**Содержание**

[Введение](#_Toc152681140)

[1 Печи для автогенной плавки](#_Toc152681141)

[1.1 Общие сведения](#_Toc152681142)

[1.2 Принцип работы печей для плавки на штейн](#_Toc152681143)

[1.3 Тепловой и температурный режимы работы печей для плавки на штейн](#_Toc152681144)

[1.4 Принцип работы печей для плавки на черновую медь](#_Toc152681145)

[Заключение](#_Toc152681146)

[Список использованных источников](#_Toc152681147)

# Введение

В настоящее время в промышленности очень широко используется печное оборудование. В таких важных отраслях, как черная и цветная металлургия, машиностроение, производство строительных материалов, легкая и даже пищевая промышленность, эксплуатируется большое число различных печей и нагревательных установок. Развитие и совершенствование печного оборудования происходило по мере возникновения и развития всех важных отраслей промышленности.

По технологическому назначению металлургические печи делят на плавильные и нагревательные.

Плавильные печи предназначены для получения металлов из руд и переплавки металла с целью предания ему необходимых свойств. В этих печах металлы изменяют свое агрегатное состояние.

Нагревательные печи применяют для нагрева материала материалов с целью обжига и сушки, а также для придания металлу пластических свойств перед обработкой давлением, для термической обработки, чтобы изменить внутреннее строение и структуру металла. В нагревательных печах металлы и материалы не изменяют своего агрегатного состояния.

По схеме работы печи делятся на печи-теплообменники, усвоение тепла обрабатываемым материалом в зоне технологического процесса зависит от теплопередачи из зоны теплогенерации; и печи-теплогенераторы, тепло как возникает, так и усваивается непосредственно в зоне технологического процесса.

В цветной металлургии все более широко используются печи-теплогенераторы, в которых осуществляется теплогенерация за счет выгорания серы, содержащейся в размельченных шихтовых материалах, выдуваемых в рабочее пространство печи. Протекающие при этом процессы называются автогенными.

**1 Печи для автогенной плавки**

## 1.1 Общие сведения

Автогенными принято называть технологические процессы, идущие за счет химической энергии сырьевых материалов. Тради­ционным является, например, использование этой энергии на на­грев воздушного дутья и расплавление холодных присадок при конвертировании штейнов, а также при протекании процессов обжига сульфидов в кипящем слое. Многолетние работы по рас­ширению области применения химической энергии сульфидов в производстве меди привели в начале пятидесятых годов к созда­нию принципиально новых промышленных агрегатов для плавки на штейн. Эти агрегаты имеют ряд существенных преимуществ перед топливными и электрическими печами аналогичного назна­чения, которые заключаются в значительном (примерно в два раза) сокращении энергозатрат на переработку шихты и полной ликви­дации выбросов сернистого газа в атмосферу. Вместе с тем опыт работы печей для автогенной плавки показал, что принцип их работы, а также конструктивные и режимные параметры во/многом зависят от состава перерабатываемого сырья. Чрезвычайное разнообразие применяемых в металлургии меди шихтовых мате­риалов, состав которых может изменяться даже в условиях одного

По принципу работы различают три основных типа агрегатов для автогенной плавки на штейн:

1) печи для плавки концентратов во взвешенном состоянии в потоке предварительно нагретого воздуха или дутья, обогащен­ного кислородом, именуемые печами взвешенной плавки (ПВП);

2) печи для плавки концентратов во взвешенном состоянии в потоке технически чистого кислорода, которые иногда называют печами кислородно-взвешенной плавки (КВП);

3) печи для плавки шихтовых материалов в среде барботируемого газообразным окислителем шлакового расплава, более из­вестные под названием печей для плавки в жидкой ванне (ПЖВ).

Печи для взвешенной плавки имеют различное конструктивное оформление, зависящее от характера применяемого окислителя и состава сырья. Использование предварительно нагретого воз­душного дутья позволяет варьировать в широком диапазоне соотношение между интенсивностями протекающих в печи тепло-генерационных и теплообменных процессов и тем самым создает возможность перерабатывать в ней шихтовые материалы различ­ного состава. В этом случае в печи образуется большое количество технологических газов, движущихся в рабочем пространстве агре­гата g высокими скоростями. Поэтому с целью снижения пыле-выноса в печах взвешенной плавки на воздушном и обогащенном кислородом дутье обычно применяют вертикальное расположение технологического факела, заключая его в специальную реакцион­ную камеру, С той же целью отвод газов из печи осуществляется через вертикальный газоход шахтного типа.

