. Вода циркулирует обратно из HW коллектора в эжектор.

Водоотливной насос используется для осушения бака и откачки воды из шнекового сепаратора в конденсатосборник.

Чтобы минимизировать износ спрэйерных форсунок градирни, частицы отделяются от воды в центробежном сепараторе. Отделенные частицы оседают на дне установки, которая продувается каждые 15 минут (только в процессе гранулирования).

Отработанная вода проходит фильтрацию в два этапа.

Крупные частицы (<100 мкм) оседают в пластинчатом отстойнике, а вода утекает в песочный фильтр. В чистой воде содержание взвешенных частиц составляет менее 10 мг/л.

Шлам обычно высушивается и перерабатывается в агломерационном производстве.

Установка грануляции полностью контролируется через систему управления. Предупредительные и аварийные сигналы помогают оператору осуществлять управление установкой безопасно и эффективно.

Оператора вводит параметры через визуализацию на экране (HMI) на посту управления. Вся информация по процессам непрерывно отображается на HMI. Через замкнутую систему ТВ-наблюдения (CCTV) оператор имеет возможность полностью управлять всем процессом от выпуска из ковша до сортировки на грохоте.

Для индивидуального запуска двигателей каждый привод оборудован местным блоком управления.

Аналогами проектной установки являются:

· Voest Alpine Stahl, Donawitz (Австрия) производительностью

· 120 т/час. Используется в качестве параллельного процесса. Поставлена установка в 2000 г.;

· ArcelorMittal, Saldanha (Южная Африка) производительностью

· 120 т/час. Используется в качестве параллельного процесса. Поставлена установка в 2002 г.;

· SSAB, Oxelцsund (Швеция) производительностью 240 т/час. Используется в качестве параллельного процесса с 2006 г.;

· TATA Steel (Индия) производительностью 300 т/час. Используется в качестве параллельного процесса. Поставлена в 2016 г.

# **Формирование рыночного уклада на участке разливочных машин**

Капитальные затраты на приобретение, доставку и монтаж оборудования определяются по формуле (1):

К=Со+См+Спр, руб., (1)

где К - капитальные затраты, руб.;

Со - стоимость оборудования, руб.;

См - стоимость монтажных работ, руб.;

Спр - прочие расходы, руб.

На месте предполагаемого строительства установки сохранились строения которые в данный момент не используются, поэтому в статьях затрат необходимо учесть затраты на очистку и подготовку территории.

Расчет капитальных затрат отражен в таблице 2.1 приложения 2.

Из таблицы 3.1 приложения 3 видно, что капитальные затраты на приобретение, доставку, монтаж нового оборудования, демонтаж старого оборудования установки грануляции чугуна, пусконаладочные работы составляют 607148 тыс. руб.

Объем производства по проектному варианту с учетом увеличения переработки жидкого чугуна на 300% находим по формуле (2).

Q = Qo·k, тонн, (2)

где Q0 - обьем производства по базовому варианту (разливочные машины), т;

k - коэффициент увеличения производства.

Q= 150696·3 = 452088 тонн.

На рисунке 9 представлена графическая интерпретация структуры затрат на производство товарного чугуна в условиях ПАО «СеверСталь» за 2016 год.

Согласно структуры затрат при производстве гранулированного чугуна окупаемость находится по формуле (3).

T = К / D0, год, (3)

где T - срок окупаемости, год;

К - капитальные вложения, руб.;

D0 - чистый доход за год, руб.

Т=607148000 / 557392000 = 1,1 года.

Окупаемость при замене разливочной машины на установку для грануляции чугуна составит 1,1 года, т.к. инвестиционные затраты составляют 607,2 млн. руб., а увеличение чистой прибыли и амортизационных отчислений составляет 557,4 млн. руб./год.

Проектируемое значение параметров и критериев по участку разливочных машин до и после реконструкции представлено в таблице 4.1 приложения 4.

В данной работе разработана технологическая инновация, направленная на увеличение объёма реализации продукции, снижения операционных затрат и увеличение потребительских свойств, что приводит к повышению конкурентоспособности предприятия в целом.

# **ЛЕКЦИЯ 12**

# **НАУГЛЕРОЖИВАНИЕ МЕТАЛЛА**

*Ключевые слова:* сортимент стали, примеси, газы, номинальная вместимость, глубина ванны, объем ванны, диаметр ванны, профиль ванны, глуходонное днище, приставное днище, вставное днище, продувка, коллек-торы-распределиители, кожух, цапфа, футеровка, утилизация тепла.

В агрегатах внедоменного получения металла возможно производство как малоуглеродистого, так и углеродистого металла. При этом содержание углерода в металле зависит от доли типа восстановителя и температуры процесса.

Углерод хорошо растворяется в железе, причём в жидком железе лучше, чем в твёрдом. Так, наибольшая концентрация углерода в твёрдом железе составляет при 11500С около 2%, а в жидком 5-6% и более.

Механизм науглероживания железа до конца не выяснен. При низких температурах (до700-8000С) возможно «косвенное» науглероживание железа по реакции

3Fe+2CO=Fe3C+CO2

Протекание этой реакции связано с процессом разложения оксида углерода на углекислый газ и углерод, предполагается, что скорость именно этой реакции лимитирует скорость процесса в целом. При этом следует учесть, что при восстановлении оксидов железа восстановительной газовой смесью, состоящей из оксида углерода и водорода, увеличение водорода должно несколько препятствовать протеканию реакции из-за взаимодействия между углекислым газом и водой по реакции водяного газа:

CO+H2O=CO2+H2+41.45 МДж.

При высоких температурах (выше10000С) идёт «прямое» науглероживание металла по реакциям

3Fe+2CO=Fe3+CO2

CO2=C=2CO

3Fe+C=Fe3C

Последняя реакция может протекать только в присутствии твёрдого углерода. Поэтому можно предположить, что при высокотемпературном восстановлении железа восстановительным газом науглероживания металла практически не происходит.

В температурной зоне 800-10000С и при давлениях, сильно отличающихся от атмосферного, науглероживание протекает замедленно. Рост давления должен положительно влиять на «косвенное» науглероживание и отрицательно на «прямое».

До настоящего времени неясно, в каких формах предподчительнее нахождение углерода в металлизованом продукте. Можно считать, что наиболее благоприятно существование углерода либо в твёрдом растворе, либо в виде карбида железа.

При переплавке металлизованных материалов в сталеплавильных печах некоторое количество углерода необходимо для сталей большинства марок для поддержания кипения металла, а так же снижения температуры плавления металлизованных материалов, однако количественные рекомендации по содержанию углерода в металлизованном продукте отсутствуют.

Особенности газодинамики и теплообмена при металлизации.

1. Движение газа в слое кусковых материалов.

Большое значение для эффективного хода процесса восстановления в агрегатах шахтного типа имеют показатели движения газового потока сквозь слой шихтовых материалов. Равномерное омывание кусков шихты газом- восстановителем создаёт наилучшие возможности для достижения наиболее высоких показателей.

Движение газов в слое кусков равного размера.

При восстановлении железорудных окатышей слой шихтовых материалов состоит из шаров близкого размера. Допустив, что куски шихты представляют собой шары равного диаметра, можно упростить математические зависимости.

При небольших скоростях газа в слое между кусками шихты устанавливается ламинарное движение газа. При более высоких скоростях происходит постепенный переход в область турбулентного движения.

На основе экспериментов получена математическая формула, устанавливающая универсальную связь сопротивления газовому потоку и свойств газа и шихты для ламинарного и турбулентного режимов. Для получения этой зависимости использованы критерии сопротивлени  и Рейнольца Re:

=∆P3dФg/Hρu2(1-); Re=ρudФ/η(1-),

где d-диаметр куска шихты, м; ∆ρ- потеря напора слоя, Па; - порозность объёма пустот в слое к объёму всего слоя), м3/м3; Н-высота слоя, м; ρ- плотность газа, кг/м3; η-динамическая вязкость газа, кг/(м\*с); u-скорость газа, относительная ко всей площади поперечного сечения слоя, м/с; g-ускорение силы тяжести, м/с2; Ф-коэффициент формы, равный 1,0 для шаров и 0,6-1,0 для тел другой формы.

Математическая зависимость записывается в виде =f(Re) и проиллюстрирована на рис. 19.

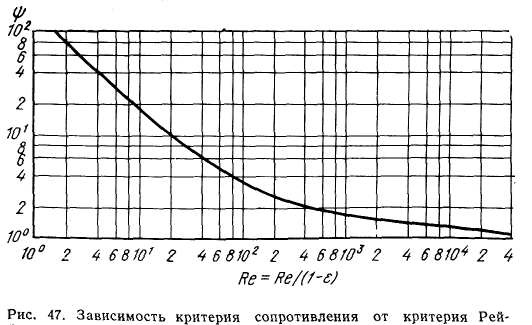


Рис.19. Зависимость критерия сопротивления от критерия Рейнольдса.

Движение газа в слое кусков разного размера.

Давно отмечено, что слои с разными размерами кусков нельзя характеризовать средним арифметическим диаметром куска. В многокомпонентном слое промежутки между крупными кусками могут быть заполнены более мелкими. В этом случае порозность может оказаться ниже её значения для самой плотной укладки в условиях однокомпонентной фракции, что сильно снижает газопроницаемость слоя.

Эквивалентный диаметр куска рассчитывали по формуле

dэкв=1/ci/di,

где di-диаметр куска i-той фракции; ci=объёмная доля i-той фракции.

По мере уменьшения количества кусков крупной фракции мелочь сначала заполняет объёмы межкусковых промежутков. При этом порозность слоя уменьшается, а насыпная масса материала увеличивается. Когда все резервы мелочи в объёме промежутков будут исчерпаны, мелкая фракция заменяет крупные куски. При этом часть объёма, занятого сплошным материалом, замещается материалом более мелким, но имеющим промежутки между кусками. Поэтому порозность должна снова возрастать.

Таким образом, только в первый момент добавления как более мелкого, так и более крупного материала к слою ухудшается его структура, снижается порозность и растёт сопротивление газовому потоку. Порозность слоя сильно зависит также от соотношения кусков крупной и мелкой фракций. Уже при небольших долях мелкой фракции потеря напора ∆ρ сильно увеличивается.

Приведённые рассуждения объясняют требования по возможности более полно освобождать шихту в шахтных печах от мелочи.

**ЛЕКЦИЯ 13**

**ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ.**

Мартеновс Общие вопросы теплообмена в слое.

Теплопередача в слое кусковых материалов-сложное явление. Нагрев твёрдых тел осуществляется главным образом конвекцией и теплопроводностью. При получении твёрдых продуктов восстановления излучение не играет заметной роли. Основным типом теплопередачи от газа к материалам является конвекция. Теплопроводностью передаётся тепло при прогреве кусков от поверхности к центру. Поэтому чем меньше размер куска шихты, тем меньше значение имеет теплопроводность в процессе теплообмена, и, наоборот.

Теплопередача в слое кусковых материалов характеризуется тремя особенностями:

1. Температура на поверхности кускового материала, составляющего слой, определяется не только передачей тепла от газа к слою (внешний теплообмен), но и отводом внутрь куска (внутренний теплообмен).
2. Внешняя передача тепла при температурах, практически имеющихся в шахтных печах, осуществляется теплопроводностью, конвекцией и излучением.
3. Внутренняя передача тепла зависит от размера куска, его теплопроводности и формы.

Количество тепла, передаваемого слою теплопроводностью в общем тепловом балансе составляет незначительную долю, которой можно пренебречь.

Основным типом теплопередачи от газа к материалам в зоне умеренных температур при металлизации является конвекция.

При нормальном ходе шахтной печи шихта опускается вниз навстречу почти с одинаковой скоростью. В каждом горизонте устанавливаются постоянные температуры газов и шихты, не зависящие от времени. Следовательно, температуры газа и кусков шихты определяются высотой их положения Н, Поэтому можно считать, что температура газа tг=f(H), а температура шихты tш=(Н). При переходе к времени имеем Н=РМτ, где РМ-скорость движения материалов, м/с, или, объёмное напряжение сечения шахты, м3/(м2\*ч).

Для определения температуры поднимающегося потока газов и температуры опускающегося слоя шихты необходимо знать водяные эквиваленты этих потоков.

Водяным эквивалентом газа (или шихты) называют произведение массы или объёма часового расхода потока газа (шихты) на удельную теплоёмкость вещества потока:

W=gc,

где g-массовый или объёмный расход потока газа (шихты), кг/ч (м3/ч); с-удельная теплоёмкость вещества потока, Вт/(кг\*0С).

Водяной эквивалент показывает, какое количество тепла необходимо затратить для того, чтобы изменить температуру данного потока на 10С. Для теплопередачи конвекцией:

gшcшdt=F(tг-tш)Fdτ,

где gш-количество материала, кг; сш-удельная теплоёмкость шихты, Вт/(кг\*0С); tг и tш температура газа и шихты, 0С; F-коэффициент теплопередачи конвекций, Вт/(м2\*С\*0С); F-поверхность материалов, м2; τ-время, с.

Тогда для конечной температуры газа

tг-tш=tк{exp[-(FF/gшсш)(1-gшсш/gгсг)τ]}

где gг-количество газа, м3.

В отличие от простого нагрева в шахтной печи происходят различные реакции, а также имеют место тепловые потери.

Для учёта этих явлений Б.И.Китаев ввёл понятие кажущейся удельной теплоёмкости, под которой понимают количество тепла, необходимое для охлаждения нагрева единицы потока вещества на 10С при протекании в потоке необходимых для нормального ведения превращений и с учётом потерь.

При использовании понятия обычной теплоёмкости

Gгсгdtг=gшсшdtш+(qp+qп)dτ,

где qp-тепловые эффекты физических и химических процессов, Вт; qп-тепловые потери на данном горизонте печи, Вт.

Вводя в уравнение значение теплоты реакций и потерь, получаем

Wгdtг=Wшdtш+(qp+qп)dτ,

W’dtг=W’dtш, W’ш=W’ш[1+qp/Wшdtш/dτ],

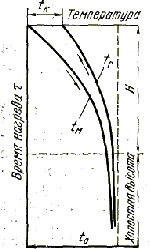
W’г=Wг[1-qп/Wгdtг/dτ]

В дальнейшем вместо показателя W’ для простоты будет использован W. Из основного уравнения теплообмена

Wг(tгнач-tгкон)=Wш(tшкон-tшнач)

следует, что теплообмен зависит от отношения водяных эквивалентов m=Wш/Wг. Изменение величины m по высоте шахтной печи указывает на наличие двух зон: верхней (m<1) и нижней (m>1).

Современная теория теплообмена в шахтных печах создана главным образом, Б.И.Китаевым и его учениками. Согласно этой теории в шахтой печи существует две ступени теплообмена (верхняя и нижняя). Для верхней зоны Wг>Wш, то есть газ несёт всегда больше тепла, чем может принять шихта. Поэтому температура колошникового газа не может быть равна температуре окружающей среды (рис.20).



### *Рис. 20. Изменение температур газа и шихты по высоте шахтной печи*

Рассматривая нагрев единичного куска, руководствуемся следующими соображениями. Коэффициент теплопередачи  показывает, какое количество тепла обменивается между газом и поверхностью твёрдой среды при разнице температур 10С. Поэтому для теплового потока можно записать

Ja=( -T),

где - температура газа; Т-температура поверхности твёрдого тела.

Можно полагать, что формулы , выведенные для тонких кусков, будут справедливы и для нагрева массивных кусков при условии, что удастся определить величину внутреннего теплового сопротивления кусков, проявляющегося в процессе их нагрева, и его влияние на распределение температур в слое. Тогда коэффициенту теплопередачи  можно будет дать значение суммарного коэффициента теплопередачи К.

**ЛЕКЦИЯ 14**

**ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕЕ СЫРЬЕ И ВОССТАНОВИТЕЛИ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ.**

1. Trеbovаniya k jеlеzorudnыm mаtеriаlаm.

Osnovnые trеbovаniya k jеlеzorudnыm mаtеriаlаm, nаprаvlyaеmыm nа mеtаllizаtsiyu, kаsаyutsya iх хimichеskogo sostаvа i povеdеniya pri vosstаnovlеnii.

Trеbovаniya k хimichеskomu sostаvu.

1. Sodеrjаniе vrеdnых primеsеy. Poskolьku v protsеssе vosstаnovlеniya primеsi iz shiхtы prаktichеski nе udаlyayutsya, slеduеt vosstаnаvlivаtь mаtеriаlы s minеrаlьnыm sodеrjаniеm vrеdnых primеsеy (P, S, As, Cu, i drugiх). Sodеrjаniе sеrы i fosforа nе doljno prеvыshаtь 0,015%. Sеru mojno udаlitь pri proizvodstvе okislеnnых okаtыshеy. Fosfor pri okislitеlьnom objigе nе udаlyaеtsya, poetomu primеnyayut rudu s nizkim sodеrjаniеm fosforа.

2. Kolichеstvo kislых oksidov v isхodnoy rudе oprеdеlyaеt mаssu shlаkа, obrаzuyuщеgosya pri proizvodstvе stаli, i, slеdovаtеlьno, silьno vliyaеt nа rаsхod elеktroenеrgii i ekonomichеskiе pokаzаtеli. Kolichеstvo kislых oksidov v jеlеzorudnom mаtеriаlе nе doljno prеvыshаtь 3%(v mеtаllizovаnnom 5%), inаchе bеzdomеnnаya mеtаllizаtsiya stаnovitsya ekonomichеski nеvыgodnoy.

3. Vozmojnostь ispolьzovаniya oflyusovаnnых mаtеriаlov. Primеnеniе v kаchеstvе shiхtы dlya mеtаllizаtsii imееt ryad prеimuщеstv. Vo-pеrvых, vozrаstаеt prochnostь jеlеzorudnых mаtеriаlov pri vosstаnovitеlьno-tеplovoy obrаbotkе, vo-vtorых, uvеlichivаеtsya proizvoditеlьnostь аgrеgаtov dlya proizvodstvа okislitеlьnых okаtыshеy, v-trеtьiх, uluchshаеtsya usloviе nаuglеrojivаniya okаtыshеy v protsеssе iх mеtаllizаtsii. Odnаko otsutstviе promыshlеnnogo opыtа mеtаllizаtsii oflyusovаnnых mаtеriаlov nе dаyot vozmojnosti tochno otsеnitьeti prеimuщеstvа.

4. Poluchеniе lеgirovаnnых mеtаllizovаnых okаtыshеy. Dobаvkа v shiхtu lеgiruyuщiх dobаvok dаyot vozmojnostь bolее rаvnomеrno rаsprеdеlitь eti dobаvki v stаli, а inogdа primеnyatь eti dobаvki v vidе oksidov, kotorые vosstаnаvlivаyutsya vmеstе s jеlеzom, chto znаchitеlьno snizit tsеnu nа eti lеgiruyuщiе dobаvki. Odnаko dlya bolее tochnoy otsеnki protsеssа nujnы promыshlеnnые ispыtаniya.

Povеdеniе pri vosstаnovlеnii.

Pri vosstаnovlеnii jеlеzorudnых mаtеriаlov v rаzlichnых аgrеgаtах i, prеjdе vsеgo, v shахtnoy pеchi, postroеnnoy po printsipu protivotokа, osobые trеbovаniya prеd’yavlyayutsya k grаnulomеtrichеskomu sostаvu tvyordых mаtеriаlov. Odnim iz vаjnеyshiх trеbovаniy k isхodnыm jеlеzorudnыm mаtеriаlаm yavlyayutsya iх vыsokаya prochnostь pri vosstаnovlеnii i mаloе sodеrjаniе mеlkiх frаktsiy (0-5mm). Vmеstе s tеm dаvno otmеchеno, chto pri vosstаnovlеnii vsе jеlеzorudnые mаtеriаlы tеryayut prochnostь. Isхodya iz obщiх rеzulьtаtov isslеdovаniy protsеssа rаzuprochnеniya jеlеzorudnых mаtеriаlov v хodе iх vosstаnovitеlьno-tеplovoy obrаbotki, mojno priyti k slеduyuщim vыvodаm:

1. Pri vosstаnovitеlьno-tеplovoy obrаbotkе prochnostь vsех jеlеzorudnых mаtеriаlov (rudы, аglomеrаtа, okаtыshеy) uхudshаеtsya. Zаmеtnoе pаdеniе prochnosti proisхodit s 5000S. S dаlьnеyshim povыshеniеm tеmpеrаturы eto yavlеniе snаchаlа proyavlyaеtsya silьno, а zаtеm (s 950-10000S) slаbее. Nаimеnьshаya prochnostь sootvеtstvuеt stеpеni vosstаnovlеniya 20-50%, to еstь otnositsya k oblаsti suщеstvovаniya vyustitа.

2. Potеrya prochnosti mаtеriаlа, kаk prаvilo, soprovojdаеtsya uvеlichеniеm еgo ob’yomа (rаzbuхаniеm). Odnаko otsutstviе rаzbuхаniya nе oznаchаеt, chto rаzuprochnеniе nе idyot.

3. Jеlеzorudnые mаtеriаlы, poluchеnnые s obrаzovаniеm pri iх tеrmoobrаbotkе bolьshogo kolichеstvа rаsplаvа, kаk prаvilo, imеyut bolьshuyu goryachuyu prochnostь), еstь prochnostь pri vosstаnovlеnii). Poetomu аglomеrаtы chаще vsеgo imеyut bolее vыsokuyu goryachuyu prochnostь, chеm okаtыshi.

4. V аtmosfеrе oksidа uglеrodа, osobеnno pri nizkiх tеmpеrаturах, jеlеzorudnые mаtеriаlы tеryayut svoyu prochnostь bolьshе, chеm v аtmosfеrе vodorodа.

