Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение

Высшего профессионального образования

Камышинский технологический институт (филиал)

Волгоградского государственного технологического университета

Кафедра: электроснабжение промышленных предприятий

Семестровое задание

На тему:

Материалы, используемые в электропечестроении

По дисциплине:

"Электротехнологические установки"

Выполнил:

Студент группы КЭЛ-051(с) Ермаков М.М.

Проверил: Панасенко М.В.

Камышин 2007г.

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение 3

1. Материалы, используемые в электропечестроении 4

2. Огнеупорные материалы 6

2.1. Огнеупорные изделия 10

2.2. Огнеупорные растворы, бетоны, набивные массы и обмазки 16

2.3. Пористые огнеупоры 17

3. Теплоизоляционные материалы 20

3.1. Жароупорные материалы 23

4. Дешевизна и недефицитность 25

4.1. Материалы для нагревательных элементов электрических печей сопротивления 27

Заключение 34

Список использованной литературы 35

# Введение

Помимо обычных материалов, употребляемых в машиностроении, в электропечестроении применяются некоторые специфические материалы, предназначенные для работы при высоких или повышенных температурах. Наличие в электропечах зон с высокими температурами требует, с одной стороны, материалов, способных работать при этих температурах, с другой – материалов, изолирующих эти зоны в тепловом отношении от остальных частей и окружающего пространства. К таким материалам относятся огнеупорные и теплоизоляционные материалы, жароупоры и материалы для нагревательных элементов.

## 1. Материалы, используемые в электропечестроении

Во всякой электрической печи имеется рабочая камера для нагрева или плавления обрабатываемых в печи материалов. Рабочая камера, область печи с наиболее высокими температурами, отделена от окружающего пространства и внешних конструкций материалом, способным работать при этих температурах и быть достаточно прочным, чтобы выдерживать те нагрузки и удары, которыми он подвергается в печи. Кроме того, он должен плохо проводить тепло, снижая до минимума тепловые потери камеры в окружающее пространство. Материалов, которые удовлетворяли бы всем этим требованиям, в природе не существует. Плотные, механически прочные керамические материалы сравнительно хорошо проводят тепло, пористые легкие, плохо проводящие тепло материалы недостаточно прочны. Поэтому футеровку высокотемпературных и среднетемпературных печей выполняют минимум из двух слоев: внутреннего - огнеупорного, способного работать при рабочей температуре печи и достаточно механически прочного – этот слой воспринимает все нагрузки от нагреваемых изделий и нагревателей; наружного – теплоизоляционного, освобожденного от несения каких-либо нагрузок, кроме собственного веса, но зато обеспечивающего уменьшения до минимума тепловых потерь.

При очень больших для керамических материалов нагрузках применяют упрочнение кладки печи при помощи креплений из жароупорных сталей. Так, при больших пролетах делают подвесные своды на жароупорных балках, из жароупорных сталей выполняют ограждения, защищающие нагреватели и кладку от ударов со стороны загрузки, всякого рода экраны в печах, герметизированные ящики и муфели. Кроме того, части механизмов, находящиеся внутри печи и служащие для перемещения изделий (конвейеры, направляющие рельсы, поддоны и т.п.), также выполняют из жароупорных сталей.

В особую группу должны быть выделены материалы для нагревательных элементов, так как к ним предъявляются специфические требования, касающиеся их электрических свойств.

## 2. Огнеупорные материалы

К огнеупорным материалам для электропечей предъявляют следующие требования:

Достаточная огнеупорность.

Достаточная механическая прочность при высоких температурах.

Способность выдерживать, не растрескиваясь, резкие колебания температуры (стойкость к термоударам).

Сопротивляемость химическим воздействиям при высоких температурах.

Достаточно малая теплопроводность.

Малая теплоемкость.

Малая электропроводность, как при низких, так и при высоких температурах.

Дешевизна и доступность материалов.

Огнеупорностью в соответствии с ГОСТ 4069 – 69 называется свойство материала противостоять не расплавляясь, воздействию высоких температур. Огнеупорность материала определяется на сделанном из него образце "конусе", имеющем форму усеченной трехгранной пирамиды. Под действием нагрева материал образца постепенно размягчается, и его вершина начинает склоняться к основанию. Температура "падения" образца, когда его вершина достигнет уровня основания, принимается за огнеупорность образца. Так как эта температура может меняться при изменении скорости нагрева, то устанавливают ее не непосредственным измерением, а "пироскопами".

У огнеупорных материалов огнеупорность лежит между 1580 и 17700С. Материалы с огнеупорностью больше 17700С, называются высокоогнеупорными.

Некоторые материалы, являясь достаточно огнеупорными, теряют свою прочность задолго до температуры размягчения и поэтому могут работать механически нагруженными лишь до ограниченных температур. Для того чтобы охарактеризовать способность материала работать в нагруженном состоянии при высоких температурах, определяют в соответствии с ГОСТ 4070 – 48 температуру его деформации под нагрузкой 196,2 кПа. При этом отмечают температуру начала размягчения (НР) образца и температуры его сжатия 4 и 40%.

У некоторых материалов диапазон между началом размягчения и 40% -ным сжатием достаточно большой, и температурный интервал равен 100 – 2000С. У других этот интервал измеряется лишь 20 – 300С (рис.1). Динас и магнезит сохраняют прочность почти до температуры разрушения, другие же материалы теряют прочность задолго до наступления разрушения.

Способность выдерживать, не растрескиваясь, резкие колебания температуры особенно нужна в материалах, применяемых в печах, работающих периодически, а также в зонах с резкими колебаниями температуры. Для определения стойкости к термоударам кирпич быстро нагревают с торца в электрической печи до 8500С, охлаждают в проточной вод, вновь нагревают и так до потери им 20% начальной массы из-за скалывания кусков. Таким образом, стойкость материала к термоударам оценивается по числу водяных теплосмен, которые он выдерживает, данные для некоторых термоупорных материалов даны в табл.1.

Таблица 1. Стойкость к термоударам огнеупорных материалов

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование | Число водяных теплосмен до 20% потери массы |
| Шамотные изделия | 10 - 25 |
| Многошамотные изделия | 50 – 100 |
| Динасовые изделия | 1 – 2 |
| Магнезитовые изделия | 2 – 3 |
| Нагревостойкие хромомагнезитовые изделия | Более 30 |

Иногда стойкость материала к термоударам определяют по числу воздушных теплосмен, которые он выдерживает.д.ля этого раму с кирпичами подвергают сначала одностороннему нагреву, а затем охлаждению вентилятором. Это испытание является менее жестким.

Сопротивляемость химическим воздействиям при высоких температурах является также весьма важным свойством для огнеупоров. Необходимо, чтобы огнеупорные материалы не вступали в химические соединения с обрабатываемыми в печи изделиями или с материалом нагревательных элементов, а также с атмосферой печи, так как это опасно не только для самих огнеупоров, но может вывести из строя нагреватели печи или привести к браку изделий. В некоторых печах нагреваются и расплавляются кислые материалы, а в других – основные; очевидно, что и огнеупоры этих печей также должны быть соответственно кислыми в первом случае и основными во втором во избежание химических реакций с этими материалами или шкалами.

Рис.1. Температуры деформации некоторых огнеупоров.

1 – шамотный кирпич класса А; 2 – шамотный кирпич класса Б; 3 – полукислый; 4 – динасовый; 5 – муллитовый; 6 – магнезитовый.

Малая теплопроводность требуется от огнеупорных материалов, так как они отделяют нагретую камеру печи от окружающей среды и через них из камеры проходит поток тепла. Хотя эти потери ограничиваются в основном теплоизоляцией печи, а не огнеупорным слоем, все же температурный перепад в последнем часто является достаточно заметным, а главное он снижает максимальную рабочую температуру теплоизоляции и тем самым увеличивает срок ее службы.

Малая теплоемкость огнеупорных материалов обеспечивает уменьшение аккумулированного футеровкой тепла. Правда, иногда значительная аккумуляция тепла кладкой является положительным фактором, стабилизирующим тепловой режим печи, однако большей частью она приводит к существенному перерасходу энергии, особенно при частых разогревах.

Малая электропроводность огнеупоров желательна, потому что в электрических печах сопротивления они могут применяться как электрические изоляторы для нагревательных элементов, что удешевляет и упрощает кладку. Наконец, требование дешевизны и доступности выдвинуто потому, что огнеупоры являются массовыми материалами, потребляемыми в больших количествах не только при изготовлении печей, но и их эксплуатации. Особенно много огнеупоров потребляют дуговые сталеплавильные и рудотермические печи.

Огнеупорные материалы применяются в виде сплошных и пористых кирпичей и фасонных камней. Фасонные камни изготавливаются самых различных конфигураций и размеров, причем, как правило, чем больше размер камня, тем труднее его изготовить и тем он дороже, но зато тем надежнее кладка, набранная из таких камней.

Огнеупорные материалы применяются иногда и в виде порошка, огнеупорных бетонов, набивных масс и обмазок, а также в виде мелких готовых деталей – трубок, крючков, втулок и т.п., главным образом в электрических печах сопротивления в качестве изоляторов нагревателей.

Огнеупоры являются массовыми материалами, поэтому значительное применение нашли лишь такие соединения, которые широко распространены на земной поверхности и могут добываться непосредственно из карьеров. Исключением являются некоторые высокоогнеупорные материалы, отличающиеся весьма ценными свойствами, но дорогие и редкие или получаемые искусственным путем.

Основой огнеупорных и высокоогнеупорных материалов являются три огнеупорных окисла – кремнезем, глинозем и окись магния – периклаз. Они распространены в природе, образуя друг с другом и другими веществами многочисленные соединения. Особенно широко используется система "кремнезем - глинозем".

### 2.1. Огнеупорные изделия

Наибольшие применения в электрических печах сопротивления нашла группа шамотных изделий с содержанием глинозема от 35 до 45%. Шамотными называются изделия, изготавливаемые из огнеупорных глин или каолинов, смешанных с шамотом, т.е. с предварительно обожженными в кусках теми же глинами. Это наиболее распространенный вид огнеупорного материала. Чем больше глинозема в глине, тем выше огнеупорность получаемых изделий. В электрических печах желательно применять шамотный кирпич первого сорта с содержанием не менее 38% глинозема.

Изготовлять огнеупорные изделия непосредственно из сырой глины нельзя, так как она при обжиге дает очень большую усадку и изделия растрескиваются. Поэтому глину предварительно обжигают в комках примерно 13000С и получают, таким образом, шамот. Этот шамот после дробления и помола смешивается с предварительно подсушенной глиной. Полученная смесь после увлажнения проходит глиномешалку и предварительно формуется в ленточных прессах. Затем производится допрессовка сырца в прессах давлением 2–4 МПа, а его сушка и обжиг в печи 1350 - 14000С в течении трех – пяти суток в зависимости от типа печи.

При этом способе пластичного прессования масса увлажняется до 16 – 20%. При полусухом прессовании влажность ее составляет лишь 8 – 9%, но изделия прессуют при давлении около 20 МПа.

Для изготовления фасонных изделий, а также изделий ответственного назначения количество шамота увеличивают до 80 – 85%, снижая соответственно содержание в массе глины.

Такие многошамотные изделия прессуют при давлении 30 – 50 МПа и получают изделия высокой плотности и прочности. Для многошамотных изделий усадка в обжиге не превышает 0,5 – 1,0%, что обеспечивает сохранение их формы и точность размеров деталей.

Шамотные кирпичи имеют светло-желтый цвет, равномерный зернистый излом; масса стандартного кирпича 3,2 – 3,3кг. По ГОСТ 390 – 69 шамотные изделия по своей огнеупорности делятся на три класса: класс А имеет огнеупорность не ниже 17300С; класс Б – не ниже 16700С; класс В – не ниже 16100С. Однако рабочая температура шамота намного ниже, так как он теряет свою механическую прочность уже при 1300 - 14000С; предельные рабочие температуры шамота 1350 - 14500С.

Шамот имеет сравнительно малый коэффициент расширения и хорошо выдерживает резкие колебания температуры. В зависимости от способа изготовления стойкость изделий к термоударам составляет:

Пластичное прессование……………8 – 15 водяных теплосмен

Полусухое прессование……………. .15 – 25. То же

Пневматическое трамбование………25 – 30

Многошамотные…………………….50 – 100

Шамотные изделия имеют низкую электропроводность, что позволяет использовать шамот в электрических печах одновременно и как огнеупорный, и как электроизоляционный материал.

Шамот является наиболее распространенным огнеупорным материалом, он широко применяется в электропечестроении, