**Содержание**

# Задание ……………………………………………………………………3

1. Шахтные печи цветной металлургии .....................................4

1.1 Особенности тепловой работы ...................................................4

1.2 Особенности теплообмена в слое ……………………………….…6

2 Конструкция и основные показатели работы ………………………11

2.1 Устройство печи ……………………………………………………12

Список использованных источников …………………………………16

**1 Шахтные печи цветной металлургии**

**1.1 Особенности тепловой работы**

Тепловая работа шахтных печей цветной металлургии отличается рядом особенностей, обусловленных видом и параметрами протекающих в них технологических процессов. Шахтные печи широко применяют на заводах цветной металлургии для плавки кусковой руды, брикетов, агломерата и различных промежуточных продуктов металлургического производства, имеющих кускообразную форму. Помимо этого шахтные печи используют для переплавки вторичных металлов и катодной меди. Конечным продуктом шахтной плавки в зависимости от вида технологического процесса могут быть штейн или черновой металл и шлак. При плавке кусковых материалов в печь сверху загружается шихта вместе с твердым топливом, роль которого обычно выполняет высококачественный кокс.

В зависимости от вида перерабатываемого материала топливные шахтные печи могут иметь два принципиально различных режима работы, основанных на газогенераторном и топочном процессах. Печи, работающие на базе газогенераторного процесса, применяют для плавки окисленных руд и аналогичных им по составу шихтовых материалов. В них на участке сжигания топлива, наряду с генерацией тепла, протекают процессы обра­зования газообразной восстановительной среды, содержащей боль­шое количество оксида углерода (СО). Оксид углерода, образующийся в результате газогенераторного процесса, используется при плавке как реагент для так называемого непрямого восстановления оксидов металлов, содержащихся в шихте. Прямым восстановителем является кокс. Однако энергозатраты на восстановление окислов при использовании в качестве реагента кокса, отнесенные к килограмму углерода, в 2,45 раза выше, чем в случае применения оксида углерода.

Шахтные печи с режимом работы на базе топочного процесса применяют для переработки сульфидных материалов и переплавки вторичных металлов и катодной меди. В печах для плавки сульфидов кислород дутья используется при горении топлива и как реагент для окисления части сульфидов железа и элементарной серы, выделившейся при термическом разложении минералов. В печи, таким образом, поддерживается окислительная атмосфера. В шахтных печах, применяемых для переплавки вторичных металлов и катодной меди, газовая фаза не является реагентом технологического процесса. Для того чтобы предотвратить угар металла, в рабочем пространстве печи обычно поддерживается восстановительная атмосфера. Однако образование больших количеств оксида углерода в процессе горения топлива является нежелательным явлением, так как оно сопровождается значительным потреблением тепла.

Шахтные печи цветной металлургии являются агрегатами непрерывного действия с режимом работы, характеризующимся неизменностью во времени основных параметров теплового и температурного режимов плавки. Конкретные значения параметров находятся в непосредственной зависимости от вида протекающего в печи технологического процесса и состава перерабатываемого сырья. В качестве примера рассмотрим процессы, осуществляемые в наиболее распространенных шахтных печах, применяемых на никелевых и свинцовых заводах.

Тепловая работа шахтных печей для плавки никельсодержащего сырья отличается крайней сложностью, и ее количественная оценка базируется на анализе теплового баланса процесса. Примерно 95—97 % тепла, используемого в зоне технологического процесса, поступает в нее при горении твердого топлива и 3—5 % в процессе шлакообразования. Эта энергия распределяется среди продуктов плавки следующим образом: примерно 40—45% расходуется на нагрев и расплавление шихты; 12—14 % — на осуществление эндотермических реакций и 21—22 % отводится с газообразными продуктами сгорания топлива и техническими газами. Потери тепла на нагрев воды в кессонах составляют около 22 – 24 %.Температурный режим плавки пока еще не поддается расчету и выбирается опытным путём. При определении его параметров необходимо учитывать, что протекающие в печи процессы нагрева и расплавления шихты сопровождаются многочисленными экзотермическими реакциями. К экзотермическим реакциям относятся, в основном, углерода и шлакообразование.

Эндотермические реакции протекают в широком диапазоне температур и могут быть условно разделены на три группы, к которым относятся: образование газообразного реагента-восстановителя, состоящего из оксида углерода; диссоциация содержащихся в шихте основных флюсов и сульфидирующих компонентов; восстановление оксидов и сульфидирование переходящих в штейн металлов.