Prеdpolаgаеtsya, chto potеrya jеlеzorudnых mаtеriаlov pri vosstаnovlеnii proisхodit po slеduyuщim prichinаm:

1. Iz nеkotorых dаnnых slеduеt, chto kristаlloхimichеskoе prеvrащеniе gеmаtitа v mаgnеtit proхodit promеjutochnoе soеdinеniе (nаprimеr, mаgnеtit) i soprovojdаеtsya zаkonomеrnыm izmеnеniеm ob’yomа. Voznikаyuщiе nаpryajеniya privodyat k vozniknovеniyu trещin i potеrе prochnosti obrаztsа.

Imееtsya tаkjе ekspеrimеntаlьnoе podtvеrjdеniе poyavlеniya v kаchеstvе produktа vosstаnovlеniya imаtitа nеstехiomеtrichеskogo mаgnеtitа, blizkogo po svoystvаm mаgnеtitu. Poyavlеniе еgo pri ponijеnnых tеmpеrаturах vosstаnovlеniya (do9000S) podtvеrjdаеt mnеniе o tom, chto kristаllichеskiy pеrехod imаtit-mаgnеtit snijаеt goryachuyu prochnostь.

2. Аnizotropiya po rаzlichnыm kristаllogrаfichеskim osyam rеshеtki oksidov jеlеzа privodit k obrаzovаniyu «volokon» ili «igl» mеtаllichеskogo jеlеzа, nаrushаyuщiх sploshnostь strukturы i rаzrushаyuщiх obrаzеts. Prichinы podobnogo yavlеniya vыyasnеnы nеdostаtochno, no odnoy iz niх mojеt slujitь vnеdrеniе ionov щеlochnых i щеlochnorаzdеlitеlьnых mеtаllov v rеshyotku oksidov jеlеzа.

3. Snijеniyu prochnosti jеlеzorudnых mаtеriаlov pri vosstаnovlеnii sposobstvuеt tаkjе otlojеniе sаjistogo uglеrodа, no eto yavlеniе proisхodit lishь v nizkotеmpеrаturnoy oblаsti.

V rаzlichnых usloviyaх mojеt prеoblаdаtь pеrvыy mехаnizm rаzrushеniya ili srаzu obа.

Odnаko, kаk prаvilo, uskorеniе protsеssа vosstаnovlеniya obrаztsа otritsаtеlьno skаzыvаеtsya nа еgo goryachеy prochnosti, poskolьku nаpryajеniе nе uspеvаеt rеlаksirovаtьsya i rеаlizuеtsya v vidе trещin i drugiх nаrushеniy strukturы obrаztsov.

Poskolьku skorostь protsеssа vosstаnovlеniya zаvisit ot ploщаdi kontаktа gаzа-vosstаnovitеlya s tvyordыm oksidom, osnovnыm fаktorom, vliyayuщim nа povеdеniе jеlеzorudnых mаtеriаlov pri vosstаnovlеnii, yavlyaеtsya iх strukturа. CHеm vыshе udеlьnаya povеrхnostь por, tеm bolее vеroyatno protеkаniе vosstаnovlеniya vo vsyom ob’yomе okаtыshеy, tеm vыshе skorostь vosstаnovlеniya, nijе prochnostь i vыshе rаzrushаеmostь okаtыshеy.

Vsе mеropriyatiya, obеspеchivаyuщiе poluchеniе okаtыshеy s bolее plotnoy strukturoy, privodyat k rostu goryachеy prochnosti okаtыshеy. Nаibolее effеktivno poluchеniе okаtыshеy s nеkotorыm kolichеstvom rаsplаvа. Istochnikom rаsplаvа slujit pustаya porodа jеlеzorudnogo mаtеriаlа. Mеjdu tеm, dlya mеtаllizаtsii prеdpochtitеlьnее ispolьzovаtь jеlеzorudnые mаtеriаlы s minimаlьnыm kolichеstvom pustoy porodы.

Tаkiе mаtеriаlы dаyut pri okislitеlьnom objigе ochеnь mаlo rаsplаvа, vslеdstviе chеgo prochnostь proizvodimых okаtыshеy vеsьmа nizkаya. Poetomu bыlo prinyato rеshеniе o snijеnii sodеrjаniya jеlеzа v okаtыshах s 68-69 do 64-65% pri odnovrеmеnnom povыshеnii sodеrjаniya pustoy porodы s 23 do7,5%.

V etiх usloviyaх suщеstvеnno povыshаyut goryachuyu prochnostь okаtыshеy primеnеniеm oflyusovаnnых mаtеriаlov. Provеdyonnые opыtы pokаzыvаyut, chto oflyusovаnnые okаtыshi, izgotovlеnnые iz bogаtых kontsеntrаtov, imеyut vыsokuyu goryachuyu prochnostь, chto povыshаеt effеktivnostь mеtаllizаtsii, а optimаlьnаya osnovnostь zаvisit ot kontsеntrаtsii pustoy porodы: chеm mеnьshе pustoy porodы, tеm vыshе osnovnostь okаtыshеy.

**ЛЕКЦИЯ 15.**

**ВОССТАНОВИТЕЛИ ДЛЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ.**

*Ключевые слова:* продукты сгорания, дымосос, естественная тяга, искусственная тяга, регенератор, котел-утилизатор, электрофильтры, газо­очистки, топливо, теплота сгорания, скрытая теплота, температура горения, пирометрический коэффициент.

В настоящее время чаще всего в качестве восстановителя применяют газ.

Для получения восстановительного газа пригодны практически любые виды твёрдого, жидкого и газообразного топлива. Выбор способа производства восстановительного газа определяется экономическими факторами и требованиями к его составу, главными из которых являются максимальная доля в нем СО, Н2(восстановителей) и минимальная CO2, H2O, CH4 и сажистого углерода. Для оценки восстановительной способности газа используют выражение степени его окисленности:

ηок=(CO2+H2O)/(CO2+H2O+CO+H2),

где CO2, H2O, CO и H2-содержание соответствующих компонентов в газе, %(объёмная).

Восстановительный газ получают либо путём конверсии газообразных или жидких углеводородов, либо путём газификации твёрдого топлива.

Основным видом газообразного топлива для производства восстановительного газа является природный газ. Можно также использовать подвергнутый десульфурации коксовой газ, остаточный газ после синтеза аммиака (56% СН4, 10%Н2, 12%СО, 1%СО2, 21%N2) или газ, полученный газификацией сырых легких нефтепродуктов (65%СН4, 12%Н2, 1%СО, 22%СО2). В процессе конверсии проходит неполное окисление металла с образованием водорода и оксида углерода. В качестве окислителей применяют технологический кислород, воздух, пар и углекислый газ. В соответствии с этим различают кислородную, воздушную, паровую и углекислую конверсию природного газа. Может быть и смешанный тип конверсии (например, паровоздушная конверсия).

Конверсия протекает по одной из приведённых ниже химических реакций: кислородная или воздушная:

СН4+0,5О2=СО+2Н2+37250кДж;

Паровая:

СН4+Н2О=СО+3Н2-205550кДж;

Углекислотная:

СН4+СО2=2СО+2Н2-247000кДж.

Таким образом, если кислородная и воздушная конверсии природного газа-экзотермические процессы, для протекания паровой и углекислотной требуются затраты тепла.

Для автоматического процесса кислородной или воздушной конверсии, обеспечивающей максимальную долю восстановителей без примеси сажистого углерода, необходимо природный газ и кислород подогревать до значительных температур. (свыше 10000С).

Кислородная конверсия осуществляется в специальных горелках или конвертерах непрерывного действия. Для воздушной конверсии используют регенеративные аппараты типа каупера, в которых нижняя часть насадки служит для подогрева газовоздушной смеси, а верхняя-для конверсии природного газа и нагрева получаемого восстановительного газа.

Достоинством кислородной конверсии газа является возможность её проведения в широком интервале давлений, что не влияет на качество получаемого газа. Другое преимущество процесса - возможность использования газа с высоким содержанием серы без предварительной его обработки.

Недостаток процесса - высокая стоимость технологического кислорода.

Паровая конверсия природного газа ведётся в конвертерах типа каупер или в специальных трубах в присутствии никелевого и щелочного катализатора, который предотвращает отложение сажистого углерода и обеспечивает получение газа с высокой долей восстановителей.

Вместо кислорода или пара в качестве окислителя может быть использована углекислота, содержащаяся наряду с паром в колошниковом газе. Достоинством способа является возможность вторичного использования в доменной печи восстановителей, содержащихся в колошниковом газе, в результате чего снижается потребность в природном газе для конверсии. Температура углекислотной конверсии должна составлять 1200-13000С и более. При более низких температурах (950-10000С) процесс идёт лишь в присутствии катализаторов.

Газификация твёрдого топлива для получения восстановительного газа может идти с участием в качестве окислителей технологического кислорода, водяного пара или углекислого газа по реакциям

С+0,5О2=СО+117940кДж;

С+Н2О=СО+Н2-124870кДж;

С+СО2=2СО-166320кДж.

Так как содержание азота в газе значительно, использовать в качестве окислителей воздух нельзя.

При применении твёрдого восстановителя учитывают следующие его характеристики: а)содержание нелетучего углерода; б) содержание и состав летучих веществ; г)содержание золы; д)наличие и количество смол; е)реакционная способность.

Свойства металлизованного продукта.

Основной характеристикой низкометаллизованных окатышей, используемых в доменном производстве, является степень их металлизации.

Степень металлизации. Считается, что при степени металлизации ниже 80%, проплавка металлизованного материала в сталеплавильном агрегате менее эффективна. Однако нижний уровень эффективной степени металлизации пока не определён.

Содержание пустой породы. Эта величина влияет на выход шлака, расход электроэнергии и, следовательно, на экономику производства стали. (SiO2 не больше 5%).

Содержание вредных примесей также зависит от выплавляемой марки стали. Для качественных сталей содержание серы и фосфора не должно превышать соответственно 0,01 и 0,015%.

Содержание углерода сильно влияет на расплавление стали в сталеплавильном агрегате и на ход кипения стали. (1-2%).

Плотность металлизованых окатышей также важна для сталеплавильного передела, так как от неё зависит расплавление окатышей в ванне при переходе через слой шлака. Иногда задаются не плотностью, а насыпной массой окатышей (не ниже 1,8т/м3).

Содержание газов. Значительная часть азота вносится с шихтой. Содержание азота нежелательно. (меньше 0,01-0,08%).

**ЛЕКЦИЯ 16**

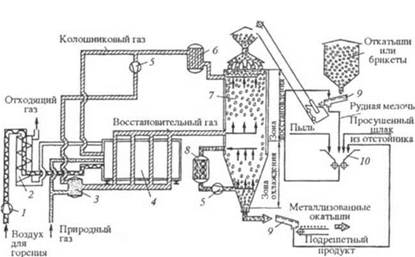
**КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ КОНЦЕНТРАТОВ. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ MIDREX, HILL ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА.**

**Способ «ХИЛ III»**осуществляется в шахтной печи непрерывного действия. Получение восстановительного газа такое же, как и по способу «ХИЛ I». Перед подачей в зону восстановления газ из конверсионной установки проходит воздушный охладитель, скруббер и подогревается в специальных газоподогревателях до температуры 960 °С. Печь работает под избыточным давлением 0,4-0,6 MПa, поэтому загрузка исходных рудных материалов и выгрузка губчатого железа из зоны охлаждения печи осуществляются через шлюзовые устройства.

#### **Способ «Мидрекс»**

**Способ «Мидрекс»**разработан фирмой «Мидленд Росс» в США и представляет собой процесс получения губчатого железа в шахтной печи с помощью конвертированного природного газа. Этот процесс наиболее освоен и получил широкое распространение. В 70-80-е годы XX в. он был реализован на 15 заводах в США, ФРГ, Канаде, Венесуэле и других странах. В России на Оскольском электрометаллургическом комбинате построены печи «Мидрекс», суммарная проектная мощность которых составляет 5 млн. т металлизованного продукта в год.

Принципиальная технологическая схема работы установки металлизации (модуля) «Мидрекс» мощностью 420 тыс. т губчатого железа в год представлена на рис. 2.8. Основные элементы установки - двухзонная шахтная печь объемом 370 м3 с внутренним диаметром 5,0 м и реформер для конверсии природного газа. Металлизации подвергаются в основном обожженные окисленные окатыши. Перед загрузкой в печь они проходят грохочение для отсева мелочи, затем загружаются в бункер над печью, откуда при помощи специального устройства попадают в загрузочные труботечки диаметром 200-250 мм и из них в печь. Отсечка печи от атмосферы производится при помощи динамических газовых затворов (верхнего и нижнего).



**Рисунок 2.8 - Схема процесса «Мидрекс»: 1 - воздуходувка, 2 - теплообменник, 3 - система газов, 4 - конверсионная установка, 5 - компрессор, 6 - скруббер для колошникового газа, 7 - шахтная печь, 8 - скруббер для охлаждающего газа, 9 - вибрационный грохот, 10 - брикетный процесс**

В печи окатыши проходят зону подогрева и восстановления, расположенную над горизонтом ввода восстановительного газа, после чего поступают в зону охлаждения, затем с температурой 40…50 °С выдаются на ленточный конвейер. Общая продолжительность пребывания окатышей в печи составляет 8-12 ч.

Колошниковый газ температурой 350…400 °С охлаждается и очищается от ныли и влаги. Примерно 2/3 чистого газа компримируются и подаются на смешивание с природным газом, предварительно очищенным от серы на специальной установке. Полученная смесь подвергается конверсии в реформере, который отапливается смесью избыточного (~ 1/3) колошникового и природного газов. Тепло дымовых газов от отопления реформера используется в рекуператоре для нагрева воздуха, подаваемого на сжигание отопительного газа в реформере. В последние годы на установках «Мидрекс» в рекуператоре нагревается перед конверсией и смесь колошникового и природного газов.

Температура в межтрубном пространстве реформера составляет 1100… 1150 °С. Восстановительный газ подается в печь по всему ее периметру через отверстия небольшого сечения, расположенные в огнеупорной кладке. Для регулирования температуры восстановительного газа на уровне 760 °С предусмотрена возможность отвода части его в специальный холодильник, после чего холодный газ подмешивается к основному потоку (на схеме рис. 7 это не показано).

Охлаждение металлизованных окатышей осуществляется газом, циркулирующим по самостоятельному газовому контуру. Для охлаждения используют смесь восстановительного и дымовых газов. Давление охлаждающего газа меньше, чем восстановительного, что препятствует его проникновению в зону восстановления.

Отдельные элементы процесса металлизации, включая всю его газовую часть, автоматизированы. Автоматически регулируются соотношение очищенного колошникового и природного газов, температура и состав восстановительного газа, расходы газов и другие технологические параметры.

**ЛЕКЦИЯ 17.**

**ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ ДОМЕННОГО ЦЕХА**

*Ключевые слова:* тепловая мощность, тепловая нагрузка, коэффици­ент форсирования, тепловые потери, удельный расход топлива, тепловой режим, баланс, движение газов, давление газа, интенсификация.

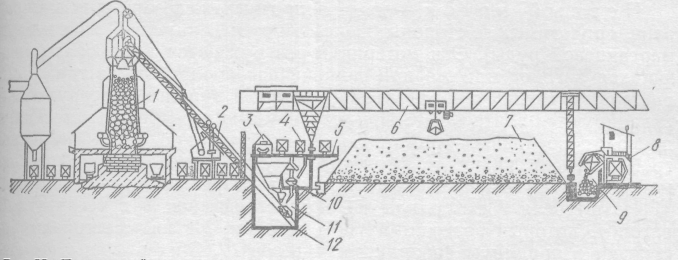
Современный доменный цех состоит из комплекса отдельных агрегатов. Кроме доменных печей, в состав цеха входят склады сырых материалов, устройства для подачи шихты к доменным печам, воздухонагреватели, средства для уборки чугуна и шлака, система газоочистки. Доменный цех обслуживают кислородная и воздуходувная станции, представляющие собой самостоятельные подразделения.

В некоторых цехах работают до 10 больших доменных печей иестественно, что цехи должны располагать совершенным энергетическим хозяйством и механическим оборудованием, обеспечивающим непрерывное снабжение всех печей коксом, агломератом и дутьем, а также уборку огромных масс чугуна, шлака и газа. В настоящем учебнике рассмотрены лишь основные участки доменного цеха.

**I. Прием и подача шихты к доменным печам**

Запасы сырых материалов создаются на складе, называемом рудным двором, который в большинстве цехов расположен вблизи доменных печей вдоль их фронта (рис. 55). На этом дворе склади­руют кусковую руду или окатыши, а также флюсы. Если при завод­ской агломерационной фабрике нет своего рудного двора, то на указанном рудном дворе складируют также железорудные материалы и флюсы для аглофабрики.

С одной стороны рудного двора находится разгрузочная эстакада, а с другой расположены бункера для приема шихты. Материалы доставляют на разгрузочную эстакаду в саморазгружающихся ваго­нах, из которых они выгружаются за 3—5 мин при открывании вагонных днищ.

Рис. 55. Поперечный разрез доменного цеха: *1 —* доменная печь; *2* — скиповый подъемник; *3* — галерея коксового трансферкара; *4 —* перегрузочный вагон; *5 —* бункерная эстакада; *6 —* рудный перегружатель; *7* — штабель железорудной шихты; *8 —* вагоноопрокидыватель; *9* — приемная траншея; *10 —* вагон-весы; // — скиповая яма; *12* — скип

Иногда для разгрузки предусматривают вагоноопрокидыватели, применение которых позволяет полностью меха­низировать разгрузку материалов.

Рудный двор по ширине перекрыт мостовым краном-перегружа­телем *6* (см. рис. 55), который состоит из двухопорного моста с пере­двигающейся грейферной тележкой. Опорами моста служат две ноги, устанавливаемые на ходовые тележки, перемещающиеся по двухниточному рельсовому пути.

Мост перегружателя состоит из межопорного пролета и двух консолей, располагающихся над эстакадой и приемной траншеей. Пролет современных перегружателей составляет 115, а длина его консолей 45 и 20 м. Длина консолей обеспечивает перекрытие соот­ветственно траншеи и рудной эстакады по всей ширине. Упомянутая грейферная тележка передвигается по специальному рельсовому пути вдоль моста крана. На ней размещены механизмы ее пере­движения и управления грузозахватным устройством — грейфером. Грузозахватными органами грейфера являются его челюсти. Емкость грейфера достигает 12 м3. Общая масса крана достигает 1300 т, грузоподъемность 40 т и производительность 500 т/ч.

Вдоль доменного цеха расположены бункера для агломерата, окатышей и добавок. Емкость бункера для железорудной шихты и добавок составляет 110—210 м3, а количество их 20—34, что позволяет создавать запас шихты примерно на сутки. Коксовые бун­кера располагают непосредственно над скиповой ямой, чтобы умень­шить число перегрузок кокса. На одну печь устанавливают два коксовых бункера емкостью до 600 м3 каждый, что создает запас кокса на 5—6 ч работы печи. Естественно, что количество бункеров и их емкость зависят от объема доменных печей. Обычно емкость рудных бункеров на каждый кубический метр полезного объема печи составляет около 2,5 м3, а коксовых — около 0,7 м3.

Руду, добавки, флюсы, окатыши, агломерат и кокс подают к печи разными способами. В соответствии с этим следует различать три потока подачи шихты.

Первый поток- подача прочных железорудных материалов, привозимых со стороны (железной руды, окатышей, известняка, марганцевой руды). Эти материалы разгружаются из саморазгружающихся вагонов или же при помощи вагопоопрокидывателя *8* (см. рис. 55) в траншею 9, а затем грейфером рудного перегружателя складируются в штабель 7. При этом с целью усреднения материалов проводят послойное формирование штабеля, продвигая открытый грейфер вдоль крана по фронту разгрузки, а последующий забор материалов из штабеля осуществляют в разрез штабеля по высоте.

Из штабеля 7 материалы подаются грейфером в перегрузочный вагон *4,* который развозит их по бункерам. Из них материалы по­ступают в приемную воронку вагон-весов *10.* С их помощью осуществляют набор материалов по заданной программе, их взвешивание.

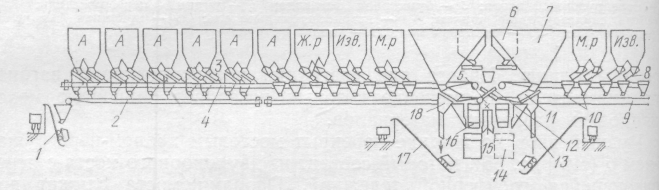


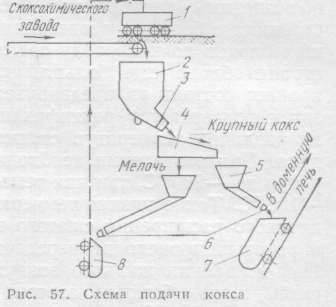
Рис. 56. Схема транспортерной подачи материалов из бункера к скипам: *1* — подъемник мелочи агломерата; 2 — ленточный транспортер; *3 —* грохот-питатель; *4* — пластинчатый транспортер; 5 — перекидной лоток агломерата; *6* — бункер довеса; 7 — коксовый бункер; *8* — питатель; 9 — ленточный транспортер; *10* — весовая воронка добавок; // — грохот отсева кокса; *12* — перекидной лоток добавок; ; *13* — коксовая весовая воронка; *14* — скрап; *15* — промежуточный бункер; *16* — весовая воронка агломерата; *17* — подъемник коксовой мелочи; *18* — бункер кок­совой мелочи

транспортировку к скиповой яме *11* и выгрузку их в скип *12* для подачи по наклонному мосту на колошник печи.

