**1 Общая характеристика нагревательных печей**

Нагревательными печами обычно называют печи, в которых осуществляется нагрев металла перед обработкой давлением (прокаткой, ковкой). Часто прокатку металла ведут последовательно на нескольких станах, что определяет и состав парка печей.

Производительность вновь строящихся прокатных станов непрерывно увеличивается. Поэтому общей тенденцией в развитии печей является интенсификация нагрева металла, что позволяет увеличить производительность печного агрегата.

Наиболее распространённым является нагрев прямоугольных заготовок для чего применяют печи периодического (садочные) и постоянного (проходные) действия. В печах периодического действия металл загружается в полностью или частично остуженную печь, и затем постепенно нагревается вместе с печью. Такой метод нагрева, когда температура печи меняется во времени, применяют при нагреве крупных слитков, которые надо греть медленно во избежание возникновения чрезмерного температурного перепада. В чёрной металлургии на периодическом режиме работают нагревательные колодцы-печи, в которых слиток, стоящий вертикально, нагревается с четырёх сторон. Поскольку размеры слитков значительные (толщина обычно около 600 мм, масса около 7 т), подобный нагрев с четырёх сторон обеспечивает необходимую равномерность и производительность.

В печах постоянного действия температура во времени остаётся неизменной. Вместе с тем температура по длине рабочего пространства таких печей может изменяться в соответствии с необходимостью создания целесообразного режима нагрева. Проходные печи постоянного действия – это наиболее распространённые нагревательные печи в чёрной металлургии. Они очень многообразны как по способу транспортировки заготовки через печь, так и по методам отопления. Это толкательные печи, печи с шагающим и роликовым подом; с торцевым, сводовым, боковым отоплением. В таких печах может осуществляться как постепенный (методический) режим нагрева, так и весьма форсированный камерный режим.

Наряду с тепловым и температурным режимом для работы печей большое значение имеет режим давления в печи. Идеальным был бы такой режим давления в печи, при котором холодный воздух не попадал бы в печь, а дымовые газы не выбивались бы из печи. Если холодный воздух попадает в печь, то это приводит к излишнему расходу тепла и увеличивает угар металла. Чрезмерное выбивание дымовых газов приводит к увеличению потерь тепла, пагубно влияет на арматуру печи и затрудняет её обслуживание. Для обеспечения оптимального режима давления в нагревательных колодцах стремятся под крышкой поддерживать небольшое избыточное давление. В проходных печах на уровне нагреваемых заготовок также целесообразно поддерживать небольшое избыточное давление, исключающее подсос воздуха в печь и большое выбивание дымовых газов. Однако полностью выдерживать такое давление по всей длине печи не удаётся.

**2 Печи для нагрева слитков (нагревательные колодцы)**

Слитки металла, полученные в мартеновском, конвертерном или электросталеплавильном цехах, перед прокаткой на обжимном стане подвергают дополнительному нагреву. Обычно толщина их не менее 400 мм, поэтому для ускорения и повышения качества нагрева целесообразно греть их с четырёх сторон, располагая вертикально. Подобный нагрев достигается применением нагревательных колодцев, которые по сравнению с печами других типов с точки зрения условий нагрева крупных слитков отличаются следующими особенностями:

* вертикальным расположением слитков, обеспечивающим ускоренный и равномерный нагрев металла, а также исключающим возможность смещения усадочной раковины;
* удобством транспортирования, загрузки и выгрузки металла при вертикальном положении слитков;

К нагревательным колодцам предъявляют определённые требования:

* достаточно быстрый нагрев металла, обеспечивающий высокую производительность (общую и удельную);
* качественный нагрев металла: равномерность нагрева по высоте и сечению слитков без местных оплавлений;
* эффективная работа воздухо- и газоподогревателей, обеспечение невысокого удельного расхода топлива;
* возможность надёжного автоматического регулирования теплового режима;
* высокие эксплуатационные качества (удобство удаления шлака, полное сжигание топлива в пределах рабочего пространства, достаточная герметизация рабочего пространства и теплообменных устройств, достаточная стойкость крышек и других элементов нагревательных колодцев);
* наиболее простая конструкция и невысокие капитальные затраты на строительство.

Каждый нагревательный колодец в отдельности называется ячейкой. Несколько ячеек составляют группу. Для группы ячеек предусмотрены одна дымовая труба и общее помещение для контрольно-измерительных приборов. Производительность нагревательных колодцев обычно исчисляют на группу в год. Зная производительность стана и производительность одной группы, можно найти необходимое число групп нагревательных колодцев.

**2.1 Тепловой и температурный режимы**

Современные нагревательные колодцы являются камерными печами периодического действия с переменным во времени тепловым и температурным режимом. В большинстве нагревательных колодцев нагрев металла осуществляется садками, т.е. после выдачи всех нагреваемых слитков ячейки колодцев вновь загружают слитками. При выдаче и посадке слитков в результате частого открывания крышки кладка рабочего пространства нагревательных колодцев охлаждается. Поэтому при работе колодцев на горячем посаде в первый момент нагрева температура слитков выше температуры поверхности кладки и основной потребитель тепла в этот период – кладка колодца.

Расход тепла поддерживают максимальным до тех пор, пока температура той части слитка, которая нагревается быстрее, не достигнет предельного значения. Этот период называется периодом нагрева. Вслед за ним наступает период выдержки, в течение которого происходит постепенное уменьшение расхода тепла, так как в течение этого времени температура поверхности слитков остаётся постоянной и тепло расходуется только на прогрев слитка по сечению. В этот период температура отходящих продуктов сгорания остаётся приблизительно постоянной.