Газообразные продукты сгорания топлива, фильтруясь через слой шихтовых материалов, поднимаются вверх по шахте и постепенно охлаждаются за счет того, что в процессе теплообмена передают тепло шихте и активно участвуют в эндотермических реакциях. Восстановление диоксида углерода (СО2) начинается сразу же после выхода газов из зоны горения и продолжается до тех пор, пока они не охладятся до 700 °С. Образующийся в этих условиях оксид углерода взаимодействует с оксидами содержащихся в шихте металлов. Наиболее интенсивно протекает восстановление оксида никеля, начинающееся при 250—300 °С. Для восстановления магнетита до оксида железа, имеющего большое значение в процессах формирования шлака, необходимы температуры свыше 900 °С и концентрация оксида углерода в газовой фазе не менее 23 %.

Тепло, полученное материалом слоя в процессе теплообмена, расходуется на нагрев и плавление шихты, а также на диссоциацию и сульфидирование. Диссоциация известняка и сульфидирующих реагентов типа пирита происходит при температурах свыше 600—650 °С. Реакции сульфидирования металлов идут в широком интервале температур от 800 до 1300 °С.

В нижней части шахты, где накапливаются жидкие продукты плавки, температурный режим определяется условиями наиболее полного разделения шлака и штейна. Температура шлака, как правило, поддерживается на уровне 1400 °С, температура штейна во многом зависит от его состава. С уменьшением содержания серы в штейне его температура должна увеличиваться, чтобы избежать настылеобразования, связанного с выпадением кристаллов ферроникеля. Например, при концентрации серы в штейне около 15 % выделение кристаллов ферроникеля начинается при 1250 0С, а для штейна, содержащего 21 % серы — при 1100°С.

В шахтных печах свинцовых заводов плавят сырьевые материалы (агломерат), содержащие свинец в форме легковосстановимых оксидных соединений. В результате их переработки получают черновой металл, в который переходят также медь, олово, висмут, золото, серебро и некоторые другие компоненты шихты. Трудновосстановимые оксиды, например, железа и цинка, соединяясь с диоксидом кремния, переходят в шлак. Помимо оксидов металлов в шихте содержится небольшое количество сульфидных соединении, которые при плавке могут образовывать самостоятельную фазу — штейн и шпейзу.

Восстановление оксида свинца начинается практически сразу после того, как шихта попадает в печь при температуре 160 - 180 0С. Интенсивность этого процесса нарастает по мере прогревания шихты, достигая максимального значения при температурax порядка 750—1000 °С. Плавление шихты начинается задолго завершения процессов восстановления. Эвтектики сплав свинца и меди плавятся при 550 °С, смесь оксидов свинца и сурьмы при 550 °С, ферриты свинца при 752 °С и т. д.

Легкоплавкая жидкая фаза образуется уже в верхних частях шахты и движется вниз гораздо быстрее, чем слой твердого материала. На своем пути она вступает в многочисленные технологические реакции с твердой шихтой и коксом. В результате в центральной части печи слой в основном состоит из кокса и остатков нерасплавившейся шихты. Между ними идет интенсивное взаимодействие, протекающее с. потреблением большого количества тепла, и поэтому температура на этом участке зоны технологического процесса невелика и составляет примерно 1300—1350 0С. То, что значительная часть оксидов восстанавливается непосредственно углеродом, влечет за собой некоторый перерасход кокса. В нижних частях шахты, где в зону технологического процесса подается газообразный окислитель (воздух, или дутье, обогащенное кислородом), до 75 % площади поперечного сечения печи занято коксом, свободным от шихты (коксовая постель). Температура здесь достигает 1400—1450 °С. Жидкие продукты плавки на выходе из печи имеют существенно более низкую температуру: шлак порядка 1200 °С, штейн 1000—1050 °С.

**1.2 Особенности теплообмена в слое**

Топливные печи широко применяются в цветной металлургии. К исследованию теплообмена в условиях слоя кусковых материалов, двигающихся навстречу потоку газов, как это имеет место в шахтных печах, многие десятилетия привлечено внимание ученых и инженеров. В нашей стране наиболее значительные работы в этой области выполнены во Всесоюзном научно-исследовательском институте металлургической теплотехники (ВНИИМТ) и Уральском политехническом институте.

