**Содержание**

# 

# Задание

1. Обжиговые печи черной металлургии

1.1 Общие сведения

1.2 Обжиговые печи

2 Шахтные печи

2.1 Принцип действия и устройство шахтных печей

2.2 Способы отопления и режимы обжига в шахтных печах

2.3 Особенности теплообмена в слое

Заключение

Список использованных источников

#### 1 Обжиговые печи в чёрной металлургии

# 1.1 Общие сведения

Печные установки служат для обжига различных сыпучих ма­териалов, суспензий или изделий разнообразных форм и разме­ров. Показателем успешно проведенного обжига является высокое качество готового продукта, полученного в результате воздействия на материал ряда внешних факторов, называемых режимом об­жига. Под режимом обжига понимают совокупность температурных и аэродинамических условий и длительности обжига, а также ха­рактера газовой среды, в которой происходит обжиг.

В свете этих положений различают температурный и аэродина­мический режимы обжига.

Температурный режим определяется скоростью подъема темпе­ратуры до максимальной, временем выдержки материала при максимальной температуре и скоростью его охлаждения. Нагляд­ное представление о температурном режиме дает температурная кривая обжига.

Аэродинамический режим печи характеризуется статическим давлением в рабочей полости. Неравномерное распределение дав­ления или разрежения приводит к разной скорости движения га­зовых потоков вокруг обжигаемого материала и неравномерному нагреву изделий. Особенно отрицательно это сказывается на ка­честве крупногабаритных изделий.

Наиболее равномерное распределение температур по рабочему пространству печи устанавливается при статическом давлении, близком к нулю. Повышенное давление в рабочем пространстве печи приводит к выбиванию газов в помещение цеха через имею­щиеся в печи неплотности. Наоборот, разрежение создает присосы наружного холодного воздуха, вызывающие местное понижение температуры. Аэродинамический режим печи во многом зависит от сопротивления самого обжигаемого материала прохождению газов. Равномерное сопротивление слоя кускового материала или садки изделий в печи способствует равномерному обжигу.

Состав газовой среды в процессе обжига может быть окисли­тельным, если в газах присутствует свободный кислород, восста­новительным при содержании в газах водорода Н2, окиси углерода СО, углерода С в виде мельчайших частиц сажи и нейтральным при отсутствии в газах СО, Н2 и О2.

Определенный состав газовой среды достигается сжиганием топлива при разных значениях коэффициента избытка воздуха а. На качество обжига гипса, извести, шамота газовый режим не оказывает существенного влияния, но в целях уменьшения потерь теплоты с отходящими газами рекомендуют топливо сжигать с та­ким количеством воздуха, которое по возможности близко к тео­ретическому его значению, т. е. при а=1.

Каждые материал или изделие, обжигаемые в той или иной конструкции печи, требуют индивидуального режима обжига. Рез­кий режим обжига отличается высокими скоростями подъема и снижения температуры. В противоположность ему мягкий режим протекает при малых скоростях подъема и снижения температу­ры. Большинство кусковых материалов — гипс, известь, цементный клинкер, глина, шамот — можно обжигать при резких режимах. Решающим значением здесь для получения качественной продук­ции является продолжительность выдержки материала при мак­симальной температуре для завершения всех физико-химических процессов, протекающих в материале при его обжиге. Формован­ные же изделия, наоборот, обжигают при мягких режимах. На­ряду с достаточной продолжительностью выдержки при макси­мальной температуре для обжига формованных изделий характер­ны меньшие скорости подогрева и охлаждения во избежание по­явления в материале разрушающих напряжений.

Рациональная конструкция печи должна обладать всеми воз­можностями для регулирования процесса обжига по отдельным его зонам для каждого вида обжигаемого в ней материала, а так­же отличаться высокими технико-экономическими показателями работы. Оптимальный режим обжига — это совокупность всех внешних условий, обеспечивающих получение готового продукта высокого качества при наилучших технико-экономических показа­телях печи.