Тепловую мощность нагревательных колодцев выбирают так, чтобы обеспечить быстрый подъём температуры кладки и поверхности слитков в начале нагрева. При заниженной мощности период нагрева затянется, а период выдержки сократится, и полный цикл нагрева будет нерационально большим. При завышенном максимальном расходе топлива период нагрева сократится, но увеличится неравномерность температуры по сечению слитка и период выдержки затянется. Это также вызовет чрезмерное увеличение длительности полного цикла нагрева.

На работу нагревательных колодцев очень большое влияние оказывает начальная температура слитков. Обычно нагревательные колодцы работают в подавляющей степени на горячем посаде, т.е. в ячейку для нагрева до температуры прокатки (около 1200 ºС) помещают ещё не полностью остывшие после разливки слитки, температура которых 700 – 850 ºС. Чем выше процент горячего посада и начальная температура слитков, тем больше производительность нагревательных колодцев и тем ниже удельный расход тепла на нагрев металла. Процент горячего посада и начальная температура слитков зависят от уровня организации производства на данном предприятии. На тех заводах, где культура производства достаточно высока, горячий посад достигает 95 %, а начальная температура слитков перед нагревом 800 – 850 ºС.

Оптимальное значение тепловой мощности (по химическому теплу топлива) лежит в пределах 200 – 300 МДж/т садки. Рабочая температура в нагревательных колодцах составляет 1350 – 1400 ºС. Для обеспечения такой рабочей температуры нужно сжигать топливо так, чтобы калориметрическая температура горения достигала 2100 – 2200 ºС.

1. Шлакоудаление. В процессе нагрева металла происходит его окисление. Образовавшаяся окалина стекает по граням слитков на подину колодцев и должна быть оттуда удалена. Существуют два метода удаления окалины: сухое шлакоудаление и жидкое.

При сухом шлакоудалении на подину колодца насыпается мелкий коксик, который впитывает окалину и через 5 – 6 всадов вместе с ней удаляется через специальные лючки. Затем сверху при открытой крышке засыпается и разравнивается новая порция коксика.

Вслед за этим металл нагревают вновь.

При жидком шлакоудалении коксик на поду отсутствует; подину выполняют из огнеупорных материалов, не взаимодействующих с окалиной (обычно хромомагнезит); окалина в жидком состоянии удаляется с пода ячейки через специальную летку.

Каждому из этих методов присущи область применения, свои недостатки и преимущества.

Недостатки сухого шлакоудаления:

* непроизводительные затраты времени на засыпку и удаление коксика;
* замедленный прогрев и науглераживание донной части слитка, несколько утопленной в коксик;
* необходимость иметь в цехе хранилище для кокса и плохое санитарное состояние цеха (при засыпке коксика поднимается туча пыли);
* крайне отрицательное влияние коксовой пыли на керамику регенераторов и рекуператоров.

Однако сухое шлакоудаление – это единственный метод удаления окалины в таких конструкциях, где невозможно обеспечить жидкотекучесть окалины на поду ячейки. Этим обстоятельством и определяется область применения метода сухого шлакоудаления.

Жидкое шлакоудаление позволяет устранить недостатки, свойственные сухому шлакоудалению; но и оно также не лишено недостатка, заключающегося в том, что при жидком шлакоудалении неравномерно изнашивается подина колодца, и слитки теряют устойчивость.

2. Футеровка и её служба. В нагревательных колодцах наиболее уязвимы следующие части огнеупорной футеровки:

* подина и нижняя часть стен, поскольку они интенсивно соприкасаются с окалиной и слитками;
* те пояса футеровки стен, на которые опираются слитки;
* футеровка крышки, так как она подвержена действию наиболее высоких температур, колебанию температур и механическому воздействию в связи с частым открыванием и закрыванием крышки;
* керамика регенераторов и рекуператоров (особенно верхние ряды), которая работает в тяжёлых условиях высоких температур, резкой смены температуры, воздействия газовых потоков, несущих окалину и пыль.

Подину колодцев выкладывают обычно в три слоя: 1) внутренний из хромомагнезитового кирпича; 2) шамотный кирпич; 3) внешний теплоизоляционный слой из диатомитового кирпича. При сухом шлакоудалении уровень подины по всей площади колодцев одинаков, при жидком подину выкладывают с уклоном в сторону шлаковой летки.

Стены колодцев также выполняют трёхслойными. Внешний слой – теплоизоляционный, затем слой шамотного кирпича. Внутренний слой в нижней части стен (приблизительно на 1 м высоты) выполняют из хромомагнезита, остальное из динаса. Интенсивнее всего стены изнашиваются на том уровне, где опираются слитки. В связи с этим в этом месте выполняют выступ кладки внутрь колодца. Эти выступы выкладывают из динаса, хромомагнезита, каолинового кирпича. Стойкость выступов из динаса наименьшая.

В настоящее время применяют крышки как с арочной футеровкой, так и с подвесным сводом. И в том, и в другом случае можно применять шамотный кирпич. В последнее время для футеровки крышек всё шире используют каолиновый кирпич. Каолиновый кирпич в футеровке крышек значительно более стоек, поскольку обладает большой огнеупорностью и меньшей дополнительной усадкой.

Керамические рекуператоры, применяемые в нагревательных колодцах, выполняют из восьмигранных трубок. Обычно монтируют 6 – 8 рядов труб, из них два верхних и нижний ряды из карбо-шамотных трубок, остальное – из шамотных.

В рекуператорах насадку следует сменять раз за 1,2 – 2 года.

Смена футеровки крышек осуществляется через 7 – 9 месяцев. В отдельных случаях, чаще всего в регенеративных колодцах, быстро сгорает металлическая рама крышек.