Грузоподъемность вагон-весов, работающих на современных пе­чах, составляет 25, 30 и 40 т. Однако подача материалов вагон-весами имеет и существенные недостатки, поскольку она связана с большими динамическими усилиями при их передвижении, напря­женной работой машиниста в тяжелых условиях, длительностью цикла набора и ограниченной производительностью, отсутствием возможности отсева мелких фракций и сложностью осуществления полной автоматизации управления вагон-весами. Поэтому в печах, построенных в последнее время, полезным объемом 2700—3200 м3: вагон-весы заменены транспортерами. Схема транспортерной подачи материалов показана на рис. 56.

Комплекс оборудования, состоящий из двух самостоятельных групп механизмов, расположен под бункерами по обе стороны скиповой ямы. В каждой группе имеются бункера для различных составляющих шихты: агломерата *А,* железной руды Ж- р., известняка Изв, марганцевой руды М. р. Бункера для агломерата оборудованы электровибрационными грохотами-питателями *8,* при помощи которых осуществляются выдача агломерата из бункеров и отсев мелочи Крупные фракции агломерата подаются пластинчатым конвейером 4 в весовые воронки *16.* Для корректировки массы агломерата над скиповой ямой расположены два бункера довеса, из которых мате­риал добавляют в весовые воронки.

Бункера для добавок оборудованы электровибрационными пита­телями (без грохотов) и индивидуальным ленточным транспорте­ром *9.* Предварительно добавку взвешивают весовыми воронками *10* для каждой добавки отдельно. Взвешенные добавки транспортером 9 подаются в промежуточный бункер *15,* из которого они загружаются в скип.

Распределение материалов по скипам в соответствии с програм­мой работы подъемника осуществляется при помощи перекидных лотков для агломерата 5 и для добавок *12.* Следует учесть, что в на­стоящее время добавки обычно вводят в агломерационную шихту, что, помимо технологических пре­имуществ, упрощает работу рас­смотренной системы подачи мате­риалов из бункеров в скипы доменной печи.

Второй поток — подача агломерата. Агломерат подается с фабрики, расположенной обычно вблизи доменного цеха, при по­мощи транспортеров или самораз­гружающихся вагонов и разгру­жается непосредственно в бун­кера.

Третий поток — подача кокса. Кокс нельзя грузить грейфером и не следует подвергать большому числу перегрузок, поэтому коксовые бункера располагают вблизи скиповой ямы, а загружают их коксом при помощи транспортеров. Схема подачи кокса приве­дена на рис. 57, из которой видно, что кокс после бункера *2,* который перекрывается задвижкой *3,* проходит стадию грохочения на гро­хоте *4.* Крупный кокс взвешивается в воронке коксовых весов 5, с затвором *6* и загружается в скип *7* для подачи на колошник домен­ной печи, а мелочь отгружается при помощи скипа *8* в вагон *1* для вывозки из цеха.

В последнее время в связи с ростом количества подаваемой шихты появилась новая система подачи шихты на колошник печи. В этой системе вместо скипов применен транспортер, которым подаются как железосодержащие материалы, так и кокс. Такая система при­нята у нас для доменной печи объемом 5000 м3.

**ЛЕКЦИЯ 18**

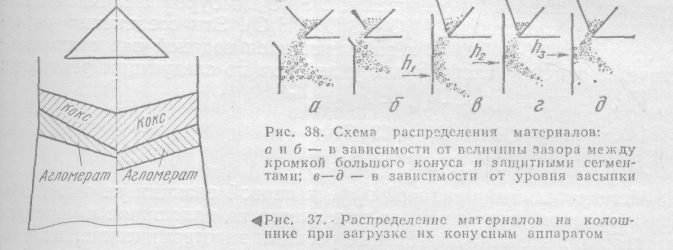
**ДОМЕННЫЙ ПРОЦЕСС**

В современной доменной печи продолжительность пребывания в ней материалов составляет 4—6 ч, а газов — около 1—3 с. Высо-1 кие показатели плавки могут быть получены при хорошем распреде­лении газов по сечению печи. Только в этом случае газы в макси­мальной степени отдадут физическое тепло материалам и наиболее полно будет использована их восстановительная способность. Есте­ственно, что распределение газового потока по сечению печи зависит от распределения шихты.

Шихту загружают в печь отдельными порциями — колошами. Рудную часть колоши можно загружать отдельно или одновременно с коксом. Величину колоши и способ ее загрузки выбирают так, чтобы распределение газов в печи было наилучшим.

Следует учитывать, что дутье поступает в печь у стен, а газовое сопротивление слоя шихты у стен меньше, чем в центре, и поэтому газы стремятся идти вдоль стен.

В настоящее время основным железорудным материалом является агломерат, слой которого менее газопроницаем, чем слой кокса. Поэтому целесообразно, чтобы слой агломерата у стен был толще, чем в центре печи, а слой кокса — наоборот. Загрузка шихты с ко­нуса и способность кокса располагаться в печи с меньшим углом от­коса, чем угол откоса агломерата или руды, обеспечивают это тре­бование. Кроме того, выбирая соответствующим образом зазор между конусом и колошником и изменяя величину колоши, уровень засыпи и порядок загрузки шихты, можно перераспределять шихту и регулировать газовый поток в печи.



На рис. 37 приведена схема распределения материалов на колошнике при малой (слева) и большой (справа) колошах. Если увеличить зазор между большим конусом и колошником или уровень засыпи, то можно добиться, что гребень шихты ,будет на определенном расстоянии от стен. Сказанное иллюстрируется рис. 38, на котором приведена схема расположения гребня материалов в зависимости от величины зазора мэжду кромкой большого конуса и защитными сегментами колош­ника, а также от уровня засыпи (*h1*, *hг* и *h*3).

В последнее время в связи со значительным увеличением объема доменных печей и переходом на более мелкую калиброванную шихту (окатыши, дробленный кокс, отгрохоченный агломерат) прораба­тывают и осуществляют варианты подачи шихты на колошник не скипами, а транспортером с применением засыпных аппаратов новых типов с большими возможностями регулирования газового потока перераспределением шихты по радиусу колошника.

Чтобы судить о газопроницаемости шихты в доменной печи и о том, насколько хорошо протекают теплообменные и химические процессы между шихтой и газами, желательно иметь данные о тем­пературе и составе газа по сечению. Повышенное содержанке СО2 в газах и низкая температура указывают на полноту химических и теплообменных процессов в печи.

О распределении газового потока в печи свидетельствуют дан­ные анализа проб газа, взятых по радиусу колошника. В пробе определяют содержание СО2. Для интенсивной и экономичной работы печи желательно, чтобы содержание СО2 на периферии и по оси печи было несколько пониженным, а на расстоянии около 1 м от стен печи — повышенным. В соответствии с этим устанавливают умеренно но развитый периферийный поток газов.

Нагрев шихты, удаление влаги и разложение углекислых соединений

Шихта, загружаемая в доменную печь, содержит гигроскопическую влагу (например, в коксе 1—5 %), а иногда гидратную влагу и карбонаты. Гигроскопическая влага легко испаряется на колошнике, и для ее удаления не требуется дополнительного тепла, так как температура колошниковых газов выше температуры испарения влаги.

Гидратная влага появляется лишь при использовании железных руд, она находится в соединении с Fе2О3 (в буром железняке) или с А12О3 (в каолинитах А12О3·2SiO2·2Н2О). Эти соединения разлагаются при 400—1000 °С и выделяющийся водяной пар взаимодействует с окисью углерода или углеродом по следующим реакциям:

Н2О + СО = СО2 + Н2 + 40 840;

Н2О + С = СО + Н2 — 131 740;

2Н2О + С = СО2 *+* 2Н2— 90 900.

Положительный тепловой эффект первой реакции не имеет особого значения, так как тепло выделяется на колошнике и уносится отходящими газами. Две вторые реакции эндотермические, их про­текание связано с расходом тепла и обогащением газа водородом.

Если в шихте находятся карбонаты СаСО3, МgСО3, FеСО3 и МnСO3,то они будут разлагаться по эндотермической реакции

МеСО3 = МеО + СО2.

С термодинамической точки зрения разложение карбонатов на­чинается при условии, если упругость диссоциации карбоната пре­вышает фактическое парциональное давление СО2, а интенсивное разложение наступает при так называемой температуре «химического кипения» (Тх.. к),когдаупругость диссоциации становится равной общему давлению газов. Например, для СаСО3 упругость диссо­циации может быть вычислена по формуле

lgP= – 8920/Т + 6,55 МПа,

тогда температура химического кипения составит

Tх.к= –8920/(lg Робщ - 6,55).

В доменной печи общее давление в средней ее части составляет около 0,3 МПа, температура химического кипения карбоната кальция

Tх.к = –8920/(lg0,3 —6,55) = —8920/—7,07 = 1262К(~990°С).

Таким образом, разложение СаСО3 в доменной печи интенсивно протекает при температуре примерно 990 °С, разложение же крупных кусков заканчивается при еще более высокой температуре. Это приводит к затрате тепла в таких зонах печи, в которых должен интенсивно протекать процесс восстановления железа. Кроме того, обычно процесс разложения известняка распространяется в зоны с высокой температурой, поэтому в эндотермической реакции СО2 + + С = 2СО неизбежно расходуется углерод, приход тепла в нижние зоны печи уменьшается и израсходованный по этой реакции углерод не достигает фурм. Небольшая часть СО2 не разлагается углеродом кокса, отношение СО2 : СО в газе увеличивается и, следовательно, процессы восстановления замедляются.

В последнее время стали применять офлюсованный агломерат, что исключает подачу карбонатов в доменную печь. Офлюсованный агломерат лучше восстанавливается по сравнению с обычным агло­мератом, и при его применении заметно улучшаются условия шлако­образования.

В конечном итоге, применение офлюсованного агломерата при­водит к заметному снижению расхода кокса. Вывод из доменной ших­ты 1 кг известняка позволяет экономить в доменной печи до 0,35— 0,4 кг кокса. При агломерации процесс разложения известняка обеспечивается сжиганием низкосортного топлива (коксика, антра­цитового штыба), а не дорогостоящего дефицитного металлургиче­ского кокса.

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО**

**СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АЛМАЛЫКСКИЙ ФИЛИАЛ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**КАФЕДРА «МЕТАЛЛУРГИЯ»**



**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

**«прямое получение железа из руд»**

Для студентов дневного и вечернего отделения, обучающихся по направлению

бакалавриата 5310300 Металлургия

Алмалык 2021

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1**

# **МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

(2 часа)

Как уже отмечалось выше, материальный баланс представляет собой таблицу, характеризующую качественные и количественные соотношения между всеми поступающими в переработку материалами (приход) и всеми полученными при этом продуктами (расход) [8].

Для большей наглядности и точности материальные балансы составляют не только по материалам, но и по основным компонентам. Компоненты, которые распределяются по большинству продуктов металлургического процесса, или меняющие в процессе переработки форму содержащих их соединений, в материальном балансе представляются в виде химических элементов (медь, никель, железо, сера, кислород и т.д.), а переходящие в один из продуктов металлургической переработки - в форме химических соединений. К последним в первую очередь относятся шлакообразующие оксиды (кремнезем, оксиды кальция, магния, алюминия и т.д.).

В правильно рассчитанном и составленном материальном балансе суммарные весовые количества поступающих сырьевых материалов (приходная часть) и полученных продуктов металлургической переработки (расходная часть) должны быть равны или отличаться друг от друга не более, чем на 1 % (невязка баланса). Если невязка баланса превышает эту величину, то следует проверить расчет и устранить обнаруженные ошибки или произвести расчет заново.

Структура материального баланса определяется типом металлургического процесса и характером перерабатываемых материалов. Примерные структуры материальных балансов важнейших металлургических процессов, применяемых в металлургии меди и никеля, приведены ниже.

Структура материального баланса окислительного обжига сульфидных материалов

|  |  |
| --- | --- |
| Поступило | Получено |
| Концентрат  Флюсы  Оборотные материалы  Воздух | Огарок  Пыль  Отходящие газы  Безвозвратные потери |

Структура материального баланса отражательной плавки

|  |  |
| --- | --- |
| Поступило | Получено |
| Концентрат или огарок  Флюсы  Конвертерный шлак  Оборотные материалы  Топливо  Воздух и технологический кислород | Штейн  Шлак  Пыль  Отходящие газы  Безвозвратные потери |

Структура материального баланса процесса конвертирования

|  |  |
| --- | --- |
| Поступило | Получено |
| Штейн  Кварц  Оборотные материалы  Воздух | Черновая медь или файнштейн  Конверторный шлак  Пыль  Отходящие газы  Безвозвратные потери |

Структура материального баланса современного автогенного процесса

|  |  |
| --- | --- |
| Поступило | Получено |
| Концентрат или руда  Флюсы  Конвертерный шлак  Оборотные материалы  Воздух и технологический кислород  Топливо (применяется в небольших количествах в случае ведения процесса в полуавтоген ном режиме) | Черновая медь, богатый штейн или файнштейн Шлак  Пыль  Газ  Безвозвратные потери |

Как видно из приведенных выше примерных структур материальных балансов важнейших пирометаллургических процессов, в большей своей части они имеют значительную общность. Это указывает на возможность использования однотипных методик для металлургических расчетов.

Иногда на практике по условию задачи составление полного материального баланса не является необходимым, когда нужно ограничиться ответом на поставленный вопрос. Однако в этих случаях, как правило, имеют дело также с материальным балансом, по частным, составленным, например, по одному элементу, химическому соединению и т.д.

Если извлечение рассчитано по одному из основных продуктов процесса (по штейну, файнштейну или черновой меди), то оно называется прямым.

Однако существует необходимость расчета полного извлечения, т.е. с учетом переработки и дополнительного извлечения (доизвлечения) в готовую продукцию ценного компонента из попутных или оборотных продуктов процесса (шлаков, пылей и т.д.).

Используемый на практике термин - содержание металла в шлаке - является комплексным понятием. Основной смысл его заключается в характеристике уровня соответствия отвального шлака кондиционному содержанию в нем ценного металла. Если в шлаке содержание металла низкое, это еще не значит, что извлечение в процессе высокое. Необходимо учитывать выход шлака, т.е. его количество, и оперировать абсолютными значениями металла, направляемого со шлаком в отвал.

По расчету абсолютных количеств ценного элемента, переходящего во все продукты процесса, определяются безвозвратные потери по разности между приходными статьями и полученными.

Таким образом, даже решение, на первый взгляд, простых задач, в той или иной степени вызывает необходимость прибегать к составлению материальных балансов - полного, по одному, двум и более элементам или соединениям.

Выше были рассчитаны количества исходных материалов и полученных продуктов процесса плавки медного концентрата на штейн. Эти расчеты позволяют составить материальный баланс плавки. В известной мере он будет упрощенным, так как в него не включены такие статьи баланса как «пыль», «безвозвратные потери» и т.д. Тем не менее он позволяет проверить правильность расчетов и представить их в виде сводной таблицы, являющейся итоговым материалом предыдущих расчетов (таблица 15), без учета горения топлива. В таблице материального баланса наглядно представлено распределение всех элементов и компонентов, участвующих в процессе плавки, - по исходным материалам и получаемым продуктам.

Какова же цель составления материального баланса?

Материальный баланс является основой для организации технологического процесса. Исходя из него проводится шихтовка исходных материалов, устанавливаются дутьевые параметры, расходы топлива (если оно используется в процессе). Все это направлено на получение заданных по составу продуктов. Чем точнее выполнен расчет материального баланса, тем ближе он соответствует действительным составам и количествам получаемых продуктов.

Другое немаловажное значение составления материального баланса процесса заключается в прямом использовании его результатов (точнее потоков исходных материалов и полученных продуктов и их составов) при расчете тепловых балансов.

Материальный баланс процесса кладется в основу экономических расчетов, связанных с технико-экономической оценкой действующего или вновь создаваемого процесса. Понятно, что правильность выполненных металлургических расчетов и играет решающую роль.

Изменение параметров технологического процесса, выбор их оптимального значения, совершенствование существующих и особенно создание новых процессов невозможны без расчета материального баланса.

о Таблица 15 - Материальный баланс процесса автогенной плавки концентрата на дутье, содержащем 65 % кислорода

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материал и продукт | Количество, кг | | Компонент | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|  | Си | | Zn | | Fe | | S | | SiO2 | | A12O3 | | CaO | | MgO | | 0 | | n2 | | co2 | | H2O | | Прочие | |
| Поступило | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 Концентрат | 108,70 | | 14.0 | | 2,0 | | 32,4 | | 41,0 | | 6,2 | | 1,9 | | 0,6 | | 0,4 | |  | |  | | 0,91 | | 8,7 | | 0,59 |
| 2 Кварцевый флюс | 17,02 | |  | |  | |  | |  | | 14,55 | |  | | 0,16 | |  | |  | |  | |  | | 0,85 | | 1,46 |
| 3 Известняк | 5,12 | |  | |  | |  | |  | | 0,1 | | 0,05 | | 2,53 | |  | |  | |  | | 1,98 | | 0,26 | | 0,21 |
| 4 Дутье | 56,97 | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | 38,72 | | 18,24 | |  | |  | |  |
| 5 Подсосы воздуха | 26,02 | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | |  | | 6,06 | | 19,96 | |  | |  | |  |
| Итого | 213,82 | | 14,0 | | 2.0 | | 32,4 | | 41,0 | | 20,85 | | 1,95 | | 3,29 | | 0,4 | | 44,79 | | 38,20 | | 2,89 | | 9,8 | | 2,25 |
| Получено | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 Штейн | 38,40 | | 13.44 | | 0,4 | | 13,19 | | 9,6 | |  | |  | |  | |  | | 1,38 | |  | |  | |  | | 0,38 |
| 2 Шлак | 54,87 | | 0,56 | | 0,8 | | 19,21 | | 21,2 | | 20,85 | | 1,95 | | 3,29 | | 0,4 | | 5,94 | |  | |  | |  | | 1,87 |
| 3 Газы | 120,56 | |  | | 0,8 | |  | | 31,4 | |  | |  | |  | |  | | 37,46 | | 38,20 | | 2,89 | | 9,8 | |  |
| Итого | 213,82 | | 14.0 | | 2,0 | | 32.4 | | 41.0 | | 20,85 | | 1.95 | | 3,29 | |  | |  | |  | |  | |  | |  |

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2**

(2 часа)

**Для получения железа из руд металлизация железосодержащих концентратов**

Пример 3.1. Рассчитать содержание марганца в насыщенном углеродом железе, находящемся в равновесии со шлаком состава, %: 35SiO2; 44,5СаО; 20АI2О3; 0,5МnО. Давление в системе 1,7⋅10-5 Па. Температура 1500°С.

Решение. Определяем по уравнению (3.1) значение КМn   
для температуры 1500°С:

IgKMn =- KMn = 478

Определяем число молей в 100 г шлака:

nSiO2 = 0,582; nCaO = 0,793; nMnO = 0,007;

nSAI2O3 = 0,196; Σn = 1,578.

Пересчитываем состав шлака на мольные проценты (I моль %) = (ni/Σn)100: (SiO2) = 36,9; (СаО) = 50,3; (А12O3) = 12,4; (МnО) = 0,4.

По диаграмме находим значение коэффициен­та активности γМnО для заданного состава шлака: γМnО = 0,5. Определяем коэффициент активности марганца в жидком железе, насыщенном углеродом. Предельная рас­творимость углерода в жидком железе связана с темпера­турой уравнением вида:

[%С]max = 1,34 + 2,54- 10-3(T - 273) = 1,34+ 2,54.10-3 ⋅ 1500 = 5,15%;

IgƒMn = ecMn [%C] =-0,07⋅5,15= - 0,361;

ƒMn = 0,44

Из выражения для KMn находим:

[%Мn] = KMn 

Далее студенты решают конкретные практические задачи по заданию преподавателя.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3**

(2 часа)

**Расчеты по активности компонентов в расплаве**

*Пример 1.1.* Активность меди в растворе Fе-Сu при 1823 К по отношению к стандартному состоянию чистая медь имеет следующие значения:

*хси*  0,020 0,015 0,010 0,005 0,002

аRCu 0,1845 0,1416 0,0966 0,0494 0,0200

Рассчитайте значения активности меди в растворе Fе-Сu по отношению к стандартному состоянию 1%-ный раствор 0 1% и коэффициенту активности ƒСu. Значение γсu= 10,1.

*Решение.* Определяем значения активностей меди по отно­шению к стандартному состоянию 1 %-ный раствор. По­скольку концентрация меди в растворе невелика, то для пересчета активностей используем упрощенное выражение:

aCu(1%) = aRCu

Массовый процент меди в растворе:



Коэффициент активности меди в растворе Fе-Сu по отношению к 1 %-ному стандартному состоянию

ƒСu=aСu(1%)[%Сu].

Для раствора с мольной долей *хси* = 0,02 получаем: асu(1%) =11,26-0,1845=2,08; [% Сu] = 113,8-0.020 = 2,28;

Аналогично проводим расчет для других концентраций меди в растворе. Ниже приведены результаты расчета кон­центрации [% Сu], активностей асu(1%) и коэффициентов активности меди /Сu в растворе Fе-Сu при 1823 К:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| xCu………… | 0,020 | 0,015 | 0,010 | 0,005 | 0,002 |
| аRCu ………… | 0,1845 | 0,1416 | 0,0966 | 0,0494 | 0,0200 |
| γCu………… | 9,2 | 9,44 | 9,66 | 9,88 | 10,0 |
| [%Cu] …… | 2,98 | 1,71 | 1,14 | 0,57 | 0,23 |
| aCu(1%)…… | 2,08 | 1,59 | 1,09 | 0,56 | 0,23 |
| ƒCu………… | 0,91 | 0,93 | 0,96 | 0,98 | 1,00 |

Таким образом, при уменьшении концентрации меди в растворе коэффициент активности ƒ*си* приближается к единице, а значение активности аCu(1%>) приближается к концентрации меди, выраженной в массовых процентах. В то же время разбавленные растворы меди в железе по­казывают значительные отклонения от закона Рауля, о чем свидетельствуют высокие значения коэффициента активно­сти уСu.