К технико-экономическим показателям печной установки отно­сят:

а) производительность — количество вырабатываемого в принятую единицу времени готового продукта. Для сравнения производительности отдельных печей при обжиге в них однотипного материала и для удобства нормирования пользуются понятием  
удельная производительность печи или съем — это количество го­тового продукта, получаемого с 1 м3 или с 1 м2 площади попе­ речного сечения рабочего пространства печи в принятую единицу времени;

б) расход топлива на обжиг принятой единицы продукции. Этот показатель определяют отношением расхода условного топлива к количеству готовой продукции. Он характеризует тепловую экономичность печи;

в) расход электроэнергии (кВт-ч) на обжиг принятой единицы продукции. В пламенных печах основными потребителями элект­роэнергии являются вентиляторы и дымососы;

г) затраты труда на обслуживание печи выражают отношением человеко-часов к количеству готовой продукции; затраты труда зависят от степени механизации печи;

д) капитальные затраты, связанные с расходом и стоимостью материалов на сооружение печи.

Вышеприведенные технико-экономические показатели работы печи дают возможность не только определить стоимость обжига принятой единицы продукции, но и судить о совершенстве той или иной конструкции, наметить пути дальнейшего ее усовершен­ствования.

**1.2 Обжиговые печи**

В черной металлургии обжиговые шахтные печи применяют глав­ным образом для обжига железных руд, известняка, магнезита и доломита. По виду используемого топлива обжиговые шахтные печи разделяются на пересыпные и с выносными топками.

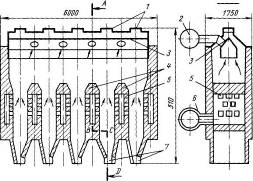
Пересыпные шахтные печи применяют преимущественно для обжига тугоплавких материалов: известняка, доломита и др. Топливом служит коксовая мелочь, загружаемая в печь вместе с известняком. В нижней части шахты устанавливают механиче­ское устройство для выгрузки обожженного продукта и регулиро­вания схода шихты. Воздух подают через решетку разгрузочного устройства. Иногда для улучшения распределения шихты на колошнике печи устанавливают засыпной аппарат с одной вращающейся воронкой и конусом. Подогрев и обжиг материалов осуществляется в верхней части шахты. В нижней части обожженный материал охлаждается и одновременно подогревается воздух.

Шахтные печи с выносными топками применяют для обжига сравнительно легкоплавких железных руд. Нагрев и обжиг мате­риала осуществляется продуктами сгорания, поступающими из топок в среднюю часть шахты по специальным каналам. Топки рас­полагают около шахты, они могут иметь с ней общие стенки. В ка­честве топлива используют горючие газы любого вида, мазут и ка­менный уголь. Нижняя часть шахты как и в пересыпных печах, служит для охлаждения обожженного материала. Для этого через нее пропускают определенное количество воздуха, который нагре­вается и в средней части печи смешивается с продуктами сгора­ния, поступающими из топок.

Продукты сгорания, подводимые по каналам через стенки шахты, устремляются в основном по наиболее легкому пути в пе­риферийных областях слоя. Чтобы прогреть центральные области слоя шихтовых материалов, шахты печей делают узкими (с вытя­нутым поперечным сечением). В некоторых печах нижнюю часть шахты перегораживают огнеупорными стенками (кернами), в кото­рых предусмотрены каналы для подачи продуктов сгорания в цен­тральные области. Схема такой печи, предназначенной для обжига сидеритов (железных руд, содержащих до 20 % Fe), представлена на (рисунке 1).

Удельная производительность обжиговых шахтных печей зна­чительно ниже, чем для вагранок, около 0,5—1.0 т/(м2-ч). Расход условного топлива зависит от содержания влаги и карбонатов в обжигаемом материале. При обжиге известняка он составляет 180—200 кг на 1 т готового продукта.

Для повышения производительности и замены кокса на газо­образное топливо в зоне горения известковых печей стали устанав­ливать горизонтальные водухоохлаждаемые балки с вмонтирован­ными в них или под ними газовыми горелками. Куски известняка проходят между этими балками через пламя горящего газа. При установлении по высоте печи двух рядов балок в шахматном по­рядке достигается значительное улучшение качества обжига.