**2.2 Конструкция колодцев**

Нагревательные колодцы бывают с регенеративным и с рекуперативным подогревом воздуха. Регенеративные колодцы – это устарелые конструкции, которые нигде уже не строятся.

Колодцы с отоплением из центра пода. Такие колодцы (рисунок 123) применяют для нагрева слитков перед прокаткой на блюминге производительностью около 2,5 млн. т/год. Они достаточно надёжны в эксплуатации, отапливают их смешанным коксо-доменным газом с теплотой сгорания 5800 – 8400 кДж/м³ при помощи горелок, расположенных в центре пода. Группа состоит из двух ячеек. В каждую ячейку помещается по 12 – 16 слитков квадратного сечения.

Колодцы оборудованы керамическими рекуператорами из восьмигранных карбо-шамотных трубок для подогрева воздуха до 800 – 850 ºС. Воздух, пройдя через рекуператоры, поступает к горелке с двух сторон по сборным каналам. Газ подаётся в горелку по специальной трубе снизу вверх, поэтому факел тоже направлен снизу вверх. Продукты сгорания удаляются из рабочего пространства через специальные окна и, пройдя через рекуператор, уходят в дымовую трубу. Рекуперативные колодцы с отоплением из центра пода в настоящее время работают на 90 – 95 % горячего посада, обеспечивая при этом производительность одной группы около 220 – 270 тыс. т/год. Удельный расход тепла на нагрев металла составляет 1100 – 1200 кДж/кг. Процесс нагрева металла в этих колодцах можно автоматизировать. Импульсную точку выбирают на одной из боковых стен в зоне наиболее высоких температур, т.е. несколько выше верхней кромки слитка. Тепловая мощность колодцев с отоплением из центра пода составляет обычно 21,0 – 29,0 ГДж/ч.

Качество металла в рекуперативных колодцах с отоплением из центра пода недостаточно. Вследствие вертикального расположения факела зона наибольших температур создаётся в верхней части рабочего пространства, что приводит к перегреву верхней части слитка при недостаточном нагреве его основания. Перепад температур по высоте рабочего пространства достигает 100 ºС и более, что вызывает неравномерность нагрева слитка. Однако положительным является то, что все слитки, входящие в садку, греются почти одинаково.

Общая площадь рекуператора нагревательных колодцев составляет около 400 м². В рекуператоре шесть рядов труб. Два нижних и два верхних ряда – из карбошамотных трубок, средние ряда – из шамотных.

Рекуператоры работают при температуре дымовых газов на входе 1200 – 1250 ºС; скорости воздуха 1,5 дымовых газов 0,7 – 1,0 м/с.

Воздух в рекуператор поступает обычно под давлением, в результате чего между воздушной и дымовой сторонами рекуператора возникает значительный перепад давлений (до 200 Па), в результате чего создаётся возможность для утечки воздуха в дымовые каналы. Утечка иногда достигает 40 – 50 % всего воздуха, поданного в рекуператор. Низкая герметичность рекуператоров сильно влияет на работу колодцев, так как в результате утечек количество воздуха, достигшего горелки, становится недостаточным и неопределённым. При недостатки воздуха топливо не сгорает полностью в пределах рабочего пространства и поэтому становится возможным его дожигание в рекуператоре, что вызывает разрушение рекуператора и дальнейшее увеличение утечек.

При уменьшении количества воздуха, попадающего в ячейку, приходится сокращать количество подаваемого топлива, т.е. снижать тепловую нагрузку, а это в свою очередь приводит к снижению производительности.

Ненадёжная (в смысле герметичности) работа рекуператоров наряду с высокой стоимостью сооружения является, пожалуй, самым большим недостатком этих нагревательных колодцев.

Колодцы с отоплением из центра пода работают в основном на жидком шлакоудалении, которое позволяет увеличить производительность ячейки и сократить расход топлива. Однако при жидком шлакоудалении резко возрастает число ремонтов, а следовательно, и удельный расход огнеупоров. Колодцы при жидком шлакоудалении работают более форсированно, что увеличивает толщину окалины и возможность оплавления слитков.

Колодцы с верхним отоплением. В последние годы строят колодцы с одной верхней горелкой, что объясняется увеличением производительности строящихся блюмингов до 6 млн. т/год и более. Повышением производительности блюмингов обусловлены новые требования, предъявляемые к нагревательным колодцам, которые в определённой мере реализуются применением колодцев с одной верхней горелкой. Конструкция колодцев представлена на рисунке 124. Колодец вытянутой формы шириной 2,2 – 2,5 м. В ячейку помещают в два ряда 14 слитков массой по 7–8 т. Каждая группа колодцев включает чаще всего 2 или 4 ячейки. Тепловую нагрузку в этих колодцах поддерживают около 38 – 42 ГВт; удельный расход тепла составляет 1300 – 1350 кДж/кг. Поскольку на поду подобных колодцев температура относительно низкая, применяют сухое шлакоудаление.

Производительность колодцев подобного типа на группу из двух ячеек несколько меньше (200 – 220 тыс. т/год), чем колодцев с отоплением из центра пода. Это объясняется особенностями их тепловой работы.

Колодец отапливают газообразным топливом при различной степени подогрева воздуха. Выходные скорости в горелке должны быть подобраны так, чтобы кинетической энергии струй было достаточно для проталкивания газов от горелки до дымоотборного окна по петлеобразной траектории. Плохое смешение топлива и воздуха приводит к тому, что наибольшая температура развивается около стены, противоположной горелке; на этой стене и выбирают импульсную точку для автоматизации теплового режима. Причём, раньше других нагреваются слитки, находящиеся около этой стены.