При использовании кислородного дутья возможности агрегата с точки зрения изменения его теплотехнических параметров в ходе плавки значительно ниже, чем при воздушном дутье. Однако сравнительно небольшое количество технологических газов, образующихся в процессе окисления сульфидов, дает возможность применить более компактную конструкцию агрегата о горизонтальным расположением технологического факела.

## 1.2 Принцип работы печей для плавки на штейн

В печи для плавки шихты в жидкой ванне. Техноло­гический процесс осуществляется за счет тепловой энергии, выде­ляемой непосредственно в среде бар вотируемого газообразным окислителем шлак-штейнового расплава. В качестве окислителя в печи в зависимости от состава сырья используются воздух, дутье, обогащенное кислородом, или технически чистый кисло­род. Дутье подается в расплав через специальные фурмы, располо­женные по обе стороны ванны в боковых стенках печи. Образую­щиеся в результате протекания технологического процесса газы всплывают на поверхность ванны, способствуя ее интенсивному перемешиванию, и удаляются через вертикальный газоход, уста­новленный в центре печи. Перерабатываемая шихта без предвари­тельной подготовки (тонкий помол, глубокая сушка и т. п.) по­дается в печь сверху через загрузочное устройство. Попав на по­верхность ванны, шихта перемещается вглубь расплава, энергично перемешивается с ним и расплавляется под действием высоких температур. Жидкие продукты плавки в подфурменной зоне делятся на штейн и шлак, которые по мере накопления выво­дятся из агрегата через отстойники сифонного типа, расположен­ные с торцевых сторон печи.

1 - фурмы; 2 — устройство для загрузки шихты; 3 — вертикальный газоход; 4 - свод; 5 — устройство для выпуска штейна; 6 — устройство для выпуска шлака

Рисунок 2 – Схема печи для плавки в жидкой ванне

## 1.3 Тепловой и температурный режимы работы печей для плавки на штейн

По энергетическому признаку агрегаты для автогенной плавки на штейн относятся к печам смешанного типа, так как в них газо­образной окислитель и компоненты шихты, участвующие в экзо­термических реакциях, нагреваются непосредственно в процессе теплогенерации, тогда как остальные продукты плавки получают тепло за счет теплообмена. Тепловая работа печей такого типа во многом зависит от характера распределения тепла между продук­тами плавки, т. е. от соотношения интенсивности протекающих в них процессов теплогенерации и теплообмена. Как теплогенераторы они относятся к печам с массообменньм режимом работы, в которых интенсификация массообменных процессов достигается за счет максимального увеличения реакционной поверхности суль­фидов.

При анализе работы этих агрегатов в качестве печей-теплооб­менников необходимо учитывать, что в той части рабочего про­странства печи, где происходит интенсивное окисление сульфидов кислородом дутья, преобладают процессы переноса тепла конвек­цией и излучением. В ванне, где происходит завершение процессов формирования расплава и его разделение на штейн и шлак, пере­дача тепла осуществляется в основном теплопроводностью через шлак и конвекцией за счет осаждения штейна.

Закономерность тепло- и массопереноса в печах для автоген­ной плавки отличаются крайним разнообразием и сложностью. К сожалению, из-за относительной новизны процесса пока отсут­ствуют надежные экспериментальные данные о тепловой работе рассматриваемых печей, что в значительной степени затрудняет теоретические расчеты в этой области. В реальной практике оценка режимных параметров агрегата осуществляется, как правило, на основе анализа материального и теплового балансов протекающего в нем технологического процесса.

Печи для автогенной плавки являются агрегатами непрерыв­ного действия с относительно неизменными во времени параме­трами теплового и температурного режимов работы. При состав­лении теплового баланса протекающего в печи технологического процесса могут быть использованы понятия тепловых эквивален­тов сырьевых материалов и продуктов плавки. В этом случае урав­нение теплового баланса плавки приобретает вид

 (1)

где А — производительность агрегата по проплавляемой шихте, т/ч;

 — соответственно теплогенерационные и теплообменные составляющие тепловых эквивалентов шихтовых материалов и продуктов плавки, кДж/кг;

 n — коэффи­циент, равный отношению массы штейна к массе переплавляемой шихты;

Qш, Qд — соответственно теплопотребление шихты и дутья, идущего на ее окисление, кДж/кг шихты;

 Qпот — потери тепла через ограждение печи, кВт.