Пример 1.2.Для жидких растворов бинарных систем Fе-AI и Fе-Si при 1600 °С определить соотношения между коэф­фициентами активностей ƒi и γi.

*Решение.* В соответствии с уравнением коэффици­ент активности ƒiAI для растворов Fе - AI



Из литературы находим: 

Тогда



Аналогично определяем зависимость между ƒSi и γSi;



Оба раствора показывают отрицательные отклонения от закона Рауля, поэтому коэффициент активности yi, определенный по отношению к стандартному состоянию чис­тый компонент, оказывается меньше, чем коэффициент ак­тивности.

Далее студенты решают конкретные практические задачи по заданию преподавателя.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4**

(2 часа)

**Расчеты по экспериментальным данным в системе Fe-С**

*Пример 2.1.* По экспериментальным данным о равновесии расплава Fе-C при 1560ОС с газовыми смесями СО-СО2 определены значения активности углерода по отношению к стандартному состоянию - графиту, для которого *аRC =* 1. Значения активности для трех концентраций углерода, полученные путем усреднения данных по трем опытам с близкими концентрациями углерода приведены ниже:

*хс . . .* 0,0090 0,0272 0,0543

*аRC* . . . 0,0060 0,0191 0,0596

Определить значение активностей по отношению к 1% ному стандартному состоянию и значения коэффициентов активности /с для концентраций углерода от 0,1 до 1,0%..

*Решение.* Определяем значения коэффициентов активности  
γс для трех концентраций углерода:

хС = 0,0090; γс =

хС = 0,0272; γс =

хС = 0,0543; γс =

Полученные значения γс наносим на график зависимо­сти γс - *хс* (рис.2.1). Экстраполируя значения γс на нуле­вую концентрацию углерода (xC→O), находим значение γoс = 0,665.

Концентрации углерода в массовых процентах и соот­ветствующие значения коэффициентов активности ƒс бу­дут равны:

xс = 0,0090; [%С] = 100⋅0,0090 ;

ƒс = 

Аналогичный расчет производим для других концентра­ций углерода

XC = 0,0272; [%C] = 0,58; ƒC = 1,02;

XC = 0,0543; [%C] = 1,17; ƒC = 1,72;

Таким образом, при концентрациях углерода в распла­ве до 0,6 % эти растворы показывают хорошее соответствие закону Генри и заметное отклонение от закона Рауля. При более высоких значениях концентраций углерода, отмеча­ются положительные отклонения от закона Генри. Следует отметить, что при выборе в качестве стандартного состояния чистого

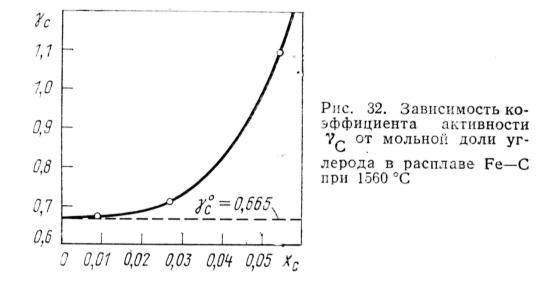


Рис. 2.1. Зависимость коэффициента активности %γС от мольной доли углерода в расплаве Fe-C при 1560оС.

графита, расплавы Fе-C показывают различ­ный характер отклонения от закона Рауля при низких и высоких концентрациях углерода в расплаве. Углерод об­ладает ограниченной растворимостью в жидком железе. Предельная растворимость углерода связана с температу­рной зависимостью:

[°/оС]нас= 1,34 + 2,54.10-3.(T-273).

Для температуры 1833 К-[%С]нас = 5,30 % или хС = 0,207. Поскольку в насыщенном растворе углерода в же­лезе *аС*=1, то коэффициент активности *уС =*

Таким образом, в области концентраций углерода выше 1,1 % в системе Fе-С имеют место положительные откло­нения от закона Рауля.

Далее студенты решают конкретные практические задачи по заданию преподавателя.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5**

(2 часа)

**Расчет содержание марганца в насыщенном углеродом железе**

Пример 3.1. Рассчитать содержание марганца в насыщенном углеродом железе, находящемся в равновесии со шлаком состава, %: 35SiO2; 44,5СаО; 20АI2О3; 0,5МnО. Давление в системе 1,7⋅10-5 Па. Температура 1500°С.

Решение. Определяем по уравнению (3.1) значение КМn   
для температуры 1500°С:

IgKMn =- KMn = 478

Определяем число молей в 100 г шлака:

nSiO2 = 0,582; nCaO = 0,793; nMnO = 0,007;

nSAI2O3 = 0,196; Σn = 1,578.

Пересчитываем состав шлака на мольные проценты (I моль %) = (ni/Σn)100: (SiO2) = 36,9; (СаО) = 50,3; (А12O3) = 12,4; (МnО) = 0,4.

По диаграмме находим значение коэффициен­та активности γМnО для заданного состава шлака: γМnО = 0,5. Определяем коэффициент активности марганца в жидком железе, насыщенном углеродом. Предельная рас­творимость углерода в жидком железе связана с темпера­турой уравнением вида:

[%С]max = 1,34 + 2,54- 10-3(T - 273) = 1,34+ 2,54.10-3 ⋅ 1500 = 5,15%;

IgƒMn = ecMn [%C] =-0,07⋅5,15= - 0,361;

ƒMn = 0,44

Из выражения для KMn находим:

[%Мn] = KMn 

Далее студенты решают конкретные практические задачи по заданию преподавателя.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6**

(2 часа)

**Расчет равновесной концентрации кислорода в жидком железе**

Рассчитать равновесную концентрацию кислорода в жидком железе при температуре 1650°С для случая раскисления:

а) марганцем при концентрациях 0,5; 1,0; 1,5%;

б) кремнием при концентрациях 0,2; 0,5 и 1,0 %;

в) алюминием при концентрациях 0,05; 0,10 и 0,15%.

Принять, что в процессе раскисления образуются чистые оксиды МnО, SiO2 и АI2О3, активность которых равна единице.

Параметр взаимодействия для кремния еSiSi = 0,11.

*Решение.* Определяем значения констант равновесия реак­ций раскисления KMn, Ksi и KAI для заданной темпера­туры, используя уравнения, и -KMn(1923) = 2,6-10-2; Ksi (1923) = 6,1⋅10-5; KAI(1923) = 7,6-10-14.

Определяем значения коэффициентов активности для участвующих в реакции веществ, используя параметры взаимодействия в литературы:

IgƒoMn =eoMn = - 0,021 [%Mn];

IgƒSiSi = 0,11 [%Si];

IgƒSio =-0,131 % [%Si];

Результаты расчета приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Результаты расчета равновесной концентрации кислорода при раскислении жидкого железа марганцем, кремнием и алюминием

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Раскислитель | [%R] | ƒoMn | еSiSi | ƒoSi | [%O]равн | Ig[%R] | Ig[%O] |
| Mn | 0,5 | 0,98 | - | - | 0,0531 | -0,301 | -1,275 |
|  | 1,0 | 0,95 | - | - | 0,0274 | 0 | -1,562 |
|  | 1,5 | 0,93 | - | - | 0,0186 | 0,176 | -1,730 |
| Si | 0,2 | - | 1,05 | 0,94 | 0,0405 | -0,699 | -1,392 |
|  | 0,5 | - | 1,14 | 0,86 | 0,0170 | -0,301 | -1,770 |
|  | 1,0 | - | 1,29 | 0,74 | 0,0093 | 0 | -2,032 |
| AI | 0,05 | - | - | - | 0,00034 | -1,301 | -3,468 |
|  | 0,10 | - | - | - | 0,00021 | -1,000 | -3,678 |
|  | 0,15 | - | - | - | 0,00016 | -1,824 | -3,796 |

Определяем равновесную концентрацию кислорода:

[%O]Mn = KMn

[%O]Si = 

[%O]A = 

Подставляя в полученные выражения значения констант равновесия, концентрации раскислителей и коэффи­циенты активностей, находим значения равновесных кон­центраций кислорода, которые заносим в табл. 4.1.

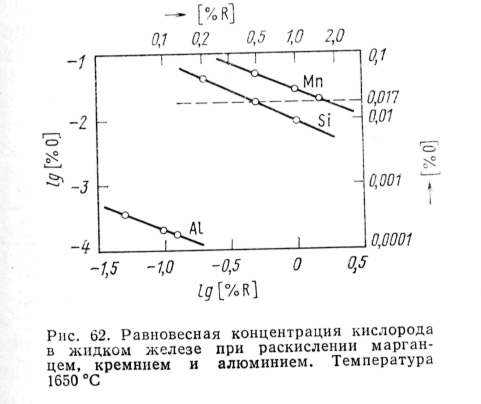


Рис. 4.1 Равновесная концентрации кислорода в жидком железе при раскислении марганцем, кремнием и алюминием. Температура 1650оС.

По результатам расчета строим график (рис. 4.1), из которого следует, что равновесная концентрация кислорода, равная 0,017 %, обеспечивается при концентрации в расплаве 0,5 % Si. Для получения такой же концентрации кислорода при раскислении жидкого железа марганцем, требуется иметь в расплаве около 2 % Мn.

Далее студенты решают конкретные практические задачи по заданию преподавателя.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7**

(2 часа)

**РАСЧЕТ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА ПРИМЕНЯЕМЫХ В МЕТАЛЛУРГИИ**

Расчет горения топлива обычно выполняют с целью определения:

- теплотворной способности топлива;

- количества воздуха, необходимого для полного сгорания топлива;

- количества и состава продуктов сгорания;

- температуры горения.

Расчет горения ведут для рабочего топлива.

В справочной литературе состав жидкого и твердого топлива обычно задается в виде результатов элементарного анализа, дающего процентное содержание данного элемента в горючей органической или сухой массе.

Пересчет на рабочее топливо с любого другого состава осуществляется по формулам:

 (1)

 (2)

 (3)

где ХР – содержание какого-либо элемента в рабочем топливе, %;

ХО, ХГ, ХС – то же, в органической горючей и сухой массе соответственно, %.

Состав газообразного топлива задается в виде процентного содержания составных частей газообразной смеси СО2, СО, СН4, Н2 и др. Влага обычно задается в виде массы воды в единице объема сухого газа г/м3. Состав сухого газа на влажный пересчитывают по формуле:

 (4)

где ХВ – содержание какого-либо компонента во влажном газе, %;

ХС – то же, в сухом газе, %.

= 0,1242 W (5)

Топливо состоит из компонентов, которые при окислении кислородом воздуха выделяют определенное количество тепла. Если известен химический состав топлива, то можно определить теплоту сгорания, расход воздуха, количество и состав продуктов горения топлива по реакциям компонентов.

При выполнении технических расчетов можно использовать эмпирические формулы для определения теплотворности топлива, а также для определения необходимого количества продуктов горения топлива. Для отечественных видов твердого и жидкого топлива достаточно точные результаты дают формулы Д.И.Менделеева.

Х = 4,187[81СР + 300НР - 26(ОР - SР) - 6(WР + 9НР)] (6)

Для газообразного топлива теплоты сгорания определяют по формуле:

Q=4,187[30,2СОВ+25,8Н+85,6СН+152,3С2Н+218С3Н+283,4С4Н+49С5Н+141,1С2Н+133,8С2Н++55,9Н2-4,82Н2ОВ] кДж/м3 (7)

Для твердого и жидкого топлива теоретически необходимое количество воздуха рассчитывают по формуле:

LТЕОР = [0,0889СР + 0,2667 НР + 0,0333(SP - ОР)]·(1+0,0124dB), м3/кг (8)

где αB – влагосодержание сухого воздуха, г/м3;

U – содержание кислорода в воздухе, % (объемн.).

Практическое количество воздуха находится по формуле:

LПР = α LТЕОР, м3/кг (9)

α – коэффициент избытка воздуха

Значение α для различных видов топлива приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Значение α для различных видов топлива

|  |  |
| --- | --- |
| Дрова в шахтных топках: | 1,25÷1,35 |
| Каменный и бурый уголь в топках с ручным обслуживанием: | 1,50÷1,70 |
| Каменный и бурый уголь в механических топках: | 1,20÷1,40 |
| Пылевидное топливо: | 1,1÷1,20 |
| Мазут: | 1,08÷1,20 |
| Газовое топливо: | 1,05÷1,10 |

Количество продуктов горения (жидкого и твердого топлива), м3/кг, определяется по формулам:

 (10)

Общее количество газообразных продуктов горения VГ м3/кг равно:

 (11)

Состав продуктов горения, %:

 (12)

Для газообразного топлива теоретическое количество воздуха находят по формуле, м3/м3:

LТЕОР =  (13)

Практическое количество воздуха для горения газа будет:

LПР = α LТЕОР, м3/м3 (14)

Количество продуктов горения газа, м3/м3:

 (15)

Общее количество продуктов горения газа, м3/м3:

 (16)

Состав продуктов горения газа, %:

 (17)

Плотность продуктов горения ρТ, кг/м3, определяют по формуле:

 (18)

где СО2, Н2О, N2, SO2, O2 – содержание этих газов в продуктах горения, %.

Теплоемкость продуктов горения СГ определяют по формуле ккал/(м3град):

 (19)

Практическая температура горения определяется по формуле (действительная температура продуктов горения):

tПР =  (20)

где  - низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг (кДж/м3);

QФИЗ – физическое теплосодержание топлива и воздуха, кДж/кг (кДж/м3), т.е.

QФИЗ=+ (21)

или

QФИЗ=mТсTtT+vBcBtB  (22)

Qд – количество тепла, идущее на диссоциацию СО2, Н2О и SO2 по реакциям:

СО2 → СО+1/2О2

Н2Опар → Н2+1/2О2 (23)

SO2 → SO+1/2О2

Величину Qдис находят по уравнению:

Qдис= 10886 · A · +12561 · В ·+ С· (24)

где А, В, С – степень диссоциации Н2О, СО2, SO2 в долях от исходного количества газов до диссоциации.

,и  - объемы Н2О, СО2, SO2, образующиеся при горении единицы топлива при нормальных условиях, м3.

qПОТ – количество тепла, отдаваемое в процессе горения в окружающую среду, отнесенное к единице топлива.

Однако определение tПР по приведенной выше формуле не представляется возможным, так как нельзя точно определить величину потерь тепла qПОТ. Поэтому введен пирометрический коэффициент η, имеющий значение в пределах от 0,6 до 0,9 в зависимости от (значение η определяется экспериментами) условий сжигания. Тогда формула (20) примет вид:

tПР = η ; к (25)

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8**

(2 часа)

**Удаление серы фосфора при получении железа из руд**

Рассчитать равновесную концентрацию кислорода в жидком железе при температуре 1650°С для случая раскисления:

а) марганцем при концентрациях 0,5; 1,0; 1,5%;

б) кремнием при концентрациях 0,2; 0,5 и 1,0 %;

в) алюминием при концентрациях 0,05; 0,10 и 0,15%.

Принять, что в процессе раскисления образуются чистые оксиды МnО, SiO2 и АI2О3, активность которых равна единице.

Параметр взаимодействия для кремния еSiSi = 0,11.

*Решение.* Определяем значения констант равновесия реак­ций раскисления KMn, Ksi и KAI для заданной темпера­туры, используя уравнения, и -KMn(1923) = 2,6-10-2; Ksi (1923) = 6,1⋅10-5; KAI(1923) = 7,6-10-14.

Определяем значения коэффициентов активности для участвующих в реакции веществ, используя параметры взаимодействия в литературы:

IgƒoMn =eoMn = - 0,021 [%Mn];

IgƒSiSi = 0,11 [%Si];

IgƒSio =-0,131 % [%Si];

Результаты расчета приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Результаты расчета равновесной концентрации кислорода при раскислении жидкого железа марганцем, кремнием и алюминием

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Раскислитель | [%R] | ƒoMn | еSiSi | ƒoSi | [%O]равн | Ig[%R] | Ig[%O] |
| Mn | 0,5 | 0,98 | - | - | 0,0531 | -0,301 | -1,275 |
|  | 1,0 | 0,95 | - | - | 0,0274 | 0 | -1,562 |
|  | 1,5 | 0,93 | - | - | 0,0186 | 0,176 | -1,730 |
| Si | 0,2 | - | 1,05 | 0,94 | 0,0405 | -0,699 | -1,392 |
|  | 0,5 | - | 1,14 | 0,86 | 0,0170 | -0,301 | -1,770 |
|  | 1,0 | - | 1,29 | 0,74 | 0,0093 | 0 | -2,032 |
| AI | 0,05 | - | - | - | 0,00034 | -1,301 | -3,468 |
|  | 0,10 | - | - | - | 0,00021 | -1,000 | -3,678 |
|  | 0,15 | - | - | - | 0,00016 | -1,824 | -3,796 |

Определяем равновесную концентрацию кислорода:

[%O]Mn = KMn

[%O]Si = 

[%O]A = 

Подставляя в полученные выражения значения констант равновесия, концентрации раскислителей и коэффи­циенты активностей, находим значения равновесных кон­центраций кислорода, которые заносим в табл. 4.1.

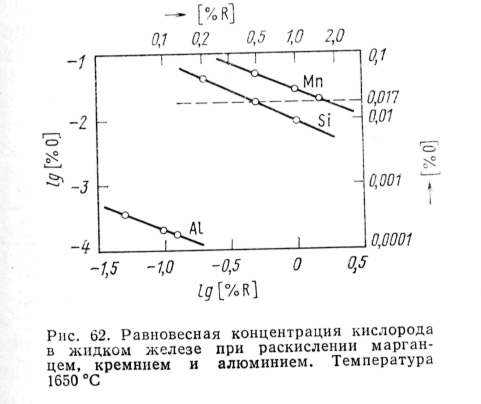


Рис. 4.1 Равновесная концентрации кислорода в жидком железе при раскислении марганцем, кремнием и алюминием. Температура 1650оС.

По результатам расчета строим график (рис. 4.1), из которого следует, что равновесная концентрация кислорода, равная 0,017 %, обеспечивается при концентрации в расплаве 0,5 % Si. Для получения такой же концентрации кислорода при раскислении жидкого железа марганцем, требуется иметь в расплаве около 2 % Мn.

Далее студенты решают конкретные практические задачи по заданию преподавателя.

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО**

**СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АЛМАЛЫКСКИЙ ФИЛИАЛ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**КАФЕДРА «МЕТАЛЛУРГИЯ»**



**САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ РАБОТЫ**

**«прямое получение железа из руд»**

Для студентов дневного и вечернего отделения, обучающихся по направлению

бакалавриата 5310300 Металлургия

Алмалык 2021

• Современные технологии прямого извлечения железа из руды;

• Классификация доменного процесса;

• Термодинамика восстановления оксидов железа;

• Классификация технологий MIDREX и COREX для прямого извлечения железа из руды;

• Свойства железа и оксидов железа.

• Термодинамика восстановления оксидов железа

• Термодинамика восстановления других элементов

• Кинетика восстановления оксидов

• Кинетика восстановления оксидов

• Влияние различных факторов на скорость восстановления

• Доменный процесс

• Организация рабочего процесса доменной печи.

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО**

**СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АЛМАЛЫКСКИЙ ФИЛИАЛ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**КАФЕДРА «МЕТАЛЛУРГИЯ»**



**ГЛОССАРИЙ**

**«прямое получение железа из руд»**

Для студентов дневного и вечернего отделения, обучающихся по направлению

бакалавриата 5310300 Металлургия

Алмалык 2021

# ГЛОССАРИЙ

## А

**Агломерат** Определение: продукт агломерационного процесса, начиная со 2-ой половины XIX века, основной вид железорудных материалов, используемых при производстве чугуна. Различают офлюсованный и неофлюсованный агломерат. Первый производится с использованием в аглошихте больших количеств известняка или доломита, в его составе соотношение CaO/SiO2 значительно больше.  
Использование офлюсованного агломерата в доменных печах позволяет отказаться от загрузки в них известняка и доломита «в сыром виде», что даёт возможность существенно улучшить показатели доменного процесса.  
**Агломерационная машина** Определение: установка ленточного (конвеерного) типа, предназначенная для производства агломерата. Первая ленточная агломерационная машина конструкции А. Дуайта и Р. Ллойда (США) была введена в эксплуатацию в 1911 г.  
Ленточная агломерационная машина представляет собой замкнутую цепь движущихся спекательных тележек-паллет, перемещающихся по специально установленным рельсам.  
На стальной раме каждой паллеты монтируются три ряда колосников. Таким образом, паллета представляется собой движущуюся колосниковую решётку. На неё укладывается агломерационная шихта. Топливо, входящее в состав шихты, воспламеняется с помощью газового горна, расположенного в начале аглоленты. Процесс горения топлива и спекания агломерата происходит вследствие просасывания воздуха через спекаемый слой в результате работы вентилятора (эксгаустера), создающего разрежение под колосниковой решёткой.

**Агломерация** Определение: Агломерация железорудных материалов (от франц., англ. «agglomeration» – спекание, слипание) – начиная с первой половины XX века, основной способ окускования мелкодисперсных железорудных материалов и железосодержащих отходов производства. Разработанный в 1887 г. Ф. Геберлейном и Т. Хантингтоном (Англия) процесс первоначально использовался в цветной металлургии для окускования сульфидных руд. Для обработки железных руд он был внедрён в 1906 г. А. Дуайтом и Р. Ллойдом (США).В шихту агломерационного процесса, помимо железорудных материалов, входят флюсующие добавки (как правило, известняк и доломит) и твёрдое топливо (коксовая мелочь и плотный каменный уголь – антрацитовый «штыб»). В процессе агломерации достигаются температуры 1500-1600 °С, при которых шихтовые материалы плавятся, а затем в ходе охлаждения кристаллизуются (затвердевают) с образованием агломерационного «пирога». Для получения кусков размером 10-40 мм агломерационный пирог подвергают дроблению. Содержание железа в агломерате составляет от 55 до 65 %.