Когда температура в импульсной точке достигает заданного значения, то во избежание её дальнейшего повышения расход топлива снижается, и кинетическая энергия струй топлива и воздуха уменьшается. Это приводит к тому, что газы уже не достигают противоположной стенки и двигаются по прогрессивно укорачивающейся петле.

Таким образом, процесс нагревания садки протекает неравномерно, затягивается, поэтому производительность группы, состоящей из двух ячеек таких колодцев, меньше производительности колодцев с отоплением из центра пода. Однако, колодцы с одной верхней горелкой более компактны и при одной и той же общей длине отделения нагревательных колодцев их можно установить несколько больше, чем колодцев с отоплением из центра пода.

На нагревательных колодцах с одной верхней горелкой применяются керамические воздушные рекуператоры, при использовании которых возможны два способа подачи воздуха: при первом, для подвода воздуха от рекуператора к горелке применяют эксгаустер из жароупорного материала. Воздух просасывается через рекуператор, и возможность утечки практически устраняется. Однако, в этом случае температура подогрева воздуха ограничивается 400 – 450 ºС, так как при более высокой температуре существующие эксгаустеры работать не могут.

Второй способ предусматривает подачу воздуха из рекуператора к горелке при помощи инжектора. Инжектирующей средой служит воздух высокого давления (20 – 40 кПа), количество которого составляет 25 – 30 % общего расхода и который подогревается в металлическом трубчатом рекуператоре до 250 – 350 ºС. В этом случае температура воздуха перед горелкой составляет 650 – 700 ºС. Если для инжектирования применять компрессорный воздух (5 – 7 % общего расхода), то температура воздуха перед горелкой составит 700 – 800 ºС.

Сравнение различных нагревательных колодцев по эксплуатационным показателям приведено в таблице 19.

Таблица 19 - Показатели работы рекуперативных нагревательных колодцев

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | С центральной горелкой | С одной верхней горелкой |
| Средняя производительность одной группы, тыс. т/год | 230 | 340 |
| Число оборотов колодцев в год | 1360 | 870 |
| Удельный расход топлива, кДж/кг | 1150 | 1320 |
| Простои колодцев на ремонтах, % к календарному времени | 3,77 | 3,98 |
| Удельный расход огнеупоров на 1 т, кг/т | 1,85 | 1,27 |

Колодцы с двумя верхними горелками (рисунок 151) отапливают смесью коксового и доменного газов. Горелки расположены в верхней части рабочего пространства в шахматном порядке. Обычно применяют горелки типа «труба в трубе» или простейшие турбулентные. Горелка должна быть рассчитана так, чтобы количество кинетической энергии струй, создаваемых горелкой, было достаточным для проталкивания продуктов сгорания по петлеобразной траектории – от горелки да дымоотводящих каналов.

Колодцы оборудованы керамическими рекуператорами из восьмигранных карбошамотных трубок, аналогичных тем, которые применяют на нагревательных колодцах с отоплением из центра подины. Поперечные размеры нагревательных колодцев с двумя верхними горелками близки к размерам колодцев с отоплением из центра пода, но глубина их больше (4,2 – 4,4 м). Отсутствие горелки в центре пода позволяет увеличить садку металла, однако прироста производительности это не даёт, так как увеличение садки приводит к увеличению времени нагрева металла.

Следует отметить, что колодцы с двумя верхними горелками по основным показателям – производительности, качеству нагрева, расходу топлива, тепловой нагрузке – схожи с колодцами, отапливаемыми из центра пода. Применение жидкого шлакоудаления на колодцах с двумя верхними горелками весьма затруднено тем, что наибольшая температура достигается в верхней части ячейки, внизу температура значительно меньше и сварочный шлак не жидкотекуч.

*Определение количества и планировка пролёта нагревательных колодцев.* Время нагрева слитков является главным фактором, от которого зависит производительность нагревательных печей. В нагревательных колодцах при нагреве холодных слитков применяют трёхступенчатый режим нагрева, состоящий из периодов предварительного нагрева, ускоренного нагрева и выдержки. В течении периода предварительного нагрева скорость повышения температуры металла поддерживается таким образом, чтобы в нём не возникли чрезмерные температурные напряжения. После достижения 500 – 550 ºС, когда металл уже приобретает необходимые пластические свойства начинается период ускоренного нагрева, который заканчивается после того, как поверхность слитков достигнет конечной температуры нагрева. В течение последующей выдержки практически при постоянной температуре поверхности происходит выравнивание температуры по сечению слитка.

Необходимо отметить, что увеличение садки металла обычно приводит к увеличению времени нагрева металла, поэтому существует оптимальная садка, при которой обеспечивается наивысшая производительность колодцев.

Потребное число групп нагревательных колодцев можно определить, если известны следующие величины:

τп – время посадки слитков, ч;

τн – время нагрева слитков, ч;

τв – время выдержки слитков, ч;

τш – время уборки шлака, ч;

n – число ячеек в одной группе, шт.;

G – масса садки одной ячейки, т;

m – коэффициент, учитывающий простои колодцев на ремонт. Обычно простои колодцев составляют около 15 %, поэтому величину коэффициента m принимают равной 0,85.

Средняя производительность одной группы колодцев Р, т/ч, при нагреве одинаковых слитков, таким образом, будет равна



Если в нагревательных колодцах нагревают слитки различной массы, марок стали и температуры посада, то их среднюю производительность можно определить по формуле



где a,b,c,…,n – доля слитков данной массы, марки стали и температуры посада в программе нагревательных колодцев;

P1, Р2, Р3,…, Рn – производительность группы колодцев при нагреве слитков одного типа, подсчитанная по формуле.