Теплообмен в слое представляет собой крайне сложный случай теплообмена. Плотный слой образуется кусками различной формы и размеров, имеющими различные теплофизические свойства. Сложный характер движения кусков значительно затрудняет определение реальной поверхности теплообмена. Различная величина зазоров между кусками влияет не только на особенности омывания их газами, но делает неразделимыми процессы теплопроводности, излучения и конвекции, действующие в слое. Поэтому приходится применять общий коэффициент, учитывающий все три вида теплообмена. Из-за неопределенности поверхности теплообмена более удобно использовать объемный коэффициент теплоотдачи αv [Вт/(м3 ∙ К). Связь его с обычным коэффициентом теплоотдачи α [Вт/(м2 ∙ К) выражается следующим образом: αv = αF, где F – поверхность нагрева, заключенная в 1 м3 слоя кусковых материалов, м2.

Кроме того, слой кусковых материалов характеризуется порозностью f, которая представляет собой отношение объема пустот к полному объему слоя. Для двигающегося слоя, перемещающегося вертикально сверху вниз по высоте какой-то шахты Н, используют понятие объемного напряжения сечения шахты р [м3/(м2∙с)], показывающего, какой объем кусковых материалов перемещается через 1 м2 сечения шахты в течение 1 ч, т е. Н = pt, где t— время полного перемещения сверху вниз, с.

Как уже подчеркивалось, шихтовые материалы в слоевых печах обычно имеют самые разнообразные размеры и теплофизические свойства. Мелкие куски, например, железорудного сырья, обладающие относительно высокой теплопроводностью, приближаются по свойствам к термически тонким телам, а крупным кускам агломерата и особенно известняка присущи свойства, характерные массивным в тепловом отношении телам. В результате этого необходимо выполнять анализ условий нагрева кусков шихты в очень широком диапазоне значений их теплового сопротивления. Очень часто в шахтных печах нагрев слоя кусков шихты происходит в условиях наличия источников (стоков) тепловой энергии.

В большинстве шахтных печей движение шихты и газов происходит по принципу противотока.

Рассмотрим, следуя работам Б. И. Китаева, ряд наиболее важных аспектов теплообмена в плотном слое при противотоке. Общее уравнение теплового баланса можно написать следующим образом:

, (1)



где Gм и Gг — массовый расход соответственно нагреваемого материала и охлаждающихся газов, кг/ч; см и сr — теплоемкость материала и газов, кДж/(кг∙К); dTм и dTг — изменение температуры материала и газов, К.

Применяя водяные эквиваленты, это выражение можно записать так:

, (2)



Очевидно, что изменение температур dTм и dTг будет зависеть от соотношения между величинами Wм и Wг. Возможны три случая такого соотношения, изображенные на (рисунке 1).

В первом случае, когда Wг > Wм, конечная температура нагреваемого материала (обозначения ясны из рисунка 1) практически достигает начальной температуры газов. Газы при любой высоте слоя не могут отдать всего своего тепла нагреваемому материалу и выходят из состояния теплообмена с высокой конечной температурой, что является неизбежным.

При Wг = Wм и dТг = dТм охлаждение газов на 1 °С обеспечивает нагрев металла также на 1 0С. Следовательно, на всей высоте слоя разность температур между Тг и Тм будет одинаковой, что обеспечивает прямолинейный характер изменения этих температур по высоте слоя.

Если Wг < Wм, то при достаточной поверхности нагрева газы отдадут все свое тепло материалу (Т''г и Т'м), однако этого тепла не хватит, чтобы

нагреть материал до начальной температуры газов.

Как будет показано ниже, в разных частях шахтной печи возможны случаи, когда Wг > Wм и Wм > Wг, поэтому рассмотрим подробнее теплообмен при Wг > Wм сначала для случая термически тонких кусков. С этой целью выделим элементарный участок слоя, через который в единицу времени прохо­дит объем материала Vм с поверхностью F.

Количество тепла, переданное материалу, может быть записано следующим образом:

, (3)



где α — коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности кусков, Вт/(м2 ∙ К).

При отсутствии тепловых потерь для противотока характерно, что в любом сечении по высоте слоя (рисунок 1).

, (4)



откуда (5)



Подставив выражение (5) в уравнение (3), можно получить после соответствующих преобразований неходкое дифференциальное уравнение

(6)



решением которого будет

(7)



Из последнего выражения следует, что при t=∞ (высота слоя ∞) температура кусков материала на выходе из слоя Т''м достигнет температуры газов на входе в слоя Т'г. Если учесть, что для этого момента времени Т'г ≈ Т''м, то из выражения (5) можно получить:

(8)



Учитывая, что αv=αF, t = H/p и Gм cм /Vм = cм pнас (pнас – плотность насыпного слоя) и, перейдя к безразмерной форме, можно записать следующее выражение для условий завершенного теплообмена (Т'г ≈ Т''м) при Wг > Wм:

(9)



Приведенные выше выражения устанавливают связь между всеми основными величинами, определяющими изменение температуры материала в слое и температуры газов.

Для случая Wм > Wг, аналогичные рассуждения приводят к выражению:



Уместно напомнить, что все вышеприведенные рассуждения относятся к нагреву кусков, представляющих собой термически тонкие тела, т. е. без учета внутреннего теплообмена в кусках. В действительности реальные куски могут не быть термически тонкими телами, т. е. не будет иметь место равенство , где , — время прогрева кусков соответственно с реальной и с бесконечно большой теплопроводностью. Для реальных кусков можно говорить о какой-то условной величине отношения / , которое будет зависеть от критерия Bi . Поскольку куски бесформенны, то для них практически невозможно определить точно величину линейного размера, входящего в критерий Bi. Если с определенной степенью приближения считать, что куски имеют форму шара, то



где Bi = ; R – радиус шара.



После соответствующей подстановки в уравнение (7) можно получить выражение



которое позволяет делать необходимые расчеты нагрева слоя, состоящего реальны кусков.

Bo все приведенные выражения, естественно, входят величины коэффициентов теплоотдачи, которые определяются экспериментальным путем.

Большой практический интерес представляет определение гидравлического сопротивления слоя. Хаотическое распределение кусков неопределенность сечений для прохода газов - все это делает возможным, по существу, лишь эмпирический путь исследования этих вопросов. В результате неопределенности формы и размеров пор между кусками определения отдельных элементов местных сопротивлений выполнить невозможно, поэтому они учитываются общим коэффициентом Ксл, входящим в нижеприведенную формулу для определения потерь напора в слое, Па:



где Ксл - 4ξ (Н/dэкв); wоб — скорость, отнесенная к общему сечению шахты, м/с; f — порозность слоя; рг — плотность газов, кг/м3; Н — высота слоя, м; dэкв — эквивалентный диаметр, м; dэкв = (0,45÷0,47) d; d — средний диаметр кусков слоя, м; ξ – коэффициент сопротивления, зависящий от критерия Re и определяемый при турбулентном режиме при 250 < Re < 5000 по формуле ξ = 1,56/Re0,15.

Турбулентный режим в слое наступает при низких значениях критерия Re. Это объясняется турбулизацией потока при внезапных расширениях и сужениях, резких поворотах при прохождении газа через слой кусковых материалов.

**2 Конструкция и основные показатели работы**

**2.1 Устройство печи**

Шахтные печи, применяемые для переработки одного и тем более разных видов сырья, могут существенно отличаться друг от друга профилем и размерами шахты, числом дутьевых устройств (фурм) и рядом других параметров. Однако для всех печей характерен единый принцип работы, что позволяет осуществлять компоновку агрегата из практически одинаковых конструктивных элементов, к которым относятся горн, шахта, колошник и шатер. В ряде случаев к печи может примыкать внешний обогреваемый отстойник (передний горн), используемый для разделения жидких продуктов плавки.

Конструкцию конкретного агрегата удобнее всего рассмотреть на примере широко распространенной в промышленности шахтной печи свинцовой плавки прямоугольной формы (рисунок 2).

Горн печи, повторяющий форму и размеры шахты на уровне фурм, сооружают из огнеупорного кирпича и устанавливают на массивном бетонном фундаменте. Изнутри горн футеруют хромомагнезитовым кирпичом, стойким по отношению к агрессивному воздействию расплавленной среды, для внешней кладки используют шамот. Снаружи горн заключен в сварной кож листовой стали. Сверху на стенки горна укладывают и приваривают к кожуху массивные металлические плиты, служащие осно­ванием для установки и крепления кессонов.

В условиях непрерывно работающей печи горн всегда заполнен расплавом. Внизу на лещади, выполненной в виде обратной арки, скапливается свинец, над которым располагаются штейн и шлак. Выпуск свинца организуется непрерывно через один или (для больших печей) два сифона, примыкающих к боковой стенке печи. Они представляют собой небольшую футерованную огнеупорным кирпичом камеру-копильник, соединенную с внутренним пространством горна специальным каналом. Шлак из печи выпускается периодически по мере накопления через специальные шпуровые отверстия в медных водоохлаждаемых кессонах, установленных в торцевой стенке горна. Для больших печей при получении легкоплавких, жидкотекучих шлаков может быть организован непрерывный сифонный выпуск.