Из уравнения (1) следует, что интенсивность теплообмена в рабочем пространстве печи (величина теплового потока ) будет равна, кВт

 Qп=0,28A(-n) (2)

Ее величина должна соответствовать технологическим параметрам процесса, которые выбираются таким образом, чтобы в печи были созданы условия для наиболее полного разделения продуктов плавки. Известно, что повышение средней температуры в зоне технологического процесса с одной стороны ведет к снижению вязкости шлака и тем самым способствует ускорению разделения продуктов плавки, с другой — к увеличению растворимости штейна в шлаке и (в окислительной среде) к росту так называ­емых химических потерь меди со шлаком.

В случае переработки конкретного сырья в зоне окисления сульфидов, как правило, стремятся поддерживать оптимальную температуру, значение которой определяется экспериментально. Так как соединения, полученные в результате окисления сульфидов, являются одно­временно продуктами плавки, то их действительная температура должна быть равна средней температуре зоны технологического процесса. Из определения теплового эквивалента шихтовых мате­риалов следует, что это условие соблюдается, когда поток тепла, отводимого от продуктов окислительных реакций, достигает своего максимального значения и будет равен, кВт

 (3)

 где Qх.ш Qх.пр — соответственно теплота сгорания шихты и продуктов плавки, кДж/кг.

Расчеты величин, входящих в уравнение (2), производятся по данным материального и теплового балансов плавки. Для приближенных расчетов могут быть использованы значения тепло­вых эквивалентов шихты и штейна, кВт

 (4)

где S, Сu — соответственно содержание серы и меди в шихте, %;

 Т0 — заданное значение средней температуры в зоне технологи­ческого процесса, К;

  — соответственно начальные темпе­ратуры шихты и дутья, К;

 О2 — содержание кислорода в дутье, %.

Физический смысл рассчитываемой по формуле (3) вели­чины заключается в том, что она показывает, какое количество тепла за единицу времени должно быть отведено в процессе тепло­обмена от продуктов окисления сульфидов с тем, чтобы избежать их перегрева относительно средней температуры процесса.

При определении интенсивности теплообмена в рабочем про­странстве печи, соответствующей заданным параметрам техно­логического процесса, необходимо также учитывать характер протекания реакций окисления сульфидов. В реальных условиях это чрезвычайно сложный многостадийный процесс. Однако, для его энергетической оценки можно воспользоваться упрощенной двухстадийной моделью, которая описывается следующими урав­нениями

1 2Cu2S + ЗО2 - 2Cu2O + 2SO2 + 2015 кДж

 Cu2S + 2Cu2O = 6Cu + SO2 — 304 кДж

2 Cu2S + 2Cu2O = 6Cu + SO2 — 304 кДж

 Cu2S + О2 = 2Cu + SO2 +1711 кДж на 1 кг меди

3 9FeS + 15O2 = 3Fe3O4 + 9SO2 + 9258 кДж

 FeS + 3Fe3O4 = l0FeO + SO2 — 896 кДж

4 FeS + 3Fe3O4 = 10FeO + SO2 — 896 кДж

 FeS + 1,5O2 = FeO + SO2 + 8389 кДж на 1 кг железа

Из анализа уравнений реакций 1—4 следует, что при много­стадийном характере процесса величина, характеризующая коли­чество тепла, выделившегося в зоне окисления сульфидов, может существенно отличаться от своего среднего значения, рассчитан­ного по данным теплового баланса процесса (т. е. по суммарным тепловым эффектам реакций). В рассматриваемом случае для завершения второй стадии химических превращений, предусмо­тренных принятой технологией, необходимо, чтобы «дополни­тельное» (по сравнению со средними балансными характеристи­ками) тепло, полученное на первой стадии окисления сульфидов, в процессе теплообмена поступило в зону протекания эндотерми­ческих реакций. Интенсивность теплообмена (тепловой поток  кВт), соответствующая двух стадийному характеру протека­ния процесса окисления сульфидов, определяется по данным его материального и теплового балансов и может быть рассчитана по формуле

 (5)

Тепло, которое поступает в зону технологического процесса за счет теплообмена (отводится от продуктов окисления суль­фидов), расходуется в рабочем пространстве печи на нагрев и плавление сульфидных соединений, образующих штейн, флюсов и породообразующих компонентов шихты, а также на компенса­цию потерь тепла через ограждение печи в окружающую среду.