Зная часовую производительность обжимного стана и среднюю часовую производительность группы колодцев, легко определить необходимое число группы колодцев.

Планировка пролётов нагревательных колодцев. При увеличении годовой производительности обжимных станов, которая составляет 4 – 5 млн. т/год часовая производительность будет измеряться величиной 600 т/ч, а прокатка одного слитка будет занимать около 50 с. При таком темпе прокатки все операции по подаче слитка к стану должны выполнятся за отрезок времени, не превышающий 50 с. К этим операциям относятся следующие: захват слитка краном, перенос слитка к слитковозу и установка на нём слитка, разгон и пробег слитковоза, а также торможение слитковоза перед приёмным рольгангом и перегрузка на него слитка.

Наиболее распространённая схема планировки с продольным расположением нагревательных колодцев (рисунок 153). Причём применяют один или два слитковоза (рисунок 153, а). При такой схеме время пробега слитковоза составляет важную часть общего времени, затрачиваемого на подачу одного слитка. Для уменьшения этого времени при приблизительно постоянной скорости движения слитковоза около 7 м/с целесообразно применять такие нагревательные колодцы, которые обеспечивают наибольшую производительность на 1 м длины пролёта. Такими конструкциями являются колодцы с одной верхней горелкой.

Однако применение такой схемы планировки вследствие длительного пути пробега слитковоза не позволяет обеспечить слитками обжимные станы производительностью более 3 млн. т/год. Для высокопроизводительных станов разработана схема продольного расположения отделения нагревательных колодцев с несколькими слитковозами, движущимися по кольцевому пути (рисунок 153, б). Эта схема может обеспечить любой цикл прокатки. Поскольку путь слитковоза кольцевой, то для подобной схемы планировки производительность нагревательных колодцев в расчёте на 1 м длины пролёта решающего значения уже иметь не будет. Выбор конструкции колодцев определяется качеством нагрева металла и экономическими соображениями.

**Регенеративные колодцы.** Колодец снабжён двумя парами регенераторов, причём ближайший к рабочему пространству регенератор обязательно газовый. Газ и воздух подогревают примерно до 800 ºС. Колодец работает реверсивно. Сначала топливо и воздух поступают с одной стороны и, нагреваясь в регенераторах, попадают в рабочее пространство. Образовавшиеся дымовые газы проходят через другую пару регенераторов и отдают своё тепло огнеупорной насадке. Затем происходит перекидка клапанов, и весь цикл повторяется в обратном направлении. Металл нагревается до 1200 – 1250 ºС, температура в рабочем объёме колодца составляет 1350 – 1400 ºС.

Общая тепловая мощность подобных колодцев составляет 20,95 – 23,045 ГДж/ч, причём на долю горения топлива приходится около 65 %, на долю тепла подогрева воздуха и газа – примерно 35 %. Нагревательные колодцы подобного типа могут работать на чистом доменном газе и на смеси коксового и доменного газов.

В регенеративных нагревательных колодцах в каждой группе по четыре ячейки. Большинство нагревательных колодцев работают на слитках горячего посада. При этом температура горячего посада обычно составляет около 750 ºС, но иногда достигает и 850 – 870 ºС. Удельная доля слитков горячего посада по отношению к массе всех слитков достигает 95 %.

Производительность группы регенеративных колодцев рассматриваемой конструкции при 95 % горячего посада с температурой около 780 ºС составляет 300 тыс. т/год, а удельный расход тепла 1131,3 кДж/кг.

В регенеративных колодцах горение топлива развивается в нижней части колодца, поэтому температура около подины достаточно высокая, и надёжно осуществляется жидкое шлакоудаление.

В нагревательных колодцах регенеративного типа крайне несовершенна система сжигания топлива, что влечёт за собой существенные недостатки. Горение топлива практически начинается над газовыми регенеративными насадками, через которые подаётся топливо, протекает в рабочем пространстве и заканчивается в противоположных насадках. Это приводит к неравномерности нагрева садки металла, так как слитки, расположенные ближе к регенераторам, нагреваются значительно быстрее, чем слитки в средней части рабочего пространства. Второй существенный недостаток вызван тем, что для автоматизации теплового процесса печи всегда необходимо правильно выбрать в рабочем пространстве такую точку, по изменению температуры которой можно строить процесс автоматизации. В регенеративных колодцах надёжно выбрать такую точку невозможно, поскольку в результате перекидки клапанов и плохого смешения газа и воздуха температура может всё время изменяться по всей длине рабочего объёма колодца, причём возможны и случайные колебания температур.

**Печи с выдвижным подом.** Иногда для нагрева слитков применяют печи с выдвижным подом (рисунок 154). Металл в подобной печи может нагреваться до 1100 – 1300 ºС или догреваться от 600 до 1300 ºС. В качестве топлива применяют мазут, генераторный или коксодоменный газ. Печь оборудована регенераторами для подогрева воздуха до 600 – 800 ºС. Объём регенеративной насадки на 1 м² площади пода составляет 0,75 – 1,0 м³.

Для сжигания газа применяют горелки низкого давления, расположенные в два ряда на продольных стенах печи в шахматном порядке. Масса садки колеблется от 120 до 200 т. Удельный расход тепла при нагреве металла от 0 до 1200 ºС составляет 4600 – 5030 кДж/кг, а при догреве от 600 до 1100 ºС он равен 2300 – 3000 кДж/кг.

В подобных печах значительное количество тепла расходуется на нагрев кладки, поэтому пусковая тепловая мощность печи должна составлять 670 – 1173 ГВт на 1 м² площади пода печи.

