

Лабораторная работа №2

Изучение конструкции печей сопротивления. Расчет нагревательных элементов

Цель работы: ознакомиться с классификацией, характеристиками печей сопротивления, изучить принципы работы печей сопротивления периодического действия, произвести расчеты нагревательных элементов

Теоретическая часть:

Печь сопротивления представляет собой футерованную камеру. Тепло выделяется в нагревателе, после чего отдается нагреваемому изделию.

Электрические печи сопротивления **по способу превращения** электрической энергии в тепловую разделяются на печи косвенного действия и установки прямого нагрева.

По **технологическому назначению** печи сопротивления косвенного нагрева можно разделить на три группы:

1) термические печи для различных видов термической и термохимической обработки черных и цветных металлов, стекла, керамики, металлокерамики, пластмасс и других материалов;

2) плавильные печи для плавки легкоплавких цветных металлов и химически активных тугоплавких металлов и сплавов;

3) сушильные печи для сушки лакокрасочных покрытий, литейных форм, обмазок сварочных электродов, металлокерамических изделий, эмалей и т. п.

Классификация электрических печей нагрева сопротивления **по характеру работы:**

Электрические печи сопротивления обычно используют для термической обработки изделий, которые должны изменять свою температуру в соответствии с заданным режимом обработки. По первому способу изделие помещается в камеру печи и изменяют температуру внутри камеры в соответствии с графиком обработки, потом изделие выпускают, загружают новое, цикл повторяется. Такой способ принят в печах периодического действия (садочные печи). Есть два вида садочных печей – камерные и шахтные.

Для печи периодического действия (садочной) характерно неизменное положение нагреваемого тела (садки) в течение всего времени пребывания в печи. Цикл работы печи включает загрузку, тепловую обработку по заданному режиму и выгрузку. Печь может работать круглосуточно (тогда циклы непрерывно следуют друг за другом) или с перерывами – в одну или две смены.

По второму способу камерные печи сопротивления создают несколько температурных зон в соответствии с требуемым графиком обработки изделия. Обрабатываемое изделие перемещается с заданной скоростью от загрузочного окна к разгрузочному. При такой организации процесса возможно движение изделий непрерывным потоком. Это печи непрерывного действия (методические).

Эти печи используют в условиях серийного производства, автоматизация технологического процесса предполагает обеспечение:

1. Автоматического перемещения изделия с заданной скоростью внутри печи.
2. Автоматическую подачу необработанных изделий и уборки обработанных.
3. Автоматическая стабилизация t° в температурных зонах печи.

Печи непрерывного действия особенно удобны для работы в поточных технологических линиях с металлообрабатывающими станками и другими агрегатами и устройствами.

Печи сопротивления косвенного нагрева разделяются **по температурному режиму** на низко-, средне- и высокотемпературные.

У первых верхняя температурная граница лежит в пределах 600–650 °С и процессы теплообмена идут с значительной или даже преобладающей ролью конвекции. Низкотемпературные печи часто называют конвекционными печами.

В средне- и высокотемпературных печах теплообмен внутри печи осуществляется в основном излучением, а доля конвективного теплообмена незначительна. Печи с преобладающим лучистым теплообменом иногда называют радиационными.

Среднетемпературные печи имеют верхнюю температурную границу 1200–1250 °С, определяемую возможностью применения для нагревательных элементов специальных сплавов сопротивления. Технологические применения этих печей весьма обширны: процессы закалки, нормализации, отжига, термохимическая обработка черных металлов, нагрев под обработку давлением черных и цветных металлов и т. п.

Названные группы печей отличаются как конструктивно, так и механизмом передачи тепла от нагревателя к изделию. Таким образом, в низкотемпературных печах основным механизмом передачи тепла является конвекция, т.е. в таких печах тепло передается потоком циркулирующего воздуха. Для интенсификации процесса теплопередачи низкотемпературные печи обычно снабжают вентилятором и нагреватель иногда размещается в отдельной камере. Эта камера связана с основной камерой каналами для циркуляции воздуха. В средне и высоко температурных печах основное тепло от нагревателя к изделию передается излучением. Т.о., в данных печах установка вентилятора не нужна, но необходимо наличие оптической связи между нагревателем и изделием, т.е. они должны быть размещены в общей камере.

Другие конструктивные отличия связаны с устройством футеровки и материалом нагревательных элементов. В низкотемпературных печах футеровка содержит только теплоизоляционный слой, а жесткость футеровки обеспечивается двумя связанными между собой внешними и внутренними каркасами.

В среднетемпературных печах в футеровке появляется огнеупорный слой, выполненный из легковеса. Этот слой имеет механическую связь с внешним каркасом печи, в связи с чем надобность во внутреннем каркасе отпадает.

В высокотемпературных печах огнеупорный слой выполнен из шамота. Между огнеупорным слоем и слоем теплоизоляции вводится дополнительный слой легковеса для снижения температуры теплоизоляции до допустимой.

В низко и средне температурных печах используются металлические нагреватели их фехраля и константана при t° до 800 °С и нихрома до 100 °С.

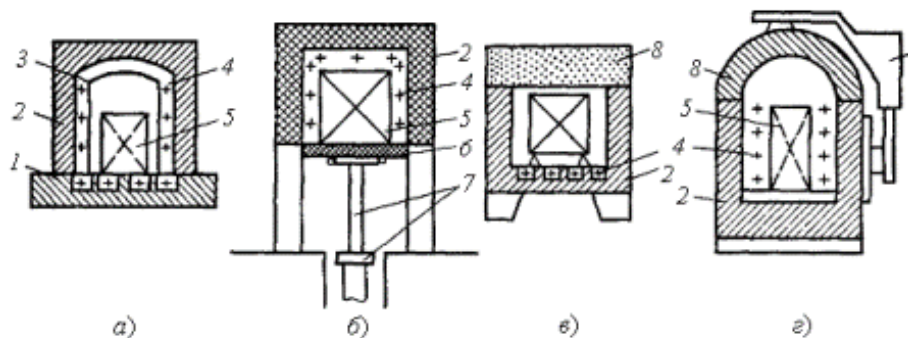
В высокотемпературных печах обычно используют неметаллические нагреватели (карборундовые, графитовые, угольные). Такие нагреватели могут значительно изменять свое сопротивление при нагреве и в процессе эксплуатации. Кроме того, для надежной работы такие нагреватели должны разогреваться постепенно при малой мощности (иначе они растрескаются). Учет этих специфических особенностей приводит к необходимости применять в высокотемпературных печах те или иные средства регулирования подводимого напряжения (автотрансформатор, регулируемый трансформатор).

Для многих технологических процессов требуются вакуум или инертные газы в рабочем пространстве печи, поэтому в ряде случаев печи сопротивления выполняют вакуумными, газонаполненными или вакуумно-компрессионными.

Электрические печи сопротивления периодического действия

Электropечи сопротивления периодического действия разнообразны по конструкции, их применяют в индивидуальном или мелкосерийном производстве. Из них наиболее широко распространены колпаковые, элеваторные, камерные и шахтные печи.

Колпаковая печь – печь периодического действия с открытым снизу подъемным нагревательным колпаком и неподвижным стендом. Нагреваемые детали (садка) 5 с помощью подъемно-транспортных устройств помещаются на стенд 1. Поверх них сначала устанавливается жаропрочный колпак – муфель 3, а затем основной колпак 2 камеры печи, выполненный из металлического каркаса с огнеупорной футеровкой. Нагревательные элементы 4 расположены по боковым стенкам колпака и в кладке стенда. Питание нагревательных элементов осуществляется с помощью гибких кабелей и штепсельных разъемов.



а – колпаковая; б – элеваторная; в – камерная; г – шахтная; 1 – стенд; 2 – камера печи; 3 – жаропрочный муфель; 4 – нагревательные элементы; 5 – нагреваемое изделие (садка); 6 – опускающийся под; 7 – подъемное устройство; 8 – свод; 9 – механизм подъема свода

Рисунок 1 – Печи сопротивления периодического действия

По окончании нагрева электропитание колпака отключается и он переносится на соседний стенд, где уже установлена очередная загрузка для нагрева. Остывание садки происходит на стенде под жароупорным муфелем, что обеспечивает необходимую скорость остывания. В колпаковых печах при каждом цикле теряется лишь теплота, запасенная в муфеле и кладке стенда, что составляет 10–15 % от теплоты, запасенной в кладке колпака.

Мощность колпаковых печей достигает нескольких сотен киловатт. Благодаря тому что колпак и муфель могут быть герметизированы, нагрев и остывание садки можно проводить в защитной атмосфере.

Элеваторная электропечь – печь периодического действия с открытой снизу неподвижной камерой нагрева 2 и с опускающимся подом 6. Она представляет собой цилиндрическую или прямоугольную камеру, установленную на колоннах на высоте 3–4 м над уровнем пола цеха.

Под печи поднимается и опускается гидравлическим или электромеханическим подъемником, который установлен под камерой нагрева. Нагреваемые изделия – садку 5 нагружают на тележку, затем с помощью лебедки продвигают под печь и поднимают подъемником 7, вдвигая в камеру. По окончании технологического процесса под опускается и изделие снимается.

В низкотемпературных печах нагреватели 4 расположены на стенках. В высокотемпературных печах нагреватели расположены на стенках и в поду.

Элеваторные печи служат для отжига, эмалирования, цементации, обжига керамических изделий, спекания и металлизации деталей.

Печи комплектуются многоступенчатыми трансформаторами.

Камерная электропечь – печь периодического действия с камерой нагрева, загрузка и разгрузка садки которой производится в горизонтальном направлении. Камерная печь состоит из прямоугольной камеры 2 с огнеупорной футеровкой и теплоизоляцией, перекрытой сводом 8 и

помещенной в металлический кожух. Печь загружается и выгружается через закрываемое дверцей отверстие в передней части.

В поду камерной печи обычно имеется жароупорная плита, на которой расположены нагреватели 4. В печах до 1000 К теплообмен обеспечивается за счет излучения или вынужденной конвекции, обеспечиваемой замкнутой циркуляцией печной атмосферы.

Шахтная печь представляет собой круглую, квадратную или прямоугольную шахту. Корпус печи заглублен в землю и перекрывается сверху крышкой с затвором и электроприводом. Нагревательные элементы в ней установлены обычно по боковым стенкам.

Характеристики материалов для нагревательных элементов ЭПС

Очевидно, что любой нагреватель в электропечах сопротивления должен быть жаростойким, жаропрочным, обладать высоким удельным сопротивлением, постоянством электрических свойств и достаточной обрабатываемостью. Немалое значение имеет бюджетная доступность прецизионных материалов для нагревателей. Такому комплексу требований отвечают сплавы на основе железа, хрома, никеля и алюминия, в первую очередь хромоникелевые и железохромоникелевые соединения.

Хромоникелевые прецизионные сплавы, например, X20H80 обладают высокой механической стойкостью, хорошо свариваются, отличаются незначительной намагничиваемостью и долговечны в использовании. Кроме того, на их поверхности образуется тугоплавкая пленка из окисла хрома, которая не растрескивается при многократных циклах нагрев/охлаждение. Ограничение использование хромоникелевых сплавов связано с экономическими причинами – они достаточно дорогостоящие, и температурным диапазоном – рекомендуемый нагрев не более чем до 1000°C. В ряде случаев целесообразно применение фехралей, более дешевых, чем нихром. Такие железохромоалюминиевые сплавы способны к длительной работе в печах при температурах:

X15Ю5 – до 800°C

X23Ю5 – до 1200°C

X27Ю5Т – до 1300°C

X23Ю5Т – до 1400°C

Однако, следует учитывать, что по сравнению с нихромами фехралевые сплавы имеют ряд эксплуатационных недостатков. Они более хрупкие и менее стойкие к коррозии и магнитному воздействию. При работе термическое удлинение нагревателей из фехраля достигает заметных величин, что должно быть учтено при проектировании камер ЭПС. Футеровку печей с фехралевыми нагревателями следует выполнять из кирпича или обмазки с высоким содержанием глинозема, обычная шамотная футеровка здесь неприменима. Перспективными разработками в области нагревательных элементов для ЭПС являются сплавы вида X27H70Ю3 или X15H60Ю3 – они жаростойки, инертны к окислам железа, сочетают механическую прочность и пластичность.

Нагревательные элементы в большинстве моделей электрических печей сопротивления выполняются из проволоки либо имеют ленточную конструкцию. В промышленных ЭПС в основном используется нихромовая (фехралевая) проволока диаметром 3-7 миллиметров, но также встречаются печи, в которых нагреватели сделаны из проволоки большего диаметра. При формировании спиральных нагревателей из прецизионных проволок они должны быть достаточно жесткими, иметь плотность намотки и соотношение диаметр/шаг с оптимальной теплопередачей. Дело в том, что высокая плотность намотки и большой диаметр способствуют росту мощности только до определенного предела. С дальнейшим ростом густоты укладки возрастает экранирующее влияние одних витков на другие – то есть снижается эффективность использования.

Из современных конструкций проволочных нагревателей значительное распространение получили модели на керамических трубках. Их излучаемая мощность значительно превышает аналоги в полочках и пазах, они универсальны как по внутрикамерному расположению, так и использованию различных марок жаропрочных сплавов.

Ленточные нагреватели для ЭПС изготавливают в виде зигзагов, их размер зависит от необходимой мощности печи. Крепление лент выполняется на керамических стойках или жаропрочных сплавах. Для обеспечения достаточной прочности излучающих лент и минимального экранирования соседних полос наиболее распространено соотношение толщины ленты к ее ширине в пределах 1:10.

Электрические печи сопротивления получили широкое распространение в различных областях промышленности благодаря своим практически полезным качествам. На данный момент это один из самых популярных вариантов печей, которые используются повсеместно от гончарных мастерских до крупных металлургических заводов.

Практическая часть:

Контрольные вопросы:

1. Что такое печь сопротивления?
2. Какие выделяют печи сопротивления по способу превращения электрической энергии?
3. Назовите группы печей сопротивления косвенного нагрева по технологическому назначению
4. Какие выделяют печи сопротивления по характеру работы?
5. Охарактеризуйте печь сопротивления периодического действия
6. Охарактеризуйте печь сопротивления непрерывного действия
7. Какие выделяют печи сопротивления по температурному режиму?
8. В чем заключаются отличия низко-, средне- и высокотемпературных печей?
9. Охарактеризуйте колпаковую, элеваторную, камерную и шахтную печи, принцип их работы
10. Требования к материалам, используемых для нагревательных элементов ЭПС
11. Охарактеризуйте хромоникелевые прецизионные сплавы, используемые для нагревателей
12. Охарактеризуйте сплавы фехрали, используемые для нагревателей
13. Как крепятся нагреватели в виде проволоки, лент в ЭПС