1 — люки для загрузки шихты: 2 — газопровод для отходящих газов;

3 — гре­бень (разбойник), направляющий руду к стенкам печи; 4 — поперечные стенки (керны); 5 — каналы для подвода горячих газов в слой обжигового материала; 6 – футерованный газопровод для продуктов сгорания газообразного топлива; 7 — люки для выгрузки обожженного материала

## **2 Шахтные печи**

**2.1 Принцип действия и устройство шахтных печей**

Автоматические шахтные печи при относительно небольших раз­мерах просты по конструкции, требуют сравнительно небольших капиталовложений при строительстве и характеризуются сравни­тельно низким расходом тепла — около 4,200 МДж (1000 ккал) на 1 кг клинкера. Однако производительность их за сутки невысока — не более 270 т. В СССР эти печи имеются лишь на трех предприятиях. Заводы с шахтными печами строят в единичных случаях, так как для эффективного применения этих печей необходимы сырьевые материалы невысокой влажности, пластичный глинистый компонент и твердое короткопламенное топливо (антрацит, кокс, тощий уголь, сланцевый кокс), содержащее не более 7% летучих веществ.

Основным элементом автоматической шахтной печи (рисунок 2) является сварной цилиндрический кожух диаметром 2—3 м и высо­той 8—12 м, облицованный внутри шамотным кирпичом и хромо­магнезитом. Нижнюю часть шахты облицовывают чугунными пли­тами. Верхняя часть шахты расширена (примерно на 25%) в виде воронки. К верхней части шахты, закрытой специальным колпаком, примыкает труба для удаления отходящих газов.

Над шахтой расположены бункера сырьевой смеси и топливной крупки, весовые или винтовые дозаторы, смесительный шнек и та­рельчатый гранулятор. Кроме сырьевой смеси и топливной крупки на тарелку гранулятора подается распыленная вода, вокруг брызг, которой образуются сырьевые гранулы, скатывающиеся во вращаю­щуюся течку загрузочного устройства, распределяющего гранулы равномерно по сечению шахты. Внизу шахта закрыта вращаю­щейся решеткой, жестко посажен­ной на вертикальный вал, и много­шлюзовым затвором, предупреж­дающим потери воздуха высокого давления. Воздух для горения по­дается в печь от воздуходувки, обеспечивающей давление до 2500 мм вод. ст., по разветвлен­ному воздухопроводу частично под решетку и частично для улучше­ния сгорания топлива в зоны по­догрева и кальцинирования. В эти же зоны для дожигания обычно образующейся в печи окиси угле­рода иногда по центральной трубе подают кислород. Во избежание утечки сжатого воздуха через раз­грузочное отверстие клинкер вы­гружают из печи через двух -, трех-шлюзовой затвор, клапаны которого открывают и закрывают по­переменно специальным гидропри­вводом.

Таким образом, автоматическая шахтная печь представляет собой печь непрерывного действия с ме­ханизированной подготовкой и за­грузкой сырьевых гранул, а также разгрузкой клинкера.

Печи последних конструкций оборудуют контрольно-измерительными приборами и приборами автоматического регулирования про­цесса.

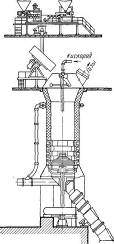
Производительность шахтной печи прямо пропорциональна квад­рату диаметра шахты, высоте шахты, давлению дутья и количеству воздуха, подаваемого в печь, и обратно пропорциональна размеру кусков обжигаемого материала. Съем клинкера с единицы объема шахтной печи составляет 100—135 кг/(м3-ч).

Качество клинкера шахтных печей несколько ниже качества клинкера, обожженного во вращающихся печах. Оно может быть повышено в результате тонкого помола (до 8% остатка на сите с сет­кой № 009) сырья при точной дозировке и тщательном перемеши­вании сырьевой смеси и топлива, хорошем гранулировании смеси (прочные гранулы размером 10—20 мм), равномерном распределении гранул при подаче воздуха с наибольшим давлением.

Существенным недостатком шахтных печей является их низкая производительность. Однако технико-экономический анализ пока­зывает целесообразность применения автоматизированных шахтных печей в ряде случаев, например при небольшой производительности (до 600 т/сутки) завода.