Выкатная подина печи перемещается на специальных катках, соединённых в две обоймы. Поскольку подина перемещается по каткам быстрее, чем сами катки, длина обоймы должна быть в 1,5 раза больше длины подины.

**Печи для нагрева блюмов и слябов.** Блюмы и слябы перед дальнейшей прокаткой на рельсобалочных, сортовых, листовых и других станах нагревают до температуры прокатки почти исключительно в нагревательных проходных печах различного типа. Наряду с тепловым и температурным режимом определяющее значение для работы этих печей имеет метод транспортирования металла через печь. Толкательные противоточные печи для нагрева прямоугольной заготовки получили широкое распространение. В таких печах лежащие на поду и соприкасающиеся друг с другом заготовки задаются и перемещаются в печи при помощи специального механизма-толкателя. Выдача металла из печи может быть торцевой и боковой. При торцевой выдаче функции выталкивателя выполняет толкатель: задавая очередную заготовку в печь, он перемещает все заготовки и выталкивает ближайшую к окну выдачи заготовку. При боковой выдачи применяют специальный выталкиватель. Преимуществом толкательных печей является то, что проталкивание – наиболее простой и дешёвый метод транспортирования металла через печь. Основные недостатки данного метода заключаются в следующем:

* при перемещении заготовки трутся друг о друга и о подину, что ухудшает качество поверхности металла;
* при движении заготовок образовавшаяся окалина осыпается и создаётся возможность дополнительного окисления;
* осыпающаяся окалина попадает на под печи, реагирует с материалом пода, в результате чего на подине образуются бугры, препятствующие нормальному проталкиванию металла, и возникает проблема удаления окалины;
* печь не может быть без специальных мер освобождена от металла в случае остановки стана, ремонтов или с целью проведения работы по удалению окалины;
* современные печи делаю весьма широкими (до и более 12 м), что крайне затрудняет операцию удаления окалины;
* в толкательных печах без выгорбливания возможно проталкивание не более 200 – 250 квадратных заготовок, что ограничивает размеры и производительность печей.

Печи с роликовым подом представляют собой весьма совершенную и перспективную конструкцию проходных печей с механизированным подом. Они удачно компонуются в линиях поточного производства, поскольку роликовый под может быть продолжением цехового рольганга. Печи с роликовым подом широко применяются при термической обработке металла. Использование таких печей для высокотемпературного нагрева перед прокаткой несколько сдерживается недостаточной стойкостью роликов и большими потерями тепла с охлаждающей водой.

Печи с шагающим подом или балками также весьма перспективны. Они свободны от недостатков, присущих толкательным печам. В них нагрев металла происходит с трёх сторон. Кроме того, в печах с шагающим подом легко менять режим нагрева, что является большим преимуществом в случае частой смены сортамента нагреваемого металла.

Наиболее ответственной частью футеровки проходных нагревательных печей являются участки монолитного пода, футеровка элементов шагающего пода, т.е. все элементы футеровки, подвергающиеся воздействию окалины при достаточно высокой температуре (1200 – 1250 ºС), при которой окалина может активно взаимодействовать с огнеупорными материалами. В силу этого верхние слои таких участков футеровки печи обычно выполняют из хромомагнезита, магнезитохромита и талькового кирпича – материалов, не взаимодействующих с окалиной. Подину обычно выполняют трёхслойной: из хромомагнезита (или другого окалиностойкого материала); шамота класса Б; диатомитового кирпича.

Своды печей выполняют арочными и подвесными. В качестве огнеупорного материала чаще всего используют шамот класса А и каолиновый кирпич. Стены печей выкладывают в низкотемпературных зонах двухслойными (шамот класса Б и диатомит), в высокотемпературных зонах трёхслойными (шамот класса А или каолин, шамот класса Б, диатомит).

Тепловой режим и отопление печей. Тепловой и температурный режимы проходных нагревательных печей неизменны во времени. Однако температура по длине печи может быть неизменна, но может и значительно меняться.

Чем выше температура в печи, в которую попадает холодный металл, тем быстрее растёт температура поверхности металла. Если нагревается тело, массивное в тепловом отношении, то резкое повышение температуры поверхности может вызвать возникновение чрезмерного температурного перепада. Поэтому массивный металл нагревают сравнительно медленно, постепенно, до тех пор, пока он не приобретёт необходимых пластических свойств, т.е. до 500 ºС. Этим и вызвано использование методического температурного режима работы печей. Для нагрева металла, который по своим размерам и свойствам ближе к тонкому телу, чем к массивному (например, слябы), созданы печи, работающие по режиму, занимающему промежуточное положение между камерным и методическим. Чтобы обеспечить общий подъём температурного уровня, в печи выполняют две сварочные зоны, в каждой из которых происходит сжигание топлива. При нагреве металла тонкого в тепловом отношении используют камерный режим, при котором поддерживается практически одинаковая температура по всему рабочему пространству. Обеспечение того или иного температурного режима работы печей достигается выбором метода отопления и соответствующего расположения горелочных устройств и дымоотводящих каналов.

Для обеспечения камерного режима необходимо горелки (форсунки) и дымоотборные каналы равномерно распределить по длине рабочего пространства.

Существует торцевое и сводовое отопление печей. При торцевом отоплении характер изменения температуры по длине печи определяет число и назначение её зон. Металл поступает в зону наиболее низких температур и, продвигаясь на встречу дымовым газам, температура которых всё повышается, постепенно нагревается. Методические печи по числу зон нагрева металла могут быть двух-, трёх- и многозонными с односторонним и двусторонним нагревом металла. Рассмотрим назначение зон на примере трёхзонной печи.

Методическая зона – первая (по ходу металла), с изменяющейся по длине температурой. В этой зоне металл постепенно подогревается до поступления в зону высоких температур (сварочную). Во избежание возникновения чрезмерных термических напряжений часто необходим медленный нагрев металла в интервале температур от 0 до 500 ºС. Вместе с тем методическая зона представляет собой противоточный теплообменник. Находящиеся в состоянии теплообмена дымовые газы и металл двигаются навстречу друг другу.

Металл нагревается дымовыми газами, т.е. утилизирует тепло дымовых газов, отходящих из зоны высоких температур. Общее падение температуры дымовых газов в методической зоне весьма значительно. Обычно в зоне высоких температур методических печей температура газов держится на уровне 1300 – 1400 ºС, в конце же методической зоны она находится в пределах 850 – 1100 ºС. Методическая зона значительно увеличивает коэффициент использования тепла, который достигает 40 – 45 %, тогда как в камерных печах он составляет 18 – 20 %.

Зона высоких температур или сварочная – вторая по ходу металла. В этой зоне осуществляется быстрый нагрев поверхности заготовки до конечной температуры. Температура нагрева металла в методических печах обычно составляет 1150 – 1250 ºС. Для интенсивного нагрева поверхности металла до этих температур в сварочной зоне необходимо обеспечивать температуру на 150 – 250 ºС выше, т.е. температура газов в сварочной зоне должна быть 1300 – 1400 ºС.

Томильная зона (зона выдержки) – третья по ходу металла. Она служит для выравнивания температур по сечению металла. В сварочной зоне до высоких температур нагревается только поверхность металла. В результате создаётся большой перепад температур по сечению металла, недопустимый по технологическим требованиям. Температуру в томильной зоне поддерживают всего на 30 – 50 ºС выше необходимой температуры нагрева металла.

Подобный трёхступенчатый режим нагрева необходим в тех случаях, когда нагревают заготовки, в которых может возникнуть значительный перепад температур по толщине (более 200 ºС на 1 м толщины металла). Такие печи (с тремя зонами) называют трёхзонными методическими печами.

**3 Определение размеров печей**

Размеры рабочего пространства определяют, исходя из производительности, размера и времени нагрева заготовки. Если Р – заданная производительность печи, а τ – время нагрева (ч), то для обеспечения этой производительности в печи в процессе нагрева должна постоянно находиться садка металла, равна G = Pτ.

Зная размеры нагреваемой заготовки (a – ширина, м; b – толщина, м; l – длина, м), можно определить массу g одной заготовки и число заготовок, постоянно находящихся в печи n = G/g.

Обычно при n < 200 шт. делают однорядную печь, длина которой будет равна L = a·n, м.

Для двухрядной печи L = a·n/2.

Если n/2 > 200, то печь выполняют трёхрядной и т.д.

Ширину печи определяют суммированием длины заготовки и необходимых зазоров между заготовкой и стенами печи или между двумя заготовками. Эти зазоры обычно равны примерно 0,25 м, поэтому ширина однорядной печи будет равна B = l + 2·0.25 м; двухрядной B = 2l + 3·0,25 м и т.д.

Длину печи с шагающим подом следует определять с учётом зазоров между заготовками. Обычно расстояние между гранями соседних заготовок составляет 0,5 – 0,7 их толщины.

Поэтому длина печи в этом случае составит

L = an + (0,5 – 0,7)b(n + 1).

Высоту свода печей h чаще всего определяют, исходя из опыта хорошо работающих печей. Так, для трёхзонных и многозонных толкательных печей и с шагающим подом расстояние от высшей точки свода до уровня пода составляет, м:

Начало печи (место посада металла)………………..1,2 – 1,5

Высота сварочных зон:

Верхних….…………………………………………….2,2 – 2,6

Нижних….……………………………………………..2,4 – 3,0

Высота томильной зоны……………………………...1,5 – 1,7

Часто при достаточном конструктивном опыте и наличии информации о хорошо работающих печах размер площади пода печей определяют не через время нагрева, а используя величину напряжённости активного пода На.

В этом случае

Fа = Р/На,

а длина печи La = Fa/B, где В – ширина печи.

**4 Печи для термической обработки сортового проката.**

**4.1 Режимы термической обработки.**

Наиболее распространённым видом термической обработки сортового проката является отжиг с целью проведения полной фазовой перекристаллизации, которая обеспечит получение необходимой твёрдости и оптимальной структуры, создающих наилучшие условия для обработки стали резанием. Отжиг стали, как известно, состоит из трёх этапов: нагрева до заданной температуры, выдержки при температуре нагрева, охлаждения по тому или иному режиму.

Температура нагрева зависит от состава стали и её выбираю так, чтобы она на 20 – 40 ºС превышала положение верхней критической точки АС3. Для сталей наиболее распространённых типов применяют следующую температуру нагрева ºС:

Шарикоподшипниковая……………………………780 – 820

Инструментальная углеродистая………………….745 – 820

Инструментальная легированная………………….730 – 880

Быстрорежущая……………………………………. 880 – 900

Скорость достижения конечной температуры нагрева не ограничивается, но обычно она составляет 100 ºС/ч. Время выдержки выбирают так, чтобы успели завершиться все те превращения, которые являются целью термической обработки. Строго говоря, выдержку следует проводить после выравнивания температуры по толщине садки металла. В садочных печах выравнивания температуры садки наступает после 10 – 12 ч с момента начала нагрева. После этого проводят выдержку в течении 2 – 3ч.

Скорость охлаждения металла при проведении отжига лимитируется только до 550 – 600 ºС, чтобы все превращения аустенита были закончены в перлитной области. Это охлаждение обычно осуществляется со скоростью 20 – 30 ºС/ч. Таким образом весь цикл отжига сортового проката занимает 18 – 24 ч.