**Антикоррозионная защита металлов**Определение: комплекс средств защиты металлов и сплавов, металлических изделий и сооружений от коррозии. А. з. предусматривается на всех стадиях производства и эксплуатации металлических изделий — от проектирования объекта и выплавки металла до транспортировки, хранения готовых изделий, монтажа металлических сооружений и их эксплуатации. Коррозия металлов приводит не только к безвозвратным их потерям, но и к преждевременному выходу из строя дорогостоящих и ответственных изделий и сооружений, к нарушению технологических процессов и простоям оборудования.  
К. бывает самых разнообразных видов, но начинается она чаще всего на поверхности металлических изделий и постепенно проникает внутрь. Нет ни одного металла, который обладал бы абсолютной коррозионной стойкостью. Можно говорить лишь о стойкости при данных условиях окружающей среды.  
Необходимость защиты металлов от коррозии возникла вместе с появлением первых металлических изделий из меди и железа. Для защиты меди ещё в древние времена применялось горячее лужение, растительные масла, коррозионностойкие сплавы (оловянная бронза, латунь), для защиты железных и стальных изделий – полирование, воронение, лужение. В начале XIX в. был открыт электрохимический метод А. з. с помощью протекторов. Наиболее интенсивно А. з. развивается начиная с XX в. в связи с широким внедрением нержавеющих сталей, новых коррозионностойких сплавов, полимерных покрытий и др. По механизму действия все методы А. з. можно разделить на 2 основные группы: электрохимические, оказывающие влияние на потенциал металла; механические, изолирующие металл от воздействия окружающей среды созданием защитной плёнки и покрытий.

Простейшим средством защиты от коррозии служат лакокрасочные покрытия. Они защищают поверхность металлических изделий от непосредственного контакта с окружающей средой и другими металлами. Главный недостаток такого способа заключается в том, что слой краски постепенно нарушается, и его требуется восстанавливать.

Во второй половине XX в. распространение получили покрытия из сложных неорганических соединений (фторидов, фосфатов, хроматов и пр.). К неорганическим покрытиям, получаемым горячим способом, относится эмалирование, широко применяемое в бытовой технике и для защиты металлов от газовой коррозии при высоких температурах.

Очень широкие и разнообразные возможности нанесения металлических покрытий даёт гальванотехника. Однако наиболее эффективным способом А. з. является легирование металлов.

Легированием при электрохимической коррозии достигается перевод металла из активного состояния в пассивное, при этом образуется пассивная плёнка с высокими защитными свойствами. Например, легирование железа хромом позволило перевести железо в устойчивое пассивное состояние и создать целый класс сплавов, называемых нержавеющими сталями. Дополнительное легирование нержавеющих сталей молибденом устраняет их склонность к точечной коррозии в морских условиях.  
Для предотвращения коррозии морских судов, подземных и гидротехнических сооружений, а также химической аппаратуры, работающей с агрессивными электропроводными средами, применяют электрохимические методы защиты.

## Б

**Безвозвратные отходы**Определение: (потери)отходы производства, которые невозможно, или нецелесообразно использовать повторно.

**Безвредные примеси** Определение: примеси, которые не оказывают влияние на качество выплавляемой стали.

**Блюминг**Определение: (англ. blooming) – высокопроизводительный прокатный стан для обжатия стального слитка в блюм, сляб или заготовку для сортопрокатных станов. На металлургических предприятиях блюминг – промежуточное звено между сталеплавильными и прокатными цехами, выпускающими готовую продукцию. Применение технологии непрерывной разливки исключает блюминг из структуры предприятия чёрной металлургии.

**Брикетирование** Определение: процесс прессования мелкодисперсных железорудных материалов в куски геометрически правильной и однообразной формы – брикеты (франц. briquette). После прессования в большинстве случаев применяется термическая или химическая обработка брикетов. Брикетирование – исторически первый способ окускования железорудного сырья, получивший распространение в Швеции и Германии 1880-1920 гг. Во второй четверти XX в. брикетные фабрики были довольно быстро вытеснены агломерационными. В 1990-х годах интерес к брикетированию возродился в связи с накоплением большого количества железосодержащих отходов, переработка которых в агломерационном процессе затруднена по различным причинам, главным образом экологическим.

## В

**Вакуумная металлургия** Определение: металлургические процессы, при проведении которых используется вакуумное оборудование. Идея помещения расплавленного металла в вакуум для удаления из него газов высказывалась неоднократно ещё в XIX столетии, однако тогда невозможно было построить необходимое оборудование. Быстрое развитие вакуумной металлургии началось во второй половине XX века.  
Различают операцию вакуумной обработки и собственно процесс вакуумной плавки. В первом случае выплавленный обычным способом металл подвергают вакуумной обработке во время вы-пуска из печи или в разливочном ковше и, таким образом очищают его от газов – дегазируют. Во втором случае и плавку, и разливку металла проводят, сохраняя вакуум. Применяются индукционные, дуговые и электронно-лучевые печи. Электронно-лучевой способ вакуумной плавки обладает рядом преимуществ по сравнению с другими: плавка проводится в медном тигле, охлаждаемом водой, что позволяет избежать реакций расплава со стенками тигля. В электронно-лучевой печи можно переплавлять все без исключения металлы и сплавы, в т.ч. тугоплавкие и быстро окисляющиеся.

**Внедоменное получение железа** Определение: процессы получения железа и стали непосредственно из рудных материалов, минуя стадию выплавки чугуна в доменных печах. Развитие внедоменного получения железа связано с сокращением запасов коксующихся углей, необходимых для производства кокса, служащего главным топливным материалом для доменной плавки. Из многочисленных методов, предложенных, разработанных и осуществленные в промышленных масштабах в разных странах, наибольшее распространение получила технология производства металлизованных окатышей. Сырьём для производства окисленных окатышей в этом случае служит суперконцентрат глубокого обогащения железных руд, содержащий 68,5-69,5 % железа. Окисленные окатыши обрабатываются специально подготовленным восстановительным газом температурой около 800 °С в печах шахтного типа. Металлизованные окатыши переплавляются в электропечах для производства стали высокого качества.

**Волочильный стан** Определение: машина для производства металлической проволоки и труб малого диаметра. В. с. состоит из рабочего инструмента – волоки и тянущего устройства, сообщающего обрабатываемому металлу движение через волоку. В зависимости от принципа работы тянущего устройства волочильные станы подразделяются на станы с прямолинейным движением обрабатываемого металла и станы с наматыванием обрабатываемого металла (барабанные). Первые применяются для получения труб, вторые – для проволоки.  
  
**Вредные примеси** Определение: примеси отрицательно влияющие на качество выплавляемой стали.

**Вскрытие руды** Определение: дробление руды до такого состояния, что частицы рудного минерала отделяются от частиц породы и их становится возможным разделить тем или иным способом. Извлечение мелких рудных частиц, находящихся в виде включений в сплошном массиве породы.

## Г

**Гальванотехника** Определение: область прикладной электрохимии, охватывающая процессы электролитического осаждения металлов на поверхность металлических и неметаллических изделий. Г. включает: гальваностегию – получение на поверхности изделий прочно связанных ней тонких металлических покрытий и гальванопластику – получение легко отделяющихся, относительно толстых, точных копий с различных предметов, т. н. матриц. Открытие и техническая разработка Г. принадлежат русскому учёному Б. С. Якоби, о чём он доложил 5 октября 1838 г. на заседании Петербургской АН.  
Принцип гальванического процесса проиллюстрируем конкретным примером. Для никелирования стального изделия его помещают в ванну с раствором никелевой соли, например сернокислого никеля, и включают в электрическую цепь как катод. Анодом служит никелевая пластина приблизительно такой же площади, как и само стальное изделие. Оба электрода подключают к источнику постоянного тока.  
При протекании тока положительные ионы никеля движутся к отрицательному полюсу, т.е. стальному изделию, получают на его поверхности недостающие электроны и осаждаются уже в виде нейтральных атомов. Одновременно на катоде новые атомы никеля превращаются в ионы и переходят в раствор.  
Таким образом, в гальванотехнических процессах важную роль играют аноды, основное назначение которых – восполнять в электролите ионы, разряжающиеся на покрываемых изделиях. Аноды не должны содержать примесей, отрицательно влияющих на внешний вид и структуру покрытий. Все процессы, как гальванопластики, так и гальваностегии протекают в гальванических ваннах. Гальванической ванной называют также состав находящегося в ней электролита. Материалом ванны в зависимости от её размеров и степени агрессивности электролита могут служить: керамика, эмалированный чугун, сталь, футерованная свинцом, органическое стекло и др. Ёмкость ванн колеблется от долей м3 (для золочения) до 10 м3 и более. Гальваностегия применяется шире, чем гальванопластика; её цель придать готовым изделиям или полуфабрикатам определённые свойства: повышенную коррозионную стойкость (цинковани-ем, кадмированием, лужением, свинцеванием), износостойкость трущихся поверхностей (хромированием). Г. применяется для защитно-декоративной отделки поверхности (достигается никелированием, хромированием, покрытием драгоценными металлами). По сравнению с издавна применявшимися методами нанесения покрытий (например, погружением в расплавленный металл) гальвано-стегический метод имеет ряд преимуществ, особенно в тех случаях, когда можно ограничиться незначительной толщиной покрытия.  
Технологический прогресс в гальваностегии развивается по пути получения блестящих покрытий, не требующих дополнительной полировки; прогресс в области оборудования заключается разработке и внедрении агрегатов для механической подготовки поверхности и нанесения покрытий, включая все вспомогательные операции, вплоть до нанесения покрытий на непрерывно движущуюся полосу с последующей штамповкой изделий (например, автомобильные кузова, консервная тара и др.). Отраслями промышленности, в которых гальваностегия имеет значительный удельный вес, являются автомобилестроение, авиационная, электронная промышленность и др.

Гальванопластика отличается от гальваностегии главным образом методами подготовки поверхности предметов-матриц и большей толщиной наращиваемого металла (в десятки и сотни раз). Матрицы бывают металлические и неметаллические. Преимущества металлических матриц заключаются в более лёгкой подготовке поверхности (чаще методом оксидирования) и возможности снятия большего количества копий. Наиболее распространена медная гальванопластика, меньше – железная и никелевая. Основная область применения гальванопластики – полиграфия.

## Д

**Доменный процесс**

Определение: основной способ переработки природного железорудного сырья с получением чугуна (иногда ферро-сплавов и лигатур). Доменная плавка как процесс и доменная печь как агрегат сформировались в конце раннего Средневековья и уже в течение более 500 лет не изменяют своей сущности, сохраняя следующие технические и технологические особенности:

• шахтный принцип конструкции;

• непрерывный характер процесса;

• противоточное движение шихты и газа;

• наличие в одном агрегате зон твердого, пластичного и жидкого состояния.  
Сущность доменного процесса состоит в восстановлении железа из оксидов и получении расплавленного науглероженного металла (чугуна) и шлака, которые легко отделяются друг от друга вследствие различия в плотностях (плотность чугуна примерно в 2,5 раза превышает плотность шлака).  
В любой момент времени доменная печь заполнена железосодержащими материалами: твердыми (в шахте, распаре и на колошнике), размягченными (в заплечиках, распаре и нижней части шахты), жидкими (в горне и металлоприемнике) и коксом, который остается твердым во всем объеме печи. В нижней части печи кокс формирует своеобразную «насадку», которая обеспечивает необходимый газодинамический режим плавки, полноту протекания процессов восстановления железа и науглероживания металла.  
В горне печи располагаются отверстия для выпуска жидких продуктов плавки (летки) и для ввода во внутреннее пространство печи дутья (фурмы). Доменное дутье в общем случае представляет собой воздух (иногда обогащенный кислородом), нагретый до 1000-1350°С, и топливно-восстановительные добавки - природный газ, пылеугольное топливо (ПУТ), мазут и т.п., которые подаются в печь под давлением до 500 кПа (изб.). В горне печи формируется окислительная зона, в которой происходят реакции горения кокса и топливно-восстановительных добавок к дутью, в результате чего получается газ, состоящий из азота, оксида углерода и водорода. В окислительной зоне достигается самый высокий в печи уровень температур (2000-2500°С). Образовавшийся в окислительной зоне газ направляется вверх навстречу опускающимся шихтовым материалам и проходит печь в течение 3-12 сек. По мере продвижения газа наверх печи его температура, количество и состав изменяются. В наиболее значительном количестве к газу добавляется оксид углерода, образующийся в результате реакций восстановления оксидов железа, кремния, фосфора, марганца и др. элементов углеродом коксовой насадки. Состав газа меняется прежде всего вследствие протекания реакций восстановления, в результате чего СО превращается в СО2, а Н2 – в Н2О. Нагревая шихту, газ охлаждается до температуры 100-300°С.  
Выходящий из доменной печи газ является важным энергетическим сырьем, применяемым в различных металлургических печах и ТЭС.  
Опускание шихтовых материалов происходит вследствие освобождения пространства в нижней части печи в результате сгорания кокса у фурм, плавления железорудных материалов и естественной «уминки» шихты.  
Шихтовые материалы загружаются в доменную печь периодически и время их пребывания в печи составляет 5-8 часов. Воспринимая тепло от газов, шихтовые материалы постепенно нагреваются, при этом протекают процессы удаления влаги, разложения карбонатов и восстановления оксидов железа оксидом углерода и водородом.  
При температурах около 1200°С начинается размягчение, а затем плавление материалов с образованием чугуна и шлака. Шлак формируется из пустой породы железорудных материалов, золы кокса и флюса (если он используется при плавке), он является главным регулятором химического состава чугуна.  
Формирование состава чугуна происходит в процессе стекания капель металлического расплава по коксовой насадке и взаимодействия со шлаком. Температура чугуна на выпуске составляет обычно 1380-1420°С, шлака – 1450-1500°С.  
Жидкие продукты плавки выпускают из печи периодически (по мере накопления). Доменная печь является одним из наиболее эффективных материалосберегающих агрегатов; коэффициент извлечения железа в чугун составляет 99,5-99,8 %.  
Доменная печь занимает головное положение в структуре металлургического предприятия. Качество производимого в доменной плавке чугуна определяет параметры последующего сталеплавильного передела, доменный газ служит основой энергетического хозяйства предприятия, в доменной печи утилизируется (через агломерационное производство) большая часть собственных отходов металлургического производства. Доменное производство является практически безотходным, т.к. доменный шлак представляет собой самостоятельную готовую продукцию, пользующуюся спросом не меньшим, чем чугун, а доменные шламы и пыли являются постоянным компонентом шихты агломерационного процесса.

## Ж

**Жаропрочность**  
Определение: способность конструкционных материалов (металлических, керамических, полимерных и др.) выдерживать механические нагрузки при высоких температурах. Для характеристики Ж. наиболее часто используют время до разрушения стандартного образца материала при заданных параметрах механической нагрузки, температуры и газовой среды, в которой проводят испытания.  
  
**Жаростойкость (окалиностойкость)**  
Определение: способность металлических материалов противостоять химическому разрушению поверхности. Разрушение происходит в результате воздействия газообразной среды при высоких температурах. Ж. металла (сплава) в окислительной атмосфере определяется свойствами образующегося на поверхности металла слоя оксидов – окалины. Окалина затрудняет проникновение газа в глубь металла и препятствующей развитию газовой коррозии. Количественной характеристикой Ж. является увеличение массы испытуемого образца за счёт поглощения металлом кислорода.  
  
**Жила**  
Определение: минеральное тело, заполняющее трещину в горной породе. Длина жил полезных ископаемых колеблется от 1 м и менее до 200 км.

## З

**Закалка**  
Определение: термическая обработка материалов, заключающаяся в их нагреве и последующем быстром охлаждении. В результате закалки происходит фиксация высокотемпературного состояния материала и подавляются нежелательные процессы, происходящие при его медленном охлаждении. Закалённая сталь отличается хрупкостью, поэтому после З. её обычно подвергают отпуску. При одной и той же твёрдости сталь, подвергнутая З. с последующим отпуском, более пластична, чем сталь, подвергнутая медленному охлаждению. Это определяет чрезвычайно широкое использование З. стали в технике.

## И

**Изложница**  
Определение: металлическая форма для отливки металла в виде слитка. По конструкции И. подразделяют на глуходонные и сквозные, по способу заливки металла – на заполняемые сверху и заполняемые снизу (сифонная разливка). Для извлечения остывших слитков из изложниц применяют специальные устройства – стрипперы. Для разливки чугуна на разливочных машинах применяют изложницы горизонтального типа – мульды, а для разливки ферросплавов и некоторых цветных металлов используют изложницы в виде невысоких ванн.  
  
**Индукционная**печь  
Определение: электротермическая установка для плавки материалов с использованием индукционного нагрева. В промышленности применяют в основном индукционные тигельные печи.  
Тигельная индукционная печь состоит из индуктора, представляющего собой медную водоохлаждаемую трубку, и тигля. В зависимости от свойств расплава тигель изготовляется из различных керамических материалов, графита, стали и др. В тигельных индукционных печах выплавляют сталь, чугун, драгоценные металлы, медь, алюминий, магний.

## К

**Кислородно-конвертерный процесс** Определение: основной, начиная со второй половины XX века, вид передела жидкого чугуна в сталь путём продувки в конвертере технически чистым кислородом. Использовать чистый кислород при производстве стали в 1856 г. предложил Г. Бессемер. Первые в мире заводы по производству стали кислородно-конвертерным способом были построены в 1953 г. в Линце и Донавице (Австрия). Во многих странах к.-к. п. называют «ЛД-процессом» – по первым буквам названий городов.  
Кислородно-конвертерный процесс осуществляется в конвертере, футерованном доломитом, смешанным со смолой, и с глухим дном. Кислород под давлением более 1 МН/м2 подаётся водо-охлаждаемой фурмой через горловину конвертера. С целью образования шлака, связывающего фосфор, в конвертер в начале плавки добавляют известь.  
Взаимодействуя с кислородом дутья, примеси чугуна (кремний, марганец, фосфор, углерод и др.) окисляются, выделяя значительное количество тепла, поэтому одновременно со снижением содержания примесей повышается температура металла, и он остаётся в жидком состоянии в течение всей плавки. Требуемое содержание углерода определяется по времени от начала продувки и по количеству израсходованного кислорода. Продувка обычно длится 15-22 мин. После её завершения фурму извлекают из конвертера.  
Кислородный конвертер обеспечивает экономичный способ получения стали повышенной прочности. Полученная сталь отличается низким содержанием азота, серы и фосфора, высокой чистотой по содержанию примесей и однородностью.  
  
**Кокс** Определение: (нем. Koks, от англ. Cоkе) – искусственное твёрдое топливо повышенной прочности. Получается при нагревании до высоких температур (950–1150 °С) без доступа воздуха природных топлив или продуктов их переработки. В зависимости от вида сырья различают каменноугольный, электродный пековый и нефтяной К. Основное количество К. производится из каменного угля.  
Процесс коксования каменного угля был разработан отцом и сыном Абрахамом I и Абрахамом II Дерби в начале XVIII в. в Англии. Первая доменная плавка чугуна на К. была осуществлена Абрахамом II Дерби в 1735 г. в Коулбрукдейле. Данное событие имеет важнейшее значение в истории металлургии железа, поскольку с него берёт начало вся современная технологическая структура чёрной металлургии.  
Каменноугольный К. применяют главным образом в доменном процессе. Однако он также используется в литейном производстве (литейный К.), для агломерации руд, в химической промышленности, цветной металлургии и др. В составе каменноугольного К. выделяют: нелетучий углерод (85-92 %), золу (6-14 %), летучие вещества (0,8-1,5 %) и серу (0,4-2,0 %). Влажность К. зависит от способа его тушения и составляет: для «мокрого» (водой) тушения 3-6 %, а для «сухого» (азотом) – 0,4-0,8 %.  
Электродный пековый и нефтяной К. имеют по сравнению с каменноугольным очень низкую зольность, как правило, не выше 0,3% (до 0,8% у нефтяного К.). Они служат основным сырьём для производства электродов.

**Коксовая печь (батарея)** Определение: агрегат, в котором осуществляется коксование каменного угля. Первые коксовые печи («стойловые») стали применять в начале XIX в. Они состояли из кирпичных стенок высотой до 1,5 м и длиной до 15 м, расположенных друг от друга на расстоянии 2-2,5 м. Загруженный в пространство между стенками уголь покрывали сверху и с торцов землёй и поджигали. Коксование продолжалось 8-10 дней. В середине XIX в. были сконструированы пламенные коксовые печи с внешним обогревом.  
В 70-х гг. XIX в. коксовые печи стали оборудовать устройствами для улавливания химических продуктов из коксового газа. Коксовые печи состоят из камеры коксования, обогревательных простенков, расположенных по обе стороны камеры, регенераторов. На верху камеры коксования предусмотрены загрузочные люки, с торцов камера закрыта съёмными дверями. Обогрев камер осуществляется за счёт сжигания в вертикальных каналах простенков коксового, доменного или др. горючего газа. Период коксования одной угольной загрузки составляет 13-18 ч. По окончании коксования раскалённый кокс выталкивают из камеры через дверные проёмы коксовыталкивателем и тушат. Для компактности коксового цеха коксовые печи объединяют в батареи (до 80 коксовых печей в каждой) с общими для всех печей системами подвода отопительного газа, подачи угля, отвода коксового газа.  
  