Шахтные печи усовершенствованной конструкции, изготовляе­мые фирмами Леше и Де Ролль (Швейцария), работают по способу «черной муки» и имеют высокие технико-экономические показатели. Расход тепла в них составляет 3,35 МДж (800 ккал) на 1 кг клинкера. Из клинкеров шахтных печей 20 цементных заводов ФРГ получают цемент 325—425 (по стандарту ФРГ). Сланцевский цементный завод в шахтных печах получает клинкер марки 400 (по ГОСТ 10178—62).

Рисунок 2 - Шахтная печь



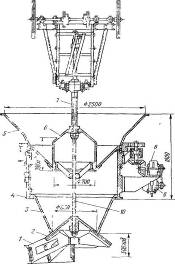
В последние годы производительность шахтных печей за сутки достигла 300 т, а фирма Леше проектирует и более крупные шахтные печи (диаметром 3,6—4 м, высотой 11,2—12 м) производительностью 400—500 т за сутки. Ведутся исследования по применению жидкого и газообразного топлива для обжига клинкера в шахтных печах, что обеспечит дальнейшее развитие и распространение этих экономичных установок.

Для дальнейшего совершенствования процесса обжига клинкера научно-исследовательские организации в последние годы разрабаты­вают и исследуют новые конструкции и схемы печных установок и новые методы обжига. Эти изыскания направлены на интенсифика­цию и повышение тепловой эффективности процесса клинкерообразования путем повышения температуры реакции или обжигом сырье­вой смеси во взвешенно-фонтанирующем или в кипящем слое. Однако промышленных установок таких еще нет.

Шахтные печи являются печами непрерывного действия. Они представляют собой высокую шахту, оборудованную механизмами для загрузки и выгрузки материала, вентиляторами для подачи холодного воздуха и отбора отходящих газов и устройствами для сжигания топлива. В работающей печи вся шахта заполнена кус­ковым материалом, который, двигаясь сверху вниз под действием силы тяжести, последовательно подогревается, обжигается и ох­лаждается. Готовый продукт выгружается в нижней части шахты через разгрузочное устройство, при этом весь столб материала опускается вниз и на освободившееся вверху место поступает сы­рой материал. В печи соблюдается принцип противотока: в зоне подогрева и обжига материал движется навстречу дымовым га­зам, образовавшимся при горении топлива, а в зоне охлаждения — навстречу воздуху. Воздух, охлаждая материал, сам нагревается и горячим достигает зоны обжига, где участвует в процессе го­рения топлива или смешивается с топочными газами, если топли­во сгорает вне печи в специальных топках.

Шахта печи выполнена из кирпича и заключена в металличес­кий кожух. Опорой под шахту печи служит железобетонная пли­та, лежащая на четырех железобетонных колоннах, которые опи­раются на фундаментную железобетонную плиту. Для равномер­ного распределения топлива поперечное сечение шахты может быть круглой или эллипсовидной, реже прямоугольной формы. Вертикальное сечение шахты (профиль) представляет собой прямоугольник, иногда суживающийся кверху или книзу. Стены печи многослойные: внутренний слой выполнен из огнеупорного кирпи­ча толщиной 210—230 мм в зоне подогрева и охлаждения и 345— 460 мм в зоне обжига. За ним следует теплоизоляционный слой из шамотного легковеса толщиной 210—230 мм. Пространство между изоляционным слоем и кожухом шириной 50—60 мм засы­пают молотым шамотом или трепелом для компенсации темпера­турного расширения кирпичной кладки.

Загрузочное устройство (рисунок 3) обеспечивает регулярную 3агрузку материала и топлива в печь, равномерное распределение их го шихте и герметич­ность во избежание присосов наружного воздуха. В период загрузки проис­ходит поочередное откры­тие клапанов, благодаря чему шахта не сообщает­ся с атмосферным возду­хом