Зная состав шихты и продуктов плавки и задаваясь произ­водительностью печи, нетрудно определить, какое количество тепла в единицу времени необходимо подвести к компонентам шихты, не участвующим в экзотермических реакциях, для того, чтобы нагреть их до средних температур процесса. Для прибли­женных расчетов могут быть использованы следующие формулы

 (6)

 (7)

где  — соответственно потоки тепла, поступающие на поверхность сульфидных частиц и флюсов, кВт.

Расчеты по формулам (5)—(7) позволяют установить взаимосвязь между основными параметрами технологического, теплового и температурного режимов работы печей для автогенной плавки, а также могут быть использованы при количественной оценке экспериментальных данных, полученных в процессе их эксплуатации.

В качестве примера возможного применения предложенной расчетной модели может быть рассмотрена типичная производ­ственная ситуация, возникающая при необходимости повышения концентрации меди в штейне с целью уменьшения количества поступающего на конвертирование материала. Из формулы (1) следует, что рост степени десульфурации (снижение величины коэффициента *п)* при прочих равных условиях ведет к увели­чению тепловой нагрузки агрегата и улучшению его теплового баланса. В этом случае, если согласно уравнениям (5) и (7) увеличение тепловой нагрузки сопровождается интенсификацией теплообмена в зоне технологического процесса, создаются благо­приятные условия для сокращения энергозатрат на производство черновой меди за счет снижения температуры дутья или кон­центрации содержащегося в нем кислорода.

Изменение технологических параметров процесса без соответствующей коррекции его энергетических характеристик влечет за собой, как показал опыт работы промышленных печей, значительное ухудшение тепловой работы агрегата, связанное с серьезными нарушениями температурного режима плавки. Например, при переработке типового концентрата, содержащего 35% и 19 % Си, в печи взвешенной плавки на кислородном дутье изме­нение концентрации меди в штейне с 35 — 40 до 45 — 50% ведет сначала к возникновению промежуточного магнетитового слоя между шлаком и штейном, а затем к интенсивному образованию настылей на подине печи, представляющих собой смесь застывшего шлака и штейна с большим содержанием магне­тита.

Появление магнетитового слоя можно объяснить тем, что В повышением степени десульфурации в технологическом факеле стало больше окисляться сульфидов железа. Насыщение ванны расплава магнетитом повлекло за собой увеличение скорости эндотермических реакций и как следствие охлаждение и затвердевание шлак-штейнового расплава в области их протекания. Оценка этого явления с помощью расчетных формул (4) и (6) показала, что переход к получению богатых штейнов в рассматри­ваемом случае должен был сопровождаться интенсификацией теплообмена в зоне окисления сульфидов на 30%*,* а в зоне протекания эндотермических реакций в полтора раза.

В печах взвешенной плавки на штейн интенсификация процессов теплообмена в ванне расплава представляет собой сложную научно-техническую задачу. Поэтому при повышении степени десульфурации соответствие параметров теплового режима плавки и ее технологических показателей достигается обычно за счет уменьшения производительности печи. Удельная производитель­ность современных печей взвешенной шавки на штейн в зависи­мости от состава перерабатываемого сырья колеблется в пре­делах 4,5 — 15 т/м2 в сутки, т. е. находится примерно на том же уровне, что и удельная производительность отражательных печей, отнесенная к единице площади зеркала ванны, расположенной между откосами.

Для целого ряда шихтовых материалов снижение производительности агрегата ведет к резкому ухудшению его теплового баланса. В этих случаях становится необходимым сжигание в рабочем пространстве печи традиционных видов топлива, как это делается, например, в печи взвешенной плавки на штейн, работающей на медеплавильном заводе фирмы «Норддойче Аффинери». С той же целью на аналогичной печи фирмы «Тамано» в отстойнике установлены электроды, позволяющие организовать электрообогрев ванны, одновременно интенсифицируя в ней процессы тепло- и массопереноса,

В печах для плавки в жидкой ванне интенсивность процессов теплообмена в зоне технологического процесса на порядок выше, рем в газовой среде. Кроме того, процессы, протекающие в ванне, поддаются управлению при изменении параметров продувки. Поэтому в печах такого типа достигается высокая удельная произ­водительность при широком диапазоне регулирования содержания медив штейне.