**Колошник** Определение: верхняя часть шахтной печи, куда загружают рудные материалы, флюсы, топливо.

**Красноломкость** Определение: свойство стали давать трещины в ходе обработки давлением (ковка, штамповка, прокатка) при температурах красного или жёлтого каления (850–1150°С). К. вызывается неравномерным распределением в объеме металла некоторых примесей, главным образом, серы и меди. Для ослабления вредного влияния и устранения К. в сталь вводят элементы (алюминий, титан, цирконий и др.), образующие тугоплавкие сульфиды.

**Красностойкость (теплостойкость)** Определение: способность стали сохранять при нагреве до температур красного каления высокую твёрдость и износостойкость. К. достигается легированием стали вольфрамом, молибденом, ванадием, хромом, а также высокотемпературной закалкой. К. определяют по максимальной температуре, при нагреве до которой сталь сохраняет определённую твёрдость.

**Крица** Определение: твёрдая губчатая масса железа со шлаковыми включениями, заполняющими поры и полости. Крица может быть получена либо непосредственно из руды путём её восстановления при 1250–1350°С, либо путём кричного передела чугуна. Крица, формировавшаяся в результате сыродутного процесса, была первым продуктом переработки железной руд, полученным человеком. Кричное железо эпохи Древнего Мира и Средневековья отличалось крайне неравномерным химическим составом и требовало длительной трудоёмкой специальной обработки для придания ему необходимых потребительских свойств.

**Кричнорудный процесс** Определение: одна из современных модификаций сыродутного процесса. Предназначен для переработки бедных труднообогатимых или комплексных железных руд с целью получения железной крицы. Впервые осуществлен на заводе фирмы Крупп в Магдебурге (Германия) в 1931-1933 гг. В связи с неэкономичностью и невысоким качеством продукции кричнорудный процесс во второй половине XX века утратил промышленное значение.

## Л

**Легирование** Определение: Легирование (нем. legieren – сплавлять, от лат. ligo – связываю, соединяю), введение в состав металлических сплавов химических элементов для придания определённых физических, химических или механических свойств.  
Легирование применялось ещё в глубокой древности (об этом свидетельствуют исследования образцов холодного оружия, найденного при археологических раскопках). Широкое промышленное распространение легирование получило во второй половине XX в., когда для изготовления военной техники требовалось большое количество высококачественных сталей.  
Легирование осуществляется путём введения легирующих элементов (в составе специальных материалов, например, при легировании стали ферросплавов) в расплав легируемого металла.  
  
**Лётка** Определение: отверстие в некоторых металлургических печах (главным образом шахтных) для выпуска металла или шлака.

М**артеновский процесс** Определение: основной в конце XIX и первой половине XX вв. способ выплавки литой стали заданного химического состава. Сущность мартеновского процесса заключается в ведении плавки на поду пламенной отражательной печи, оборудованной регенератором для предварительного подогрева воздуха (иногда и газа). Сталь получается в результате окислительной плавки загруженных в печь железосодержащих материалов – чугуна, стального лома, железной руды и флюсов и сложных процессов взаимодействия между металлом, шлаком и газовой средой.  
Идеи организации передела железного лома и чугуна в сталь на поду пламенной печи высказывались неоднократно многими учёными (например, в 1722 г. А. де Реомюром), однако осуществить процесс на практике долгое время не удавалось, потому что температура факела (менее 1500 °С) основного газообразного топлива XVIII-XIX вв. – генераторного газа – была недостаточной для получения жидкой стали. В 1856 г. Братья Ф. и В. Сименс (Германия) предложили использовать для подогрева расходуемого для сжигания воздуха тепло горячих отходящих газов, устанавливая для этого регенераторы. В 1864 П. Мартен (Франция) ввел в эксплуатацию первую регенеративную отражательную печь для плавки литой стали. В России первая мартеновская печь была построена С.И. Мальцевым в 1867 г. на Ивано-Сергиевском железоделательном заводе. Во Франции, России и других странах процесс получил название «мартеновского», в Германии – «сименс-мартеновского», в США – «Open hearth process» (процесс на открытом поду).  
Главными преимуществами, которыми мартеновский процесс отличался от других способов массового получения стали в конце XIX века и 1-й половине XX века были возможность использования в шихте больших количеств металлолома и возможность выплавки высоколегированных сталей практически любого состава. Однако в связи с интенсивным развитием в 60-х годах XX века кислородно-конвертерного производства строительство мартеновских цехов прекратилось.

**Металлизация**  
Определение: нанесение на поверхность изделия слоя металла или сплава для придания ему физико-химических и механических свойств, отличных от свойств металлизируемого (исходного) материала. М. Применяют, главным образом, для защиты изделий от коррозии, износа и в декоративных целях.  
М. может подвергаться изделие холодное или нагретое до относительно низких температур. Главными способами М. являются: электролитические (гальванотехника), химические, напыление и плакирование.  
  
**Металлический фонд** Определение: количество металла, содержащегося во всех основных и оборотных фондах народного хозяйства и в предметах личной собственности населения. Формирование металлического фонда страны (фонда черных металлов) происходит в основном за счет выплавки чугуна. На его формирование влияет также импорт черных металлов и металлоизделий, если общий объем импорта превышает экспорт черных металлов.  
  
**Металлография**  
Определение: наука о структуре металлов и сплавов. М. исследует макроструктуру и микроструктуру металла, изучает закономерности изменения механических, электрических, магнитных, тепловых и др. физических свойств металла в зависимости от изменения его структуры. Основы металлографии были заложены А. де Реомюром, который в начале XVIII в. впервые применил микроскоп для исследования поверхности стальных изделий, предложил подразделение чугуна по виду излома его образцов и способ измерения твёрдости чугуна и стали с помощью семиступенчатой склерометрической шкалы (греч. «склерос» – твёрдый).  
Макроструктура характеризуется формой и расположением в объёме металла крупных кристаллитов (зёрен), распределением примесей и неметаллических включений. Микроструктура металлического материала определяется формой, размерами, относительным количеством и взаимным расположением кристаллов, имеющих однообразный вид.

**Металлолом** Определение: начиная с XX века, один из важнейших металлургических ресурсов. Лом благородных и редких металлов рассматривается в индустриально развитых странах мира в качестве национального стратегического резерва. Из лома в настоящее время производится почти 30% всего получаемого в мире свинца и до 25% – алюминия. Особое значение имеет стальной металлолом. Уровень переработки стального лома достиг в 1995-2000 гг. в среднем 40-43%, а в отдельных странах (Япония, США) превысил 50% от общего объема производимой из железа продукции.  
Металлолом принято подразделять на оборотный, амортизационный и лом металлообработки.  
Оборотный лом (скрап) – образуется на металлургических предприятиях в ходе производства стального проката и других видов стальных полупродуктов в виде отходов. Количество оборотного лома непрерывно снижается за счет внедрения новых способов производства стали. Наиболее значительное снижение образования оборотного лома (в среднем с 250 до 100 кг скрапа/т проката) было достигнуто в результате внедрения в период 1960-1980 гг. технологии непрерывного литья стальных заготовок для проката. Лом металлообработки – образуется в процессах переработки стального проката в товарную продукцию. Объем образования этого вида лома также непрерывно снижается за счет совершенствования процессов металлообработки.  
Амортизационный лом – состоит из стальных, чугунных, железных продуктов, выработавших срок их использования (списанных после окончания срока службы). Спектр амортизационного лома чрезвычайно широк, он включает в себя металлические приборы, автомобили, металлическую тару, электроприборы и т.д. Химический состав амортизационного лома сильно разнится в зависимости от его происхождения и способа обработки. Средний срок службы стальных конструкций в развитых индустриальных странах оценивается в 15 лет, а автомобилей и электрооборудования в 3-5 лет. Поэтому количество амортизационного лома непрерывно возрастает. В 2002 году в мире из лома было получено 374 млн. тонн стали при общем уровне ее производства 828,5 млн. тонн.

## Н

**Нагревательная печь** Определение: промышленная печь для нагрева металлических слитков и заготовок перед обработкой давлением (прокатка, ковка, штамповка и т.д.). Нагревательные печи отличаются большим разнообразием конструкций и подразделяют по методу работы: периодические (например, нагревательный колодец, камерная печь) и непрерывные (например, методическая печь, кольцевая печь, карусельная печь).

**Никелирование** Определение: нанесение на поверхность изделий никелевого покрытия (толщиной от 1 до 50 мкм). Н. подвергаются преимущественно изделия из стали и сплавов на основе Cu, Zn и Al, керамика, пластмассы, фарфор, стекло и др. Н. применяется для защиты изделий от коррозии, повышения износостойкости деталей, а также в декоративных целях.

## О

**Окатыши железорудные** Определение: продукт окускования железорудных концентратов. Увлажнённая смесь концентрата обогащения железной руды с флюсом (известняком или доломитом) и связующими добавками (доломитом) окомковывается в тарельчатых грануляторах или барабанах-окомкователях. Получаемые при этом сырые окатыши на конвейерных машинах, конструкция которых аналогична агломерационным, или в шахтных печах обрабатываются продуктами сжигания природного газа при температуре 1100-1150 °С. Обожжённые о.ж. обладают высокой прочностью и идеально подходят для транспортировки на большие расстояния к металлургическим комбинатам, где они перерабатываются в доменных печах или установках внедоменного получения железа. Размеры окатышей составляют 10-30 мм, содержание железа – 60-68 % (масс.).

**Оксидирование** Определение: (нем. oxydieren – окислять), целенаправленное промышленное окисление поверхности металлических изделий. Образующаяся в результате О. окалина предохраняет изделия от коррозии, служит в качестве электроизоляции, является основой для нанесения защитных покрытий – лаков, красок, смазки и т.д. Некоторые виды О. имеют декоративное значение, например, воронение, патина. О. осуществляется химическими (в результате контакта с воздухом или щелочами, кислотами) или электрохимическими (анодирование) методами. О. подвергают изделия из стали, чугуна, алюминиевых, медных, цинковых и др. сплавов.  
  
**Отпуск металло** Определение: способ термической обработки, включающий нагрев закалённого сплава до заданной температуры, выдержку и последующее охлаждение. Главная цель О. заключается в достижении оптимального сочетания прочности, пластичности и ударной вязкости сплава. С повышением температуры О. твёрдость и прочность понижаются, пластичность и ударная вязкость повышаются.

## П

**Патентирование** Определение: вид термической обработки стали, включающий её закалку, выдержку в расплаве соли или свинца при температуре 450-550 °С и последующее охлаждение. П., часто применяется для обработки проволоки, которой придают высокую прочность и пластичность.

**Плазматрон** Определение: плазменный генератор – газоразрядное устройство для получения «низкотемпературной» (Т ~ 104 К) плазмы. Плазматроны используются главным образом в промышленности в качестве нагревательных устройств. Но их также применяют и в конструкции плазменных двигателей. Начало использования плазматронов в промышленности относится к середине XX в. Широкое распространение получили дуговые и высокочастотные (ВЧ) плазматроны.  
Дуговой плазматрон постоянного тока состоит из одного (катода) или двух (катода и анода) электродов, разрядной камеры и узла подачи плазмообразующего вещества.  
ВЧ П. включает: электромагнитную катушку-индуктор или электроды, подключенные к источнику высокочастотной энергии, разрядную камеру, узел ввода плазмообразующего вещества. С помощью индукционных плазматронов получают особо чистые порошковые материалы.

**Подготовка железных руд к плавке** Определение: обработка железных руд или железосодержащих материалов, предшествующая их использованию в металлургических агрегатах. Подготовка железных руд к плавке необходима в связи с высоким уровнем требований к качеству материалов, используемых в доменных печах и агрегатах внедоменного получения железа

Подготовка железных руд к плавке применялась уже в эпоху Древнего Мира при использовании сыродутного процесса. В это время она заключалась в механической обработке и сортировке железной руды с выделением кусков (фракций) размером от 10 до 40 мм. Иногда подготовка железных руд к плавке включала обжиг кусковой железной руды с целью удаления из неё влаги и некоторых летучих соединений.  
К концу XIX в. основная часть месторождений железных руд, обеспечивающая потребности металлургии в кусковых материалах, была выработана. Для обеспечения промышленности сырьём с высоким содержанием железа стали широко использовать процессы обогащения (в основном, магнитную сепарацию). Получаемый при этом концентрат с содержанием железа от 60 до 70 % и крупностью частиц менее 74 мкм нельзя использовать непосредственно в доменных печах. Его необходимо подвергать окускованию для получения материалов фракции от 10 до 40 мм.  
Основными способами окускования в настоящее время являются процессы агломерации и производства обожжённых железо-рудных окатышей.  
  
**Прокатка стали** Определение: обработка стальной заготовки давлением между вращающимися валками. Получение стального проката на металлургическом предприятии осуществляется двумя способами. При первом исходным материалом служат слитки, которые перерабатываются в готовый прокат в 2 стадии.  
Сначала слитки нагревают и прокатывают на обжимных станах в заготовку. Размеры и форма заготовки зависят от её назначения: для прокатки листового и полосового металла применяют заготовки прямоугольного сечения шириной 400-2500 мм и толщиной 75-600 мм, называемые слябами; для сортового металла – заготовки квадратного сечения размером от 60×60 см до 400×400 мм, а для цельнокатаных труб – круглого сечения диаметром 80-350 мм.  
При втором способе, применяемом с середины XX века, прокатка исходной заготовки заменяется непрерывным литьём (разливкой) на специальных машинах. Благодаря применению непрерывно-литой заготовки упраздняются слябинги и блюминги, повышается качество проката, устраняются потери, связанные с обработкой слитка, достигающие 15-20 %.  
Полученная заготовка прокатывается в товарный стальной прокат на станах трёх основных видов: листовых, сортовых и трубных.  
Листы толщиной от 4 до 50 мм и плиты толщиной до 350 мм прокатываются на толстолистовых или броневых станах, а листы толщиной от 1,2 до 20 мм – на непрерывных станах, на которых они получаются в виде длинных (более 500 м) полос, которые сматываются в рулоны. Листы толщиной менее 1,5-3 мм прокатывают в холодном состоянии.  
Прокатка сортового металла включает нагрев до 1100-1250 °С и последовательную прокатку в нескольких клетях для постепенного приближения сечения исходной заготовки к сечению готового профиля.  
Прокатка труб включает 3 основные операции и проводится, как правило, в горячем состоянии. Первая операция (прошивка) – образование отверстия в заготовке или слитке. В результате получается толстостенная труба, называемая гильзой. Вторая операция (раскатка) – удлинение гильзы и уменьшение толщины её стенки. Первая операция выполняется на прошивных станах винтовой прокатки, вторая – на различных прокатных станах: непрерывных, пилигримовых, винтовой прокатки и др. Третья операция – калибровка (или редуцирование) труб после раскатки, осуществляется на калибровочных станах. С целью уменьшения толщины стенки и диаметра, получения более высоких механических свойств, гладкой поверхности и точных размеров трубы после горячей прокатки подвергаются холодной прокатке на специальных станах.  
После завершения п. с. осуществляется резка проката на части требуемой длины, отжиг (при необходимости), охлаждение, контроль и упаковка готовой продукции.  
  
**Прокатный профиль** Определение: металлическое изделие, полученное прокаткой. Различают П. п. с постоянным и переменным поперечным сечением по длине и специальные. К 1-му виду относятся П. п. сортовой стали, имеющие простую геометрическую форму (например, круг, прямоугольник, квадрат) и т. н. фасонные профили, представляющие собой сочетания простых профилей (например, угловые П. п., двутавровые балки) листы, трубы. Ко 2-му виду относятся т. н. периодические профили, к 3-му – колёса, шестерни, шары, ребристые трубы и др. изделия.  
  
**Прокатный стан** Определение: машина для осуществления процесса прокатки. Время и место появления первого П. с. неизвестны. Наиболее ранний документ (рисунок с описанием), характеризующий устройство для прокатки олова, оставлен Леонардо да Винчи (1495 г.). До конца XVII в. привод П. с. был ручным, в XVIII в. – водяным. Электродвигатель для привода П.с. впервые был применён в 1897 г. в Германии.  
В конце XVIII в., когда для привода П. с. стали применять паровые машины, прокатка превратилась в один из трёх основных этапов производственного цикла металлургического производства, вытеснив менее производительный способ ковки. П. с. с калиброванными валками был сконструирован в 1783 г. Г. Кортом (Великобритания). В 30-40-х гг. XIX в. в связи с интенсивным развитием железнодорожного транспорта широкое распространение получила прокатка рельсов.  
Развитие конструкций и специализация П. с. привели к появлению в США в конце XIX в. блюмингов и слябингов. В 1867 г. Г. Бедсон (Великобритания) построил первый проволочный стан. В 1885 г. братья М. и Р. Маннесман (Германия) изобрели способ винтовой прокатки бесшовных труб.  
Главный признак, определяющий устройство П. с., – его назначение в зависимости от сортамента продукции. П. с. подразделяют на заготовочные, в том числе блюминги и слябинги, листовые и полосовые, сортовые, трубопрокатные и деталепрокатные.  
Оборудование П. с., служащее для деформации металла между вращающимися валками, называют основным, а для выполнения прочих операций – вспомогательным. Основное оборудование состоит из одной или нескольких главных линий, в каждой из которых располагается 3 вида устройств: рабочие клети (одна или несколько); электродвигатели для вращения валков и передаточные устройства от электродвигателей к прокатным валкам. Наибольшее распространение получили станы с горизонтальными валками: двухвалковые (дуо), трёхвалковые (трио), четырёхвалковые (кварто) и многовалковые. Для обжатия металла по боковым поверхностям используют клети с вертикальными валками, называемые эджерами. Станы, у которых вблизи горизонтальных валков расположены вертикальные, называются универсальными. В станах винтовой прокатки валки располагаются в рабочей клети косо. Такие станы применяют для прокатки труб, осей, шаров и т.д.  
Толстолистовые, листовые и полосовые станы горячей прокатки предназначены для получения плит толщиной 50-350 мм, листов толщиной 3-50 мм и полос (сматываемых в рулоны массой 15-50 т) толщиной 1,2–20 мм.  
Сортовые станы разнообразны по своей характеристике и расположению оборудования. Основные типы: универсальные, рельсобалочные, крупносортные, среднесортные, мелкосортные и проволочные.  
Трубопрокатные агрегаты состоят обычно из 3 станов. Первый стан производит прошивку отверстия в заготовке или слитке методом винтовой прокатки, второй служит для вытяжки прошитой заготовки в трубу и третий – для калибровки (редуцирования), т. е. уменьшения диаметра прокатанной трубы.  
Деталепрокатные станы работают используя винтовую прокатку и служат для производства точных заготовок деталей машиностроения: круглых валов, шаров, винтов, зубчатых колёс, фрез, свёрл и др.  
Конструкция главных деталей и механизмов П. с., несмотря на их различное назначение и многообразие, в основном одинакова. Она включает валки прокатные, подшипниковые узлы, механизмы для установки валков, станину, муфты.

## Р

**Разливка металла** Определение: процесс наполнения жидким металлом форм, в которых металл кристаллизуется, образуя слитки. Разливка металла отличают от литья, при котором металл, затвердевая, образует готовые изделия или заготовки для механической обработки. Разливка металла – важный этап технологического цикла производства металла, т.к. в ходе разливки и кристаллизации слитка формируются многие физико-механические свойства металла. Из плавильного агрегата расплавленный металл обычно выпускают в разливочный ковш, из которого и осуществляется разливка металла.  
В сталеплавильном производстве жидкую сталь из ковша разливают либо в изложницы, либо на установках непрерывной разливки стали. Существует 2 способа разливки стали в изложницы – сверху и сифоном (снизу). В первом случае сталь поступает непосредственно из ковша в изложницу. При сифонной разливке одновременно заполняют сталью несколько изложниц (от 2 до 60), установленных на одном поддоне. В поддоне имеются каналы, по которым сталь поступает в изложницы снизу. Для повышения качества стали в процессе разливки её иногда подвергают различным видам обработки, например, в вакуумных установках или синтетическими шлаками.  
Для разливки чугуна, цветных металлов и ферросплавов широко применяют разливочные машины.  
  
**Разливочная машина** Определение: устройство для механизированной разливки жидкого металла (с целью получения слитков), а также штейна и некоторых шлаков. Ленточная Р. м., используемая для разливки чугуна, представляет собой наклонный конвейер из двух параллельных бесконечных цепей. К цепям прикреплены чугунные изложницы-мульды, причём каждая мульда одним своим краем немного перекрывает соседнюю, чтобы жидкий металл не проливался в зазоры между ними.  
К нижнему концу машины подаётся ковш с металлом, который при наклоне ковша заливается в мульды. Чугун в мульдах обрызгивается водой и охлаждается. В верхней части конвейера мульды переворачиваются, чушки (слитки затвердевшего чугуна) вываливаются из них и попадают по жёлобу на ж.-д. платформу или в вагонетку. Опрокинутые пустые мульды движутся в обратном направлении, при этом они обдуваются паром и обрызгиваются известковым молоком. Масса одной чушки чугуна составляет от 8 до 55 кг. Подобного типа машины используют и для разливки ферросплавов, цветных металлов, шлаков цветной металлургии. Кроме того, в цветной металлургии применяют карусельные Р. м. – вращающиеся столы с мульдами, в которые по жёлобу заливается жидкий металл.  
  
**Раскисление металлов** Определение: процесс удаления из расплавленных металлов (главным образом стали) растворённого в них кислорода, который является вредной примесью, ухудшающей механические свойства металла. Для раскисления металлов применяют элементы, характеризующиеся большим сродством к кислороду, чем основной металл. Продукты раскисления в виде неметаллических включений ассимилируются жидким шлаком.  
  