В некоторых случаях сортовой прокат подвергают нормализации с нагревом до температуры на 30 – 50 ºС выше точки АС3 с последующим охлаждением на спокойном воздухе.

**4.2 Конструкция печей**

Для отжига чаще всего применяют садочные печи с выкатным подом и с загрузочной машиной (с внешней механизацией). Кроме того, иногда используют колпаковые печи с радиационными трубами или без них с защитной атмосферой. Для нормализации применяют проходные печи с шагающим подом, конвейерные и роликовые.

**Садочные печи.** Некоторое время были распространены печи с выдвижным подом. В эту печь металл загружают при помощи подвижной тележки и нагревают вместе с печью. Масса садки печей с выдвижным подом изменяется в очень широких пределах и составляет около 2 т/м² площади пода. Печь обычно отапливают газообразным топливом, для этого предусмотрено два ряда горелок, расположенных в шахматном порядке. Дымовые газы удаляются в боров через шесть отводящих каналов, расположенных попарно в середине и по концам печи. Специфическим недостатком печей с выкатывающимся подом является то, что при выкатывании подины теряется тепло.

С целью устранения этого недостатка для отжига сортового проката применяют печи с механизированной загрузкой металла (рисунок 29-1). Печь оборудована подподовыми топками, чаще всего её отапливают смесью коксового и доменного газов с теплотой сгорания 7500 – 8300 кДж/м³ при помощи горелок типа «труба в трубе».

Характер движения газов в рабочем пространстве определяется наличием подподовых топок. Для удаления дымовых газов из рабочего пространства печи в стенках выполнены специальные каналы, расположенные на уровне пода печи, что обеспечивает удовлетворительный нагрев низа садки. Масса садки печей составляет 15 – 20 т. Металл загружают в печь при помощи специальной машины.

Отжигу в рассматриваемых печах обычно подвергают круглые заготовки диаметром 30 – 60 мм или квадратные сечением 120 – 180 мм. Между отдельными пакетами металла помещают специальные прокладки, что способствует циркуляции газов внутри садки и повышает равномерность нагрева. В печах с механизированной загрузкой применяют изотермический отжиг с нагревом до 780 ºС и охлаждением до 650 ºС с выдержкой при этой температуре.

В садочных печах, как в печах периодического действия, значительное количество тепла тратится на нагрев кладки. Для таких печей характерно, что на нагрев металла расходуется 17 – 18 % тепла, унос с продуктами сгорания составляет 54 – 56 % и потери кладкой обычно равны 18 – 19 %. Иначе говоря, тепло, теряемое кладкой, равновелико полезному расходу тепла.

Футеровку термических печей выполняют обычно двухслойной: внутренний слой из шамота класса Б, наружный – из теплоизоляционного диатомового кирпича.

Поскольку садочные печи имеют переменный во времени температурный режим, тепловой расчёт таких печей выполняю на весь цикл работы, а не на 1 ч, как это делают для печей постоянного действия.

Садочным печам присущи следующие серьёзные недостатки:

* непостоянный во времени температурный режим, отрицательно сказывающийся на равномерности нагрева металла;
* высокий удельный расход топлива, вызванный периодическим нагревом кладки печи;
* сложность автоматического регулирования теплового режима печи;
* непригодность для высокопроизводительного поточно-массового производства.

Однако эти печи пока являются наиболее приемлемыми агрегатами для выполнения таких операций термообработки, которые связаны со значительными выдержками и замедленным охлаждением. Садочные печи также наиболее пригодны для термохимической обработки металла.

**Проходные печи.** Применение проходных печей позволяет обеспечить более совершенный метод нагрева металла. Для термической обработки сортового проката применяют непрерывные печи прямого нагрева трёх конструкций: с шагающим подом, с роликовым подом и конвейерные.

В печах с шагающим подом, применяемых для термической обработки, температура по длине печи чаще всего постоянна. В печах для нормализации иногда предусматривают по длине две зоны: нагрева до 900 ºС и охлаждения до 300 – 400 ºС. Обычно температура печи составляет около 1000 – 1050 ºС. Металл нагревается до 900 – 950 ºС. Печи отапливают холодным газообразным топливом. Горелки расположены равномерно по всей длине, дымовые газы удаляются из печи под зонт через рабочие окна и специальные, выполненные в свода, каналы. Печи с шагающим подом, предназначенные для термообработки, обеспечиваю удельную производительность около 400 – 450 кг/(м²·ч) при удельном расходе тепла около 2100 кДж/кг.

Наиболее широкое распространение для термической обработки приобретают печи с роликовым подом.

В конвейерных печах рабочее пространство проходит цепной конвейер, транспортирующий металл. Конвейерным печам присущи серьёзные недостатки, в силу которых в чёрной металлургии эти печи применяют крайне редко. Главными недостатками являются:

значительный вынос тепла из рабочего пространства печи элементами цепей, в результате чего увеличивается удельный расход тепла;

недостаточный прогрев металла в местах соприкосновения с цепью;

недолговечность цепей;

Удельный расход тепла в таких печах достигает 2900 – 3350 кДж/кг.

**Список использованных источников**

1. Теория, конструкции и расчёты металлургических печей. Том 1. - Под редакцией В.А. Кривандина. - М.: Металлургия, 1986.
2. Металлургические печи. - В.А. Кривандин, Б.Л. Марков. - М.: Металлургия, 1977.
3. Металлургическая теплотехника. Том 2. Конструкция и работа печей. - Под редакцией В.А. Кривандина. - М.: Металлургия, 1986.