Шахта печи состоит из кессонов, представляющих собой плоские металлические коробки шириной 0,6—0,9 м и высотой 1,5—6,0 м, охлаждаемые проточной водой. В последнее время кессоны в основном оборудуют системой испарительного охлаждения. Обычно устанавливают два ряда кессонов. Нижние или фурменные кессоны крепят друг к другу болтами и устанавливают на основании с небольшим (3—5°) наклоном к вертикальной плоскости, образуя так называемые заплечики, воспринимающие активное давление слоя, находящегося в печи материала. Кессоны торцевых стен устанавливают вертикально. Верхнюю часть второго ряда кессонов крепят с помощью домкратов, опирающихся на специальную балку, опоясывающую печь по периметру и жестко соединенную с отсечным каркасом. Для уплотнения зазоров между кессонами используют шнуровой асбест.

На высоте 300 мм от нижней кромки кессонов первого ряда расположены отверстия, в которые вставляют металлические водоохлаждаемые фурмы, заглубляемые в рабочее пространство печи на 200—300 мм. Фурмы имеют в диаметре 100—125 мм и устанавливаются в один реже в два ряда. Ширину печи на уровне фурм выбирают таким образом, чтобы воздух, подаваемый в печь под давлением порядка 20 кПа, достигал центра слоя. Обычно она составляет от 1,3 до 1,9 м. Длина печи зависит от ее производительности и колеблется в пределах от 2,5 до 26 м.

Колошником называется верхняя часть печи, расположенная над шахтой. Он сооружается из металлических плит, при необходимости футеруемых огнеупорным кирпичом. Колошник служит для размещения устройств загрузки перерабатываемых материалов, которые могут быть расположены в центре или вдоль боковых стен печи. Предпочтение отдается, как правило, боковой загрузке, так как в этом случае крупные куски материала располагаются в центре слоя, что способствует увеличению его газопроницаемости и улучшению аэродинамических характеристик печи. При боковой загрузке с одной или двух продольных стен колошника расположены несколько (3÷4) загрузочных окон, обоснованных двухшиберными устройствами. Сначала открывают, наружный шибер и в приемную камеру загружают порцию (колошу) агломерата или кокса. Затем закрывают наружный и открывают внутренний водоохлаждаемый шибер, и материал по наклонной плоскости сползает в шахту.

Шатер накрывает колошник, выполняя функции газоотводящей и сепарационной камеры. В куполе шатра имеются два-три отверстия, соединенные с металлическим газоходом. Внутреннюю поверхность заключенного в металлический кожух шатра футеруют огнеупорным кирпичом. На шахтных печах, применяемых для переработки шихт с большим содержанием цинка, применяют в основном шатры, изготовленные из метал­лических кессонов, охлаждаемых водой. Такая конструкция позволяет значительно облегчить очистку стен от пыли и настылей.

Сложность тепло - и массообменных процессов, протекающих в шахтных печах, и отсутствие надежных данных о теплофизических характеристиках перерабатываемых в них материалов в значительной степени ограничивают возможность применения расчетных методов при оценке тепловой работы этих агрегатов. В настоящее время эффективность работы шахтных печей оценивается в основном на базе статистической обработки производственных данных.

Важнейшими показателями работы печи являются ее удельная производительность, которую рассчитывают по количеству проплавляемой в течение суток шихты, отнесенному к 1 м2 площади сечения печи в области фурм, и удельный расход топлива (кокса), определяемый в процентах от массы перерабатываемой шихты. Широкие пределы изменения этих показателей в условиях одного технологического процесса обусловлены, как правило, различиями в химическом и фракционном составе сырья качеством применяемого топлива и характером дутья. Например, при свинцовой плавке высота слоя в зависимости от фракционного состава материала может изменяться от 2,5 до 6,0 м. Удельная производительность и расход топлива в зависимости от его химического состава колеблются соответственно в пределах от 35 до 100 т/м2 в сутки и от 8 до 13 %. Отходящие газы шахтной печи свинцовой плавки имеют температуру порядка 250-400 0С. Они содержат большое количество пыли, являющейся полиметаллическим сырьем, направляемым после очистки газов в металлургическое производство.

**Список использованных источников**

1 Кривандин В.А. Металлургическая теплотехника – 2 том / В.А. Кривандин; профессор, доктор техн. наук. – Москва: Металлургия, 1986 г. – 590 с.