Анализ тепловой работы печи, основанный на использовании балансных уравнений, позволяет оценить средние значения параметров, характеризующих интенсивность теплогенерационных и теплообменных процессов при автогенной плавке сульфидных материалов, но не дает информации о способах их достижения в условиях конкретного технологического процесса. В реальной практике выбор основных параметров плавки, энергетических характеристик и конструкции печи производятся, как правило, по данным экспериментальных условий.

## 1.4 Принцип работы печей для плавки на черновую медь

От плавки на штейн процессы получения черновой меди отли­чаются только тем, что при их протекании происходит полное окисление содержащихся в шихте серы и железа. До настоящего

времени многочисленные попытки получить черновую медь в пе­чах взвешенной плавки пока не увенчались успехом. Экспери­менты показали также, что существует принципиальная возмож­ность для реализации процесса непрерывного производства чер­новой меди в печах для плавки в жидкой ванне. Известна целая серия опытно-промышленных установок различного типа, работа­ющих по этому принципу. Однако в промышленных условиях опробована пока только одна печь для плавки на черновую медь (рисунок 1).

Рисунок 1 – Схема печи для плавки на черновую медь

В конструктивном отношении печь напоминает конвертер и представляет собой заключенную в металлический кожух реакционную камеру цилиндрической формы 1 выложенную из основного огнеупорного кирпича. Ванна расплава наводится на подине печи, в центральной части которой имеется специальное углубление — копильник, где скапливается черновая медь, пери­одически выпускаемая из агрегата через шпуровое отверстие. Слева от копильника установлен ряд фурм для подачи газообраз­ного окислителя, справа в задней торцевой стенке печи располо­жена летка для выпуска шлака.

Технологические процессы в печи протекают по следующей схеме. Шихта, содержащая 28% S и 24% Си, в виде окатышей поступает в рабочее пространство печи через специальное загру­зочное устройство, установленное в ее передней торцевой стенке над ванной. Материал попадает в расплав, где интенсивно окис­ляется под действием дутья, подаваемого через фурмы. За счет выделившегося в результате протекания экзотермических реакций тепла происходит нагрев и расплавление шихты. Технологические газы удаляются через горловину, расположенную в центре печи над ванной.

Для отопления хвостовой части печи используется тради­ционное топливо, которое подается через горелки, установленные в ее задней торцевой стенке. Отходящие газы, представляющие собой смесь продуктов сгорания топлива и сульфидных матери­алов, содержат около 7 — 8% сернистого ангидрида. Пылевынос составляет примерно 5% от массы перерабатываемой шихты. Жидкими продуктами плавки являются черновая медь и богатый по меди шлак. Длина печи 21 м, диаметр 4 м. Производительность печи составляет примерно 730 т концентрата в сутки. Основным недостатком этого агрегата, препятствующим его дальнейшему распространению, является высокое содержание меди в шлаке (10 — 12%), который неизбежно должен быть подвергнут дополни­тельной переработке.

# Заключение

Печи для плавки в жидкой ванне используются в цветной металлургии для получения медного штейна не везде из-за относительной новизны процесса. Но в будущем они по праву займут лидирующие позиции среди плавильных печей из-за сравнительной простоты конструкции печи, технологического процесса получения меди на штейн. Печи являются агрегатами непрерывного действия, позволяя производить процесс плавки без излишних остановок. Получаемый штейн является очень качественным и не требует повторной плавки.

В своей работе я рассмотрел классификацию печей для автогенной плавки, описал конструкцию и принцип работы. Также указал тепловой и температурный режим работы печи.

# Список использованных источников

# 1 Кривандин В.А., Кобахидзе В.В. и др. Металлургическая теплотехника. В 2 т. Т 2. Конструкция и работа печей: учебник для вузов/В.А. Кривандин, В.В. Кобахидзе и др.- М.:Металлургия, 1986. С. 495 – 506.