**Руда железная** Определение: горная порода, переработка которой экономически выгодна на данной стадии развития техники. Слагающие руду минералы подразделяются на рудные, несущие в себе главную массу всего железа руды, и пустую породу – минералы, содержащие железо в незначительных количествах.  
До конца XIX в. кусковые (размером более 10 мм) р. ж. С содержанием железа свыше 50 % (масс.) непосредственно использовались в металлургическом производстве. Однако к началу XX века они были практически полностью выработаны и началось использование р. ж. с содержанием железа 25-35 % (масс.) и большим количеством кварцевой пустой породы (т. е. железистых кварцитов). Переработка железистых кварцитов требует обязательного обогащения р. ж. и применения металлургических флюсов, содержащих CaO и MgO.

## С

**Скрап** Определение: в широком смысле – весь оборотный лом, образующийся на металлургическом предприятии; в узком смысле – остатки в ковшах, канавах и т.п. и выплески жидкого металла (например, при осуществлении процесса разливки). У потребление термина в узком смысле подчёркивает высокую засорённость материала включениями шлака, футеровки и других огнеупорных материалов и т.п.  
  
Слиток  
Определение: литая металлическая заготовка, предназначенная для дальнейшей переработки путём пластической деформации (прокатка, ковка, прессование), переплава или электролиза. С. получают разливкой жидкого металла в изложницы или методом непрерывного литья в водоохлаждаемом кристаллизаторе.  
С., отлитые в изложницы, как правило, имеют форму усечённых пирамиды или конуса. С., отлитые методом непрерывного литья, имеют форму призм многоугольного сечения или цилиндров. Иногда отливают С. более сложной формы, например полые.  
Масса С., предназначенных для обработки давлением составляет от нескольких килограммов до 250 т и более. Наиболее употребительны стальные С. массой от 0,5 до 20 т.  
С. чугуна и некоторых цветных металлов, предназначенные для переплава, имеют обычно форму небольших усечённых пирамид. Такие С. называются чушками. Их масса не превышает, как правило, 30-50 кг.

**Сляб** Определение: (англ. slab, – плита, пластина), полупродукт металлургического производства, представляющий собой стальную заготовку прямоугольного сечения. Ширина С. 400-2500 мм, высота (толщина) 75-600 мм. С. получают из слитков прокаткой на обжимных станах (слябингах и блюмингах) или непосредственно из жидкого металла на установках непрерывного литья. Предназначены С. для прокатки листовой стали.  
  
**Сталь** Определение: (нем. Stahl) – ковкий сплав железа с углеродом (до 2,2 % (масс.)) и другими элементами, начиная со 2-ой половины XIX в. – основной конструкционный материал цивилизации. По химическому составу с. подразделяют на углеродистые и легированные, по назначению: на конструкционные, инструментальные и специальные (например, жаропрочные, нержавеющие и т.д.).

**Старение металлов** Определение: способ термической обработки, обеспечивающий получение комплекса требуемых механических и физических свойств изделий из металлов и сплавов. Старение является основным способом упрочнения сплавов на основе Al, Mg, Cu, Ni.  
  
**Сыродутный процесс** Определение: процесс получение тестообразного железа непосредственно из руды в сыродутных горнах или небольших печах шахтного типа. Сыродутный процесс — древнейший способ производства железа, возникший во 2-м тысячелетии до н. э. Первоначально Сыродутный процесс осуществлялся в сыродутных горнах, работавших на естественной тяге, для чего в нижней части устраивалась открытая фурма. Горн наполовину заполняли древесным углём, а затем поочерёдно небольшими слоями загружали железную руду и древесный уголь в кусках размером от 10 до 40 мм. Розжиг древесного угля осуществляли через отверстие в нижней части горна, служившее также для вытекания из печи шлака. Температура в рабочем пространстве горна (1100–1350 °С) была недостаточной для расплавления железа, поэтому продуктом процесса была железная крица. Её извлекали из горна (часто в раскалённом состоянии) и проковывали для уплотнения (сваривания) и освобождения от шлака и включений несгоревшего угля. Совершенствование конструкции сыродутного горна происходило в направлении увеличения его высоты и поперечных размеров. Уже в эпоху Древнего Мира высота горна достигла человеческого роста, а для дутья стали применять специальные устройства – меха. В Средневековье высота сыродутных горнов достигла 4-5 м, при этом условия плавки изменились таким образом, что в печах стало возможным производить жидкий продукт – чугун. С этого момента (около XI-XII вв.) горны превратились в шахтные печи (сначала домницы, а потом – доменные печи).

## Т

**Твёрдость металлов** Определение: сопротивление металлов вдавливанию, определяется их прочностью и пластичностью. Для измерения Т. м., как правило, пользуются методом вдавливания. Величина твёрдости измеряется числами твёрдости и характеризуется отношением нагрузки к поверхности отпечатков, специально используемых для этой цели предметов. Отпечатки обычно производят шариком из закалённой стали (методы Бринелля, Роквелла), алмазным конусом (метод Роквелла) или алмазной пирамидой (метод Виккерса). Числа твёрдости указываются в единицах НВ (метод Бринелля), HV (метод Виккерса), HR (метод Роквелла), где Н от английского hardness — твёрдость.  
  
**Термическая обработка металлов** Определение: процесс обработки изделий из металлов и сплавов путём теплового воздействия с целью изменения их структуры и свойств в заданном направлении.  
В эпоху энеолита при применении холодной ковки самородной меди первобытный человек столкнулся с явлением наклёпа, затрудняющим изготовление изделий с тонкими лезвиями и острыми наконечниками. Для восстановления пластичности необходимо было нагревать холоднокованую медь в очаге. Наиболее ранние свидетельства о применении смягчающего отжига наклёпанного металла относятся к 6-му тысячелетию до н. э. Такой отжиг стал первой операцией Т. о. металлов. При обработке предметов из железа, полученного с использованием сыродутного процесса, кузнец нагревал железную заготовку для горячей ковки в древесноугольном горне. При этом железо науглероживалось, то есть происходила цементация – одна из разновидностей химико-термической обработки. При охлаждении кованого изделия из науглероженного железа в воде происходило резкое повышение его твёрдости и улучшение эксплуатационных характеристик. Закалка в воде высокооловянной, свинцовой бронзы и науглероженного железа широко применялась уже во 2-ом тысячелетии до н. э. Цементацию железа в древесном угле или органическом веществе, закалку и отпуск стали повсеместно применяли в эпохи Древнего Мира и Средневековье. До середины XIX в. знания человека о Т. о. металлов представляли собой совокупность рецептов, выработанных на основе многовекового опыта. Потребности развития техники, и в первую очередь развития сталепушечного производства обусловили превращение Т. о. металлов из искусства в науку. Д. К. Чернов на Обуховском сталелитейном заводе в Петербурге, изучая под микроскопом протравленные шлифы, приготовленные из дул орудий, и наблюдая строение изломов в месте разрыва, сделал вывод, что сталь тем прочнее, чем мельче её структура. В 1868 Чернов открыл внутренние структурные превращения в охлаждающейся стали, происходящие при определённых температурах. которые он назвал критическими точками а и b. Если сталь нагревать до температур ниже точки а, то её невозможно закалить, а для получения мелкозернистой структуры сталь следует нагревать до температур выше точки b. Открытие Черновым критических точек структурных превращений в стали позволило научно обоснованно выбирать режим Т. о. для получения необходимых свойств стальных изделий.  
В 1906 А. Вильм (Германия) на изобретённом им дуралюмине открыл эффект «старения» металлов после закалки – важнейший способ упрочения сплавов (алюминиевых, медных, никелевых, железных и др.). В 30-е гг. XX в. была разработана технология термомеханической обработки стареющих медных сплавов, а в 50-е – термомеханическая обработка сталей, позволившая значительно повысить прочность изделий.  
Т. о. металлов подразделяется на собственно термическую, заключающуюся только в тепловом воздействии на металл, химико-термическую, сочетающую тепловое и химическое воздействия, и термомеханическую, сочетающую тепловое воздействие и пластическую деформацию. Собственно термическая обработка включает: отжиг, закалку, старение и отпуск.

**Термическая печь** Определение: промышленная печь для проведения различных операций термической или химико-термической обработки металлических изделий. Т. п. подразделяют по методу работы: периодические и непрерывные.  
Для термической обработки проката из черных и цветных металов в металлургической промышленности, как правило, применяют непрерывные Т. п. разнообразной конструкции: с роликовым подом, протяжные, конвейерные. В машиностроительной промышленности при индивидуальном или мелкосерийном производстве применяют периодические Т. п., из которых наиболее распространены печи: с выкатным подом, ямные и индукционные.

**Термомеханическая обработка металлов** Определение: ТМО – совокупность операций деформации, нагрева и охлаждения, применяемых в различной последовательности, в результате которой формируется окончательная структура металла или сплава, обеспечивающая необходимые потребительские свойства и качественные характеристики изделий.

## У

**Уклад**  
Определение: железные заготовки, полуфабрикаты для последующего кузнечного передела в изделия. Усталость материалов Определение: изменение механических и физических свойств материала под длительным действием циклически изменяющихся нагрузок. Изменение состояния материала при усталостном процессе отражается, прежде всего, на его механических свойствах. Эти изменения зависят от исходных свойств, истории нагружения и влияния среды. На определённой стадии начинаются необратимые явления снижения сопротивления материала разрушению, называемые усталостным повреждением. Сначала в структурных составляющих металла или сплава образуются микротрещины, которые на дальнейших стадиях перерастают в макротрещины, что в итоге приводит к окончательному разрушению конструкции или изделия.  
Количественно усталостный процесс описывается зависимостью между размером накопленного повреждения и числом циклов или длительностью нагрузок. Соответствующая зависимость между числом циклов и стадией повреждения (возникновением трещины или окончательным повреждением) называется кривой усталости. Эта кривая – основная характеристика У. м.

## Ф

**Факел**  
Определение: поток топлива, воздуха и раскаленных продуктов сгорания, в котором протекают процессы горения.

Ферросплавы Определение: полупродукты металлургического производства – сплавы железа с ванадием, кремнием, марганцем, хромом и др. элементами, используемые при выплавке стали для раскисления и легирования жидкого металла, связывания вредных примесей, придания металлу требуемой структуры и свойств, а также при получении других Ф. (т. н. передельные Ф.).

**Флюс металлургический** Определение: материал, вводимый в шихту для понижения температуры плавления пустой породы, ошлакования золы твёрдого топлива, придания металлургическому шлаку необходимого химического состава и физических свойств. Ф. м. подразделяют на основные (известняк и доломит), кислые (кварцит) и нейтральные (глинозём). Поскольку пустая порода железных руд преимущественно крмнезёмистая (кислая), то в большинстве процессов чёрной металлургии роль флюса обычно выполняют материалы, содержащие основные оксиды кальция и магния.  
  
**Фурма** Определение: (от нем. Form, буквально – форма) – устройство для подачи дутья (газообразных компонентов процесса, например, воздуха, кислорода, природного газа и т.п.) в металлургические печи или для продувки металлической ванны при выплавке стали или цветных металлов. В доменных печах Ф. представляет собой сопло с водоохлаждаемой рубашкой, а в вагранках и других шахтных печах – отверстие щелевидного сечения в стенке агрегата. В конвертерах и мартеновских печах Ф. – труба для подачи кислорода с наконечником специальной конструкции и водоохлаждаемой рубашкой, снабженная механизмом для подъёма, опускания и замены. Кроме дутья различного состава, через Ф. могут подаваться (вдуваться) порошкообразные и жидкие материалы (например, пылеугольное топливо и мазут в доменном процессе).

**Футеровка** Определение: (от нем. Futter – подкладка, подбой), защитная внутренняя облицовка металлургических и тепловых агрегатов и их частей (печей, топок, ковшей, боровов, труб и др.), а также химических аппаратов, травильных ванн и т.п. Выполняется из кирпичей, плит, блоков, бетонов, набивных масс и т. н. торкретмасс. В зависимости от назначения и вида материала Ф. может быть огнеупорной, кислотоупорной, теплоизоляционной.

## Х

**Химико-термическая обработка металлов** Определение: совокупность технологических процессов, приводящих к изменению химического состава, структуры и свойств поверхности металла без изменения состава, структуры и свойств его внутренних зон. Осуществляется с помощью насыщения поверхности различными элементами при повышенных температурах. Насыщение поверхности изделий из железа чаще всего производят углеродом (цементация), азотом (азотирование), азотом и углеродом (цианирование), металлами, кремнием (силицирование) и т.д.  
  
**Хромирование** Определение: – нанесение хрома или его сплавов на металлическое изделие для придания поверхности комплекса физико-химических свойств: сопротивления коррозии, износостойкости, жаростойкости, высоких механических и электромагнитных свойств. В зависимости от характера взаимодействия поверхности изделия с хромом процесс Х. осуществляется различными способами, среди которых наиболее распространен электролитический.  
Электролитическое Х. – гальванический процесс, вошедший в промышленную практику в 20-х гг. XX в. Х. подвергают преимущественно изделия из стали и чугуна, а также из сплавов на основе меди, цинка, никеля и алюминия. Хромовое покрытие характеризуется высокой химической стойкостью, обусловленной способностью хрома пассивироваться. Осажденный на предварительно отполированную поверхность хром имеет зеркальный блеск и серебристый с синеватым отливом цвет.

## Ц

**Цвета каления стали** Определение: окраска металла при нагреве свыше 500 °С. При температурах свыше 1200 °С переходит в свечение («белое каление») (см. табл.). До появления пирометров по ц. к. определяли температуры термической (закалка, отпуск), химико-термической (цементация, цианирование) и термомеханической обработки стали.  
  
**Цвета побежалости стали** Определение: радужная окраска, появляющаяся на чистой поверхности нагретой стали в результате образования на ней тончайшей оксидной плёнки. Толщина плёнки зависит от температуры нагрева стали; плёнки разной толщины по-разному отражают световые лучи, чем и обусловлены те или иные Ц. п. (см. табл.). На легированных (особенно высоколегированных) сталях те же Ц. п. появляются при более высоких температурах. До появления пирометров по Ц. п. судили о температуре нагрева стали.  
  
**Цех**  
Определение: производственное подразделение промышленного предприятия, выполняющее определенные технологические процессы, либо производящееопределенную продукцию:  
•    Бессемеровский цех - цех по производству стали в бессемеровских конверторах;  
•    Доменный цех - цех по производству чугуна в доменных печах;  
•    Кислородно-конверторный цех - цех по производству стали в кислородных конверторах;  
•    Мартеновский цех - цех по производству стали в мартеновских печах;  
•    Электросталеплавильный цех - цех по производству стали в электрических печах;  
•    Копровый цех - цех по приемке и подготовке вторичных черных металлов к их дальнейшему использованию в сталеплавильных агрегатах

## Ш

**Шлак** Определение: (от нем. Schlacke) металлургический – расплав, формирующийся из пустой породы металлсодержащих шихтовых материалов, золы топлива, металлургических флюсов и, в некоторых случаях, футеровки металлургических агрегатов. Синтетический Ш. готовится до плавки и вводится в агрегат для ускорения шлакообразования или применяется для специальной обработки металла.  
После затвердевания Ш. представляет собой камневидное или стекловидное вещество. В составе металлургических Ш. выделяют главные компоненты, как правило, оксиды алюминия (Al2O3), кальция (CaO), кремния (SiO2) и магния (MgO). Ш. играют важную роль в физико-химических процессах металлургического производства: они очищают металл от нежелательных примесей и предохраняют от вредного воздействия газовой среды печи (т. е. от окисления и газонасыщения). До середины XX века металлургические шлаки рассматривались, в основном, как отходы производства и складировались специальных отвалах. Но во второй половине столетия Ш. чёрной металлургии превратились в самостоятельный продукт металлургического производства. Наиболее широко они используются при получении цемента, в дорожном строительстве, в качестве сельскохозяйственных удобрений. Из доменного Ш. изготовляются: гранулированный Ш., применяемый в производстве цемента и шлакоблоков; пемза – лёгкий заполнитель бетонов; щебень; литые изделия; шлаковая вата. Из сталеплавильных Ш. получают щебень для дорожного строительства. Ферросплавные Ш. перерабатываются на известковую муку, щебень и шлаковый песок для строительства. Из природнолегированного чугуна получают конвертерный шлак, служащий сырьём для производства ванадия. В цветной металлургии различают Ш. передельные и отвальные. Передельные содержат повышенные количества ценных металлов (например, конвертерные шлаки никелевого и медного производств). Выход Ш. в цветной металлургии очень велик (при переработке бедных руд до 100—120 т на 1 т извлечённого металла). Для извлечения металлов из передельных Ш. их повторно используют в технологической схеме производства или применяют в качестве шихтового материала для извлечения других цветных металлов. В отвальных Ш. концентрируются оксиды металлов, которые невозможно переработать в данном металлургическом переделе, а также различные примеси и остаточные небольшие количества ценных металлов, доизвлечение которых при данном уровне технологии экономически невыгодно. Отвальные Ш. лишь незначительно используют для производства строительных материалов.

**Шлиф в технике** Определение: образец для макро- или микроскопического исследования (соответственно макрошлиф или микрошлиф). Для получения Ш. подготовленную плоскую поверхность исследуемого образца шлифуют, полируют, а затем подвергают травлению. В результате на Ш. образуется макро- или микрорельеф, который исследуется невооруженным глазом или под микроскопом.  
  
**Штольня**  
Определение: (от нем. Stollen), горизонтальная или наклонная выработка, имеющая выход на земную поверхность и предназначенная для обслуживания горных работ.

## Э

**Экологическая безопасность отходов** Определение: отсутствие недопустимого риска для окружающей среды со стороны отхода на этапах его утилизации.

**Экологический аудит**Определение: систематически документально оформленный процесс проверки объективно получаемых и оцениваемых аудиторских данных, с тем чтобы определить, соответствует ли критериям аудита определенные виды экологической деятельности, события, условия, системы административного управления или информация об этих объектах, а также сообщение результатов, полученных в ходе этого процесса, клиенту.

**Экологический контроль** Определение: система мер, направленная на предотвращение, выявление и пресечение нарушения законодательства в области охраны окружающей среды, обеспечения соблюдения субъектами хозяйственной или иной деятельности требований, в том числе нормативов и нормативных документов, в области охраны окружающей среды.

**Экологическое аудирование** Определение: вид деятельности включающий в себя комплекс организационных, научных, методических мероприятий (действий), обеcпечивающих проведение экологического аудита.

**Электрометаллургия** Определение: металлургические процессы получения металлов и сплавов с помощью электрического тока. В Э. применяются электротермические и электрохимические процессы. Электротермические процессы включают получение стали в дуговых и индукционных печах, спецэлектрометаллургию, рудовосстановительную плавку. Электрохимические процессы наиболее широко распространены в производстве цветных металлов на основе электролиза водных растворов и расплавленных сред. Электросталеплавильное производство основано на использовании электротермических процессов. Электросталь выплавляется главным образом в дуговых печах. Преимущества этих печей перед другими сталеплавильными агрегатами заключаются в возможности нагрева металла до высоких температур, создания в печи атмосферы любого состава, формирования шлаков, обеспечивающих удаление вредных примесей. Поэтому дуговые печи широко используются для производства легированных высококачественных сталей и сплавов.  
Плавка стали в индукционной печи, осуществляется методом переплава. Это обусловливает высокие требования к шихтовым материалам по содержанию вредных примесей (прежде всего, фосфора и серы).  
Спецэлектрометаллургия охватывает процессы плавки и рафинирования металлов и сплавов, получившие развитие во второй половине XX века для удовлетворения потребностей высокоточной техники (космической, реактивной, атомной, химического машиностроения и др.). Спецэлектрометаллургия включает вакуумную дуговую плавку, электроннолучевую плавку, электрошлаковый переплав и плазменно-дуговую плавку. Этими методами переплавляют стали и сплавы ответственного назначения, тугоплавкие металлы – вольфрам, молибден, ниобий и их сплавы, высокореакционные металлы – титан, ванадий, цирконий, сплавы на их основе и др.  
Рудовосстановительная плавка включает производство ферросплавов, медных и никелевых штейнов, свинца, цинка, титанистых шлаков и др. Процесс заключается в восстановлении металлов из природных руд и концентратов углеродом, кремнием и другими восстановителями при высоких температурах, создаваемых с помощью мощной электрической дуги.

## Ю

**Юбка конвертера** Определение: подвижный конус над горловиной конвертера, служащий для отвода отходящих газов.

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО**

**СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АЛМАЛЫКСКИЙ ФИЛИАЛ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**КАФЕДРА «МЕТАЛЛУРГИЯ»**



**РАЗДАТОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

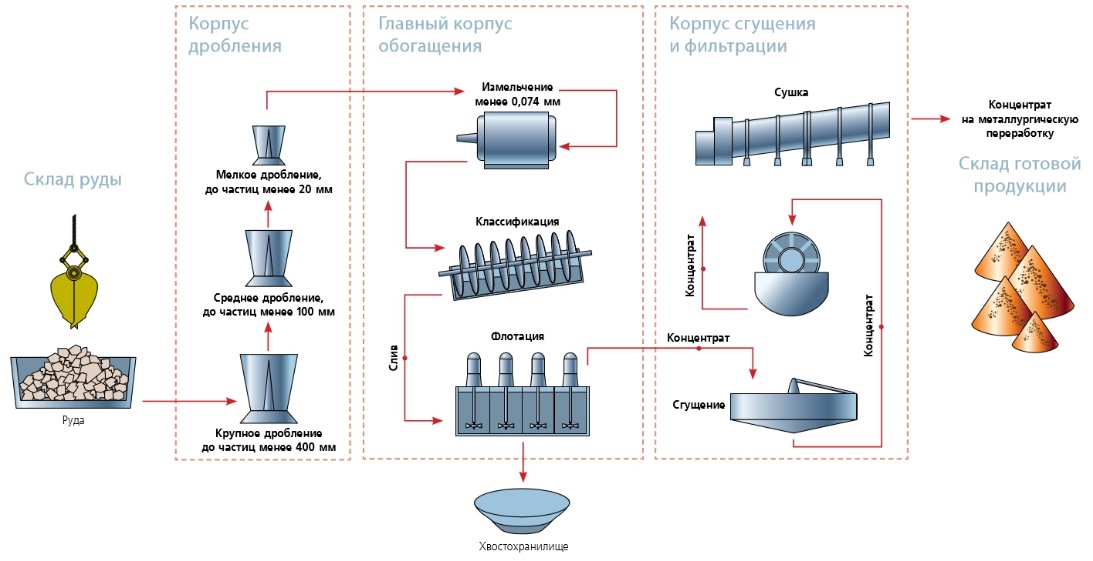
**«прямое получение железа из руд»**

Для студентов дневного и вечернего отделения, обучающихся по направлению

бакалавриата 5310300 Металлургия

Алмалык 2021







**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО**

**СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АЛМАЛЫКСКИЙ ФИЛИАЛ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**КАФЕДРА «МЕТАЛЛУРГИЯ»**



**ТЕСТ**

**«прямое получение железа из руд»**

Для студентов дневного и вечернего отделения, обучающихся по направлению

бакалавриата 5310300 Металлургия

Алмалык 2021

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Какие продукты выпускает ПО «Ўзиккиламчиранглиметалл»? | \* алюминиевая чушка, деформируемые алюминиевые сплавы в виде чушек, очистка металлов от кислорода, производство ферросплавов и алюминия для алюминотермия | деформируемые алюминиевые сплавы в виде чушек | очистка металлов от кислорода, производство ферросплавов и алюминия для люминотермия | алюминиевая чушка |
| Безвозвратные потери металла происходят … | \* по технологическим причинам в процессе производства, при физическом износе металлоизделий, в результате чего металл выходит из дальнейшего обращения в народном хозяйстве | при физическом износе металлоизделий | в результате чего металл выходит из дальнейшего обращения в народном хозяйстве | по технологическим причинам в процессе производства |
| В каких печах получают сталь на «Узметкомбинате»? | \* мартеновская печь, ДСП | вагранка | ДСП | доменная печь |
| В какой форме бывают гидроксиды щелочных металлов? | \* в легко растворимой | в быстрорастворимой | в медленно растворимой | нерастворимой |
| В какой форме находится углерод в сером чугуне? | \* графит | карбид железа | в форме зерна | в свободном виде |
| В каком виде поступает металл, полученный из руд, на переработку? | \* в виде чушек | в виде пресса | в виде лома | в виде отливок |
| В каком виде поступает на металлургический завод значительное количество отходов? | \* в виде сыпучей и вьюнообразной стружки различных сплавов сталей | в виде кусков различных сплавов и сталей | в виде прессованного металлолома | в различном виде |
| В каком году было организовано производственное предприятие «Узвторцветмет»? | \* 1948 | 1946 | 1943 | 1947 |
| В каком году впервые для плавки чугуна были использованы дуговые электропечи? | \* 1916 | 1906 | 1865 | 1886 |
| В каком государстве в настоящее время производится металл из лома консервных банок? | \* Германия | США | Узбекистан | Япония |
| В каком из вариантов ответа приведены лом и отходы, которые трудно отнести к тому или иному виду? | \* бесхозный | амортизационный | судовой | бытовой |
| В каком из вариантов ответов приведены все способы разделения лома и отходов на сорта? | \* визуальная сортировка, инструментальная сортировка, сортировка по магнитной восприимчивости | визуальная сортировка, инструментальная сортировка | инструментальная сортировка, сортировка по магнитной восприимчивости | визуальная сортировка, сортировка по магнитной восприимчивости |
| В каком из ответов дано название государства, которое занимает первое место в мире по производству металлов из вторичного сырья? | \* США | Россия | Германия | Англия |
| В каком ответе правильно приведена последовательность использования оборудования линии разделки лома? | \* измельчительная установка, магнитный и пневматический сепаратор | молотковая дробилка, ленточный конвейер | элеватор, сушильный барабан | элеватор, электромагнитный сепаратор |
| В чём состоит преимущество криогенного процесса? | \* отсутствие вредных газообразных примесей, низкая себестоимость | в использовании высоких температур | высокая себестоимость | в образовании серосодержащих газов |
| В чем сущность процесса электромагнитной сепарации? | \* выделение из вторичного сырья ферромагн итных предметов | смесь, состоящая из двух взаимно растворимых соединений | обжигание неметаллических предметов | сушка неметаллических предметов |
| Где используется прокатный свинец? | \* мартен, электросталеплавильная печь | конвертор, анодная печь | печи кипящего слоя | отражательная печь |
| Для чего используется пакетирование? | \* для получения пакетов определенной массы, размеров и крупности путем уплотнения легковесного неплотного лома и отходов | для производства сқрья малқх габаритов | для облегчения складирования путем уменьшения объема и веса | для снижения потерь металла при транспортировке |
| Где используются алюминиевые листы и прокат? | \* в производстве самолётов, судов, мебели, бытовых предметов | для футеровки кислотных ванн | для производства электроники | для футеровки реакторов, свинцовых труб, змеевиков |
| Где может быть использована латунная стружка? | \* нигде не используется | в производстве черновой меди | при производстве сплавов | при смешивании различных металлов |
| Для переработки каких видов вторичного сырья применяются криогенные установки? | \* кабельного лома и отходов проводников тока | вьюнообразнойстружки | сыпучей стружки | для крупнокускового лома |
| Для производства каких металлов во вторичной цветной металлургии целесообразно применение вакуумного рафинирования? | \* свинец, цинк олово | сурьма, кобальт | вольфрам молибден | медь никель |
| Когда применяют операцию брикетирования? | \* при подготовке лома и отходов металлов к переработке с целью удобства её хранения, транспортировки,ускорения плавки и уменьшения потерь металла | при операциях измельчения и дробления с целью сокраўения потерь металла и снижения расхода энергии | в случае отсутствия возможности использования кускового лома | для снижения сложности процессов и облегчения протекания химизма металлургических процессов |
| Для чего используется алюминиевая проволока? | \* для изготовления кабелей и проволок из чистого алюминия | для изготовления бытовой техники | для изготовления покрытий | для изготовления самолётов |
| Для чего используются аллигаторные ножницы? | \* Для резки негабаритного лома для разделки радиаторов, для резки бронированного кабеля | Для резки негабаритного лома | Для разделки радиаторов | Для резки бронированного кабеля |
| До какого размера, производится мелкое дробление стружки? | \* 3 | 8 | 6 | 10 |
| До какой плотности происходит уплотнение исходного сырья при брикетировании? | \* 2000-2200 | 2000-3000 | 1500-4000 | 1000-2000 |
| До скольких процентов увеличивается содержание влаги и масла при хранении стружки на открытом воздухе? | \* 20-30 | 10-20 | 15-20 | 20-25 |
| Если содержание фосфора в ломе чугуна составляет 1,5 %, какой это чугун? | \* легированный | легирующий | не легированный | фосфорированный |
| Сколько узлов влючает в себя линии термического обезжиривания и сушки стружки? | \* 5 | 4 | 7 | 2 |
| За счёт чего формируется металлический фонд чёрных металлов государства? | \* за счёт переплавки чугуна | за счёт ремонта неисправных деталей | за счёт сбора амортизационного лома | за счёт металлов, находящихся в производстве |
| Из каких отходов состоит судовой металлолом? | \* морских и речных судов, плавучих кранов | амортизационный лом и отходы медеплавильных заводов | отходы белой жести | кабельный лом |
| Из каких частей состоит измельчитель ИПР-450М? | \* камера разделения и станина, загрузочные течки и разгрузочные решётки, привода и вентиляционной системы | камера разделения и станина | загрузочные течки и разгрузочные решётки | привода и вентиляционной системы |
| Как называется продукт разделки вышедших из строя кабелей, имеющих свинцовую защитную оболочку? | \* кабельный лом | лом кальциевого баббита | лом литых деталей | свинцовый лом |
| Как определяется металлический фонд государства натуральным способом? | \* определением объёма основного и оборотного фонда металла, вовлечённого в народное хозяйство; определением объёма основного фонда металла | определением объёма основного фонда металла | определением оборотного фонда металла | количеством металла, принятого на переработку предприятиями вторичной металлургии |
| Как решается вопрос о достижении высокого качества продукта? | \* высокотехнологические процессы , энергосберегающие технологии, современное оборудование | применение современных технологий и процессов | использование в качестве сырья лом и отходы высокого качества | применение методов очистки от примесей и защита от вредных добавок |
| Какая из приведённых реакций соответствует реакции взаимодействия обожженной извести с влагой атмосферы? | \* |  |  |  |
| Какая печь является универсальной и широко применяемой для плавки алюминиевого лома? | \* пламенная отражательная печь | шахтная печь | электропечь | печь кипящего слоя |
| Какие аппараты используются при электромагнитной сепарации? | \* сепаратор | дробилка | мельница | печь |
| Какие виды гальванических элементов выпускает промышленность? | \* марганцево-цинковые | свинцово-медные | оловянноцинковые | медно-алюминиевые |
| Какие виды плавок применяют переработки лома драгоценных металлов? | \* плавка на металл; плавка на лигатурный сплав; плавка на медный, медно-никелевый сплав; плавка на свинцовый сплав-веркблей. | плавка на штейн; плавка на клинкер; основная плавка; кислая плавка | плавка при высоких температурах; плавка с использованием флюсов; | плавка в печи с подогревом плавка с применением воздушного дутья; плавка с применением факельного метода |
| Какие металлы входят в оборотный и основной фонды металлического фонда государства? | \* используемые в народном хозяйстве | готовые к использованию | используемые | добываемые |
| Какие металлы являются ведущими во вторичном сырье? | \* медь, алюминий, латунь, бронза, свинец, олово | литий, медь, никель, олово, алюминий | свинец, латунь, железо, сталь | палладий, хром, бронза, чугун, мельхиор |
| Какие отходы образуются при производстве вторичных чёрных металлов? | \* изгарь и скрап | скрап | изгарь | никаких отходов не образуется |
| Какие отходы считаются вторичным сырьём? | \* стружка, кусковой лом, изгарь и скрап | стружка | кусковой лом | изгарь и скрап |
| Какие отходы являются основными вторичными оловосодержащими материалами? | \* отходы белой жести (бракованная и бывшая в употреблении консервная тара, крышки консервирования) | лом литых деталей | лом кальциевого баббита | кабельный лом |
| Какие способы применяются при переработке лома и отходов алюминия? | \* электролитический и электротермический | гидрометаллургические способы | пирометаллургические способы | электролиз, плавки под флюсом |
| Какие элементы, как правило, входят в состав стали? | \* C, Mn, Si, S, P, W | Mo, Ni, C, Mn, Si, P, Ur, Re | P, W, H, He | Ni, C, Sr, K, Li |
| Каким ГОСТом не допускаются примеси цветных металлов? | \* ГОСТ 2787-75 | ГОСТ 5877-27 | ГОСТ 87-27-75 | ГОСТ 75-87-27 |
| Каким должна быть масса габаритных кусков кускового лома, кг? | \* 75 | более 80 | не менее 40 | 50 |
| Каким может быть амортизационный лом? | \* промышленным, транспортным сельскохозяйственным | промышленным, отходы населения | транспортным, бытовым | сельскохозяйственным |
| Каким требованиям должен удовлетворять флюс для плавки алюминия? | \* температура плавления должна быть ниже температуры плавления сплава | температура плавления должна быть выше температуры плавления сплава | его плотность должна быть выше плотности металла | должен вступать в реакцию с расплавленным металлом |
| Какими методами перерабатывается лом драгоценных металлов? | \* с помощью пиро- и гидрометаллургических методов | плавка на штейн, электролиз | методами флотации | выщелачивание, экстракция |
| Каких размеров должны быть куски лома, загружаемые в конвертер? | \* 2000х1000х500 | 1000х1000х1000 | 3000х1000х500 | 2000х2500х3000 |
| Каков состав медьсодержащего сырья? | \* полиметаллический состав | латунь, бронза | изделия автопрома | лом и отходы литейного и прокатного производства |
| Какова скорость движения конвейера, м/с? | \* 0,06-0,02 | 0,05-0,09 | 0,06-0,1 | 0,06-0,15 |
| Каково количество влаги и масла в стружке после гидрохимической обработки щелочными растворами, %? | \* 1,2 | 0,5 | 0,2 | 4 |
| Каково максимальное количество угле рода в стали, %? | \* 2,17 | 5 | 4 | 6 |
| Каково минимальное количество операций при переработке лома и отходов? | \* 10 | 8 | 13 | 5 |
| Каково преимущество капельного метода? | \* простота подготовки и проведения испытаний. | высокая точность | низкий расход реагентов | простота расчетов |
| Каковы основные направления защиты экологии на предприятиях вторичной металлургии? | **\*** пылеулавливание и газоочистка; очистка сточных вод; оборотное водоснабжение | защита водного и воздушного бассейна | охрана труда безопасность жизнедеятельности | очистка газов и пылей; фильтрация производственных вод; лесопосадки |
| Каковы перспективные направления развития вторичной металлургии? | **\*** максимальное извлечение; автоматизация производства; подготовка к переработке | минимальные потери энергии и сырья; применение новых технологий | защита экологии и развитие процессов переработки | совмещение с процессами добычи и переработки; освоение новых видов сырья |
| Какое из основных требований предъявляется к извести? | \* низкое содержание влаги | высокое содержание влажности | низкое содержание кальция | высокое содержание хлора |
| Какое количество кокса необходимо для нагрева чугуна до 1415 градусов при продувке холодным воздухом? | \* 20 | 18 | 16 | 17 |
| Какое количество свинца переходит в черновую медь %? | \* 80-85 | 70-75 | 60-65 | 50-55 |
| Какое место занимает железо по распространённости в земной коре? | \* 4 | 3 | 2 | 1 |
| Какой агрегат является основным для переработки медьсодержащего сырья? | \* шахтная печь | вагранка | электродуговые печи | мартен |
| Какой должна быть масса отдельных кусков низкокачественного лома и отходов? | \* не должна превышать 5 т | менее 3 т | не более 6 т | около 7 т |
| Какой из способов переработки вторичного сырья является самым эффективным? | \* пирометаллургический | биометаллургический | гидрометаллургический | электрометаллургический |
| Какой состав имеет лом и отходы мельхиора, %? | \* Ni 12-14 ; Cu 65 - 70 | Ni 30-35;Cu 15-20 | Ni 15-20;Cu 5-10 | Ni 30-40;Cu 50-55 |
| Какой способ используется для определения металлического фонда государства? | \* натуральный, численный способ и способ, учитывающий расход металла | численный способ | способ, учитывающий расход металла | натуральный способ |
| Какой способ применяется для переработки стружки легированных металлов? | **\*** переплав в электрических печах | криогенный способ | дробление | огненная резка, плавка |
| При какой температуре выдерживают в камере обжига кабель в резиновой оболочке, ? | \* 400 | 410 | 425 | 300 |
| Какую долю занимают вторичные металлы в общем производстве чёрных металлов? | \* 70-80 | 60 | 50 | 90 |
| Классификация вторичных черных металлов заключается в распределении их - | \* по классам, категориям, видам, группам в зависимости от химического состава, качества и габаритов в соответствии с действующим стандартом | по классам и категориям | По видам и группам | По качествам и габаритов в соответствии с действующим стандартом |
| Лом и стружка каких размеров выделяется электромагнитной сепарацией, мм? | \* 450 | 45 | 100 | 250 |
| На какие классы делится лом и отходы металлов? | \* А- лом и кусковые отходы Б-стружка ; В-порошок; Г-прочие | на отходы черных и цветных металлов | в зависимости от содержания металла | 1-богатые; 2-средние; 3-бедные |
| На каком виде сырья работает «Узметкомбинат»? | \* на вторичном сырье | на первичном сырье | железная руда | железный концентрат |
| На сколько видов делится вторичное сырьё? | \* 2 | 3 | 4 | 5 |
| На сколько видов делится лом и отходы железа и его сплавов? | \* 11 | 10 | 9 | 12 |
| На сколько групп разделены лом и отходы алюминия и его сплавов? | \* 10 | 7 | 25 | 15 |
| На сколько классов делятся лом и отходы цветных металлов? | \* 2 | 5 | 4 | 6 |
| Основные составляющие продукта металлического фонда государства? | \* амортизационный лом и отходы | металлоконструкции | различные предметы | машины, изготовленные из черных и цветных металлов |
| Плавку алюминия в виде лома проводят под слоем…? | \* флюса | шихты | азотной кислоты | Штейна |
| При какой температуре в обжиговой камере расплавляется изоляция кабеля из свинца и битума, ? | \* 200-350 | 200-250 | 150-400 | 150-350 |
| Какой элемент присутствует в чугуне кроме железа? | \* углерод | медь | фосфор | Кремний |
| При какой толщине алюминиевой или медной проволоки используются электростатические барабаны для очистки изоляции? | \* менее 0,4 мм | менее 0,04 | более 0,35 | более 0,45 |
| Сколько процентов никеля содержится в аккумуляторе, %? | \* 8-10 | 6-7 | 10-12 | 3-4 |
| Сколько процентов чугуна необходимо добавить в шихту электропечи для получения высоуглеродистой инструментальной стали, %? | \* 7 | 5 | 2 | 10 |
| Сколько суток необходимо выдерживать известь перед использованием при плавке стали? | \* 1 | 3 | 2 | 7 |
| Сколько суток необходимо для получения ковкого чугуна из белого? | \* 2-2,5 | 1,5-2 | 1-2 | 3-4 |
| Сколько цветных металлов в настоящее время получают из вторичного сырья? | \* 25-40 | 70-90 | 35-45 | 40-70 |
| Содержание олова и сурьмы в составе свинцово оловянных баббитов? | \* 0,2 % Sn; 0,3 % Sb | 0,1 % Sn; 0,1 % Sb | 0,02 % Sn; 0,01 % Sb | 0,01 % Sn; 0,003 % Sb |
| Средний срок службы металла? | \* 25 лет | 15 лет | 20 лет | 30 лет |
| Стальной металлолом – это лом и отходы черных металлов, содержащих до ...%, предназначенные в основном для сталеплавильных агрегатов, а также для вагранок. | \* 2 | 0,5 | 1,5 | 1,0 |
| Сущность криогенного способа переработки вторичного сырья? | \* воздействие охлаждающими агентами | огненная обработка | воздействие химическими реагентами | воздействие электрическим током |
| Факторы, определяющие количество амортизационного лома? | \* объемом металлического фонда; продолжительностью службы металла; вели чиной потерь цветных металлов от коррозии, истирания, угара. | стоимость переработки; рентабельность производства продукции | количество лома объем производс тва; срок службы деталей и металлоконструкций | количество и вес вторичного металла; производственные мощности предприятий по переработке вторичного сырья. |
| Чем покрывается поверхность алюминия? | \* оксидной плёнкой | сульфидной плёнкой | щелочной плёнкой | водной плёнкой |
| Что включает в себя производство чёрных металлов? | \* производство чугуна, стали и проката | прямое получение железа из руд и проката | производства чугуна и стали | производство чугуна и проката |
| Что вы понимаете под моральным износом? | \* невозможность использования годной детали в установке | невозможность использования непригодность детали | непригодность детали в результате поломки, коррозии, изменения размеров | окисление детали |
| Что вы понимаете под понятием «производственное отравление», применяемое в промышленности? | \* отравление, вызванное у работающего во время трудовой деятельности | явления, вызывающие понижение работоспособности | производственная травма | отравление вне рабочего времени |
| Что вы понимаете под физическим износом? | \* непригодность детали в результате поломки, коррозии, изменения размеров | невозможность использования годной детали в установке | окисление детали | невозможность использования, непригодность детали |
| Что может быть использовано для удаления изоляции химическим способом? | \* солевые расплавы и органические растворители | гидроокиси щелочных металлов | циклогексан, метилэтилен | водный раствор |
| Что называется остатком во вторичной металлургии? | \* безвозвратные потери в металлургии | руда | остаток | шихта |
| Что образуется при обработке металла и сплавов на металлорежущих станках? | \* стружка | кусковой лом | металл | расплав |

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО**

**СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**АЛМАЛЫКСКИЙ ФИЛИАЛ**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**

**УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИСЛАМА КАРИМОВА**

**КАФЕДРА «МЕТАЛЛУРГИЯ»**



**ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА**

**«прямое получение железа из руд»**

Для студентов дневного и вечернего отделения, обучающихся по направлению

бакалавриата 5310300 Металлургия

Алмалык 2021

1. Юсупходжаев А.А., Балгабаева Г.Т. Прямое получение железа из руд. Т.: ТГТУ., 2004 г. 60 с.

2. Ю.С. Юсфин. Теория металлизасии железорудного сиря. М.: Металлургия. 1999 г. 256 с.

3. Леонитов Л.И. Пирометаллургическая переработка комлексних руд М: Металлургия 1997 г. 432 с.

4. Лопатин ЙУ.Н, Меламуд С.Г, Г.А.Топорищев Г.А, Авдонина М.П. Кинетика окисления окускованныщ материалов из качканарского титаномагнетитового консентрата / Физико-щимические исследования металлургическищ просессов: сб.науч.тр. // Уральский полит.ин-т. Свердловск: изд-во УПИ им. С.М.Кирова. - 1977. № 5 - С.110-119..

5. Загайнов С.А., Тлеугабулов Б.С., Филатов С.В. и др. Разработка тещнологии доменной плавки с использованием железофлюса // Бюллетень Черная металлургия. - 2010. - №4. - С.13-18.

6. Вегман Е.Ф. Краткий справочник доменщика. - М. : Металлургия. - 1981. - 240 с.