1—отбойная пластина, 2-нижний клапан, 3—конус,

4—цилиндрический корпус, 5—приемная воронка, 6—

верхний клапан, 7—полая тяга, 8—редуктор, 9—

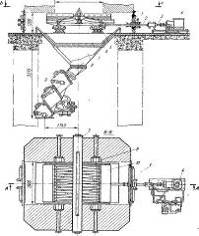
электродвигатель, 10—шток

Рисунок 3 - Двухклапанное загрузочное устрой­ство Гипрострома

Разгрузочные механиз­мы служат для непрерыв­ной выгрузки обожжен­ного материала при абсо­лютной герметичности нижней части шахты, осо­бенно в клинкерообжигательных печах, работаю­щих с высоким давлением дутья. Конструкция разгрузочного устройства за­висит от вида выгружа­емого материала, который может быть рыхлым, как, например, гипс, известь, или спекшимся — цементный клинкер. Раз­грузочное устройство Гипрострома для выгрузки рыхлых материалов (рисунок 4) похоже на свар­ную каретку-платформу, на раме которой уложе­ны колосники клинооб­разной формы. Столб ма­териала опирается на ее поверхность и частично на центральный гребень, охлаждаемый воздухом. Каретка совершает пос­тупательно-возвратное  
движение. При этом часть кусков материала проваливается в прозоры колосников, а более крупные куски скатываются с их поверхности в бункер.

Шлюзовое уплотнительное устройство (рисунок 4) состоит из двух-трех камер, последовательно расположенных за течкой бун­кера. Каждая камера отделена от предыдущей автоматически от­крывающимся затвором. Заслонки затворов открываются пооче­редно. При поступлении материала в первую камеру открывается ее затвор, в то время как затворы последующих двух камер закрыты. При дальнейшем движении материала по камерам открыт один затвор, а два других затвора всегда закрыты. Этим дости­гается хорошее уплотнение нижней части шахты, препятствующее выходу в атмосферу вдуваемого воздуха.

А-А 2600



1—люк, 2—штанга, 3—шток; 4—гидропривод; 5—опорные катки; 6—рельсовые бал­ки, 7—каретка, 8—бункер, 9—шлюзовой затвор; 10— колосники

Рисунок 4 – Выгрузочная решетка Гипрострома

**2.2 Способы отопления и режимы обжига в шахтных печах**

Все материалы, обжигаемые в шахтных печах, в зависимости от режима обжига можно разбить на две группы: материалы низ­ко- и высокотемпературного обжига. К первым относят строитель­ный гипс, низкожженый шамот, обжигаемые при температурах 773—1173 К (500—900 °С), ко вторым — известь, высокожженный шамот, цементный клинкер и другие материалы, обжигаемые при 1473—1773 К (1200—1500 °С) и выше. Для осуществления температурного режима, соответствующего обжигу того или иного материала, печи имеют разную систему отопления. Печи низко­температурного обжига в зоне обжига оборудуют топками полного сжигания топлива, вынесенными за пределы шахты; для них ис­пользуют любой вид топлива. Топочные газы при входе в шахту разбавляют воздухом, поступающим из холодильника, для обра­зования газовоздушной смеси любой требуемой температуры. В пе­чах высокотемпературного обжига топливо сгорает в самой шахте среди обжигаемого материала. Если топливо твердое, его подают в печь через загрузочное устройство в смеси с материалом или послойно в соотношении, определяемом условиями обжига.

В зоне подогрева температура топлива достигает температуры воспламенения и при поступлении в зону обжига, смешиваясь с горячим воздухом, движущимся вверх по шахте из зоны охлажде­ния, оно сгорает среди кусков материала. Такие печи называют пересыпными.

В пересыпных печах применяют только короткопламенное топ­ливо, преимущественно антрацит во избежание потери летучих горючих веществ в зоне подогрева. Остающаяся после сгорания топлива зола засоряет обожженный материал, и его качество ухудшается. Это является недостатком пересыпных печей. Длиннопламенное топливо сжигают в полугазовых топках, пристроенных к шахте на уровне зоны обжига. Полученный в них полугенера­торный газ имеет высокую температуру и, смешиваясь в шахте с сильно нагретым воздухом, идущим из зоны охлаждения, сгорает среди кусков материала с выделением значительного количества теплоты.

Газообразное топливо сжигают в горелках, смонтированных в стенках шахты в зоне обжига. В печах, работающих на мазуте, шахта в поясе зоны обжига имеет специальные форкамеры, пред­назначенные для предварительной газификации мазута. Из них продукты газификации, содержащие до 26% горючих газов и име­ющие высокую температуру, поступают в шахту и сгорают среди материала с высоким температурным эффектом.

Температурный режим обжига кусковых материалов в шахтной печи характеризуется постепенным подъемом температуры в зо­не подогрева домаксимальной, выдержкой материала в зоне об­жига при максимальной температуре и постепенным ее снижением в зоне охлаждения. Высота зон пропорциональна продолжитель­ности отдельных периодов обжига.

Главным для получения качественного продукта является вре­мя пребывания материала в зоне обжига, необходимое для за­вершения всех протекающих в нем физико-химических процессов. Время подогрева и охлаждения в целях сокращения всего про­цесса обжига и увеличения производительности шахтной печи может быть без ущерба для качества минимальным.

Аэродинамический режим шахтной печи обусловлен взаимным расположением тягодутьевых устройств и сопротивлением слоя материала в шахте. Верхняя часть печи — зона подогрева — сооб­щается с дымососом, поэтому находится под разрежением, посте­пенно убывающим по направлению к зоне обжига. В зоне обжига разрежение достигает минимального, близкого к нулевому, значе­ния. Нижняя часть шахты — зона охлаждения — находится под давлением, так как в нее дутьевым вентилятором нагнетают хо­лодный воздух. По мере движения воздуха в направлении зоны обжига давление убывает.

Состав газовой среды на качество обжига кусковых материа­лов не оказывает существенного влияния. Значение коэффициента избытка воздуха в зоне обжига должно соответствовать роду сжигаемого топлива и системе отопления печи при минимальных потерях теплоты от химического и механического недожога и с отходящими из печи газами. Коэффициент избытка воздуха в зоне обжига обусловлен также его количеством, идущим из зоны охлаждения и определяемым потребностью материала в холодном воздухе для охлаждения до температуры выгрузки из печи.

Конструкции шахтных печей для обжига отдельных материалов

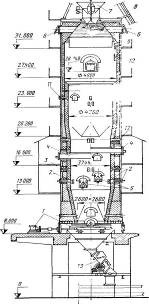
Печи для обжига извести. В шахтных печах обжигают более или менее плотные породы известняков. Мел, не обладающий до­статочной механической прочностью, будет раздавлен и забьет шахту, появится препятствие фильтрации газов через слой ма­териала, поэтому мел обычно обжигают во вращающихся печах. Температура обжига известняков колеблется в пределах от 1173 до 1473 К (900 до 1200 °С) в зависимости от их прочности и химического состава.

Известково-обжигательные печи могут быть пересыпными в случае применения короткопламенного топлива, либо иметь вы­носные полугазовые топки при использовании длиннопламенного топлива. Они также могут работать на газе или мазуте. Шахта пересыпной шахтной печи производительностью 200 т/сут (рисунок 5) цилиндрической формы с внутренним диаметром 4,3 м и ра­бочей высотой 25 м. Печь снабжена двухклапанным загрузоч­ным устройством с поворотной чашей для послойной подачи ма­териала и топлива — антра­цита.

Автоматизация загрузки способствует поддержанию в шахте постоянного уровня ма­териала. Выгрузочным меха­низмом печи служат движущиеся каретки. Уплотнение ниж­ней части шахты достигается  
трехшлюзовым затвором.

Удельная производительность составляет 0,75 т/(м3-сут). Расход условного топлива 133 кг/т извести.

Более поздние проекты Гипрострома высокопроизводи­тельных шахтных печей для обжига извести ориентированы на отопление их газообразным и жидким топливом. Шахтная печь производи­тельностью 200 т/сут на газо­образном топливе представле­на на (рисунке 6) Прямоугольное со скругленными углами сече­ние шахты в зоне обжига пере­ходит в круглое в зоне подо­грева. В целях интенсифика­ции охлаждения профиль шах­ты книзу сужают. Подачу газа в зону обжига производят в два яруса. В нижний ярус газ подают через шесть диффузи­онных горелок, встроенных в стены шахты, и в центральную часть печи через многосопловые балочные горелки. Такие же горелки расположены в верхнем ярусе, только расположение центральных горелок перпендикуляр­но таковым нижнего яруса.



1—выгрузочная решетка; 2—периферийные горелки нижнего яруса; 3, 12—отверстия для установки датчиков давления и тем­пературы, 4—две балочные горелки верх­него яруса; 5—две балочные горелки ниж­него яруса; 6—предохранительный взрыв­ной клапан; 7—двухклапанное загрузоч­ное устройство; 8—скиповый подъемник; 9—отверстия для датчиков уровнемера шихты; 10—короб отсоса дымовых газов; 11—гляделка; 13—трехшлюзовой затвор

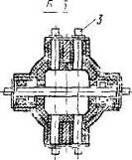
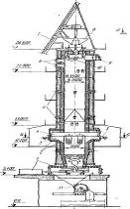
Рисунок 6 – Шахтная печь конструкции Гипрострома на газообразном топливе

Часть необходимого для го­рения воздуха (25—30%) пос­тупает через диффузионные горелки, остальной воздух — через зону охлаждения печи.  
Удельная производительность по извести составляет 0,8 т/(м3-сут); удельный рас­ход условного топлива 155 кг/т извести.

Шахтная печь на мазуте конструкции Гипрострома (рисунок 7) имеет производительность 30 т/сут.

Форма поперечного сечения сходна с печью, работающей на газе. Размер сечения в зоне обжига 2x2 м, в зоне охлаж­дения 1,6x1,6. Рабочая высота шахты 19,2 м. Мазут поступа­ет в шесть механических фор­сунок. Две из них вводят мазут в подбалочное пространство центральной части шахты, ос­тальные распыляют его в спе­циальных форкамерах для предварительной газификации. Продукты газификации, посту­пая в шахту, смешиваются со вторичным воздухом, подаваемым из холодильника печи, и сгорают среди материала.

Печи для обжига цементно­го клинкера. Шахтные печи для обжига цементного клинкера (рисунок 8) нашли распрост­ранение при получении цемента из пластичных природных мерге­лей. Перед обжигом в шахтных печах к сырью добавляют размо­лотое до крупности 0,3—0,5 мм топливо и из полученной шихты изготовляют так называемый «черный брикет» или черные гра­нулы размером 15—25 мм, загру­жаемые в печь на обжиг.



1—выгрузочная решетка; 2— форкамеры; 3— мазутные форсунки;

4—водоохлаждаемая балка; 5—гляделки; 6—отверстия датчиков уровнемера шихты; 7—скиповый подъемник; 8— загрузочное устройство;

9— предохранительный взрывной клапан; 10— отверстие для отсоса газов; 11—барабан­ный затвор.

Рисунок 7 – Шахтная печь на жидком топливе

Конструктивное отличие шахт­ной печи для обжига цементного клинкера обусловлено в основном следующим: условиями сгорания топлива, запрессованного в ма­териал; высокой температурой обжига 1573—1773 К (1300— 1500° С) до спекания обжигаемо­го материала; особенностью физико-химических процессов, про­текающих в обжигаемом матери­але, и спекшейся структурой го­тового продукта.

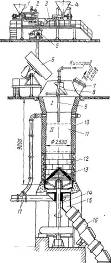
Для осуществления равномер­ного обжига по сечению шахты ее внутренний диаметр не превы­шает 2,4—2,8 м. Исключение сос­тавляет высокомощная печь Юж-гипроцемента диаметром 4,1 м. Рабочая высота шахты 8—10 м. Верхняя часть шахты высотой 2 м книзу постепенно сужена во из­бежание образования у ее стенок сквозных каналов, вызванных усадкой материала при нагрева­нии. Нижнюю часть шахты футеруют жаростойкими чугун­ными плитами. Ввиду большого сопротивления слоя спекшегося клинкера в шахте печи имеют высокое давление воздушного дутья, достигающее 15—25 кПа, по­этому нижняя часть шахты имеет надежное уплотнение в виде многошлюзовых за­творов.

Так как обожженный ма­териал характеризуется спекшейся структурой, раз­грузочное устройство долж­но дробить его перед вы­грузкой из шахты. С этой целью устройство выполня­ют в виде вращающейся зубчатой решетки или не­скольких пар вращающихся навстречу друг другу зубча­тых вальцов. При вращении их клинкер дробится, и ку­сочки его поступают в ниж­нюю бункерную часть печи, а затем в камеры шлюзовых затворов.

Для успешного сжигания топлива, запрессованного в материал, требуется не толь­ко проникновение кислорода внутрь гранул, но также по­вышенная концентрация его в окружающей среде. Это вызвано тем, что образовав­шаяся при горении кокса углекислота может восста­навливаться до СО при соп­рикосновении с раскален­ными кусочками кокса топ­лива по реакции СО2 + С = = 2СО.

Таким образом, присутст­вие в окружающей атмосфе­ре кислорода должно при­вести к дожиганию окиси углерода. С этой целью печь имеет позонное дутье. Часть воздуха, необходимого для горения, поступает через зону охлаждения подогретым, другая часть поступает непосредственно в зону обжига по периферии шахты. Кроме этого, в центральную часть шахты предусмотрена подача чистого кисло­рода.

Удельная производительность печей при обжиге гранул до­стигает 157 кг/(м3-ч), при обжиге крупных брикетов 120 кг/(м3 \* ч), расход условного топлива от 140 до 200 кг/т.



1, 2, 3—зоны; 1—бункер угля; 2, 3—питатели; 4—бункер сырьевой муки; 5—смесительный шнек; 6—гранулятор; 7—газоход; 8—загрузочный желоб; 9—труба подачи кислорода; 10—футеровка; 11— шахта печи; ./2—чугунные плиты, 13—разгрузоч­ная решетка; 14—приводной вал; 15—разгрузоч­ная течка; 16—затвор; 17—воздуховоды

Рисунок 8 – Шахтная печь для обжига, це­ментного клинкера

**2.3 Особенности теплообмена в слое**

Топливные печи широко применяются в черной металлургии. Их используют для получения чугуна из железной руды, в них вы­плавляют сталь, нагревают металл перед обработкой давлением и осуществляют термическую обработку. Все топливные печи черной металлургии могут быть подразделены на две большие группы: слоевые и пламенные.

В слоевых печах с плотным (фильтрующим) слоем исполь­зуется твердое кусковое топливо. Их применяют для выплавки чугуна из руды, расплавления металла перед литьем, обжига же­лезных руд, известняка, магнезита и доломита. Слоевые печи от­носятся к шахтным печам, важнейшими из которых являются до­менные печи — основные агрегаты любого предприятия с полным металлургическим циклом.

В пламенных печах используется газообразное или жидкое топливо, которое (как говорит само название печей) сжигается с образованием пламени (факела) в рабочем пространстве печей. Факельный метод сжигания топлива применяется в мартеновских печах при выплавке стали, в нагревательных печах прокатных и кузнечных цехов, в печах для термической обработки стали.

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 объём кусковых материалов перемещается через 1 м2 сечения шахты в течение 1 ч, т. е. Н - рt, 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. В доменной печи к тому же противоточная схема движения сред дополняется завершен­ностью теплообмена в результате значительной величины поверх­ности нагрева и интенсивного охлаждения газов.

##### Заключение

**Технико-экономическая оценка работы шахтных печей**

Печи отличаются большой производительностью и тепловой экономичностью благодаря полному использованию рабочего объема шахты, утилизации теплоты газов и обожженного мате­риала непосредственно в самой печи для подогрева сырья и воз­духа, поступающего на горение топлива. Качество обожженного материала невысоко из-за неизбежного пережога поверхности кусков и более слабого обжига середины их.

Современные шахтные печи полностью механизированы и многие из них имеют автоматическое управление. Печи отлича­ются повышенным расходом электроэнергии на работу тягодутьевых устройств. Так как шахтные печи не требуют здания и не являются металлоемкими, капитальные затраты на их постройку относительно невелики.

Пути усовершенствования шахтных печей направлены на по­вышение их производительности, улучшение качества обжига и культуры обслуживания.

**Список использованных источников**

1 Никифорова Н.М. Теплотехника теплотехническое оборудование предприятий промышленности, строительных материалов и изделий / Н.В. Тресковой – Москва: Металлургия, Высшая школа, 1981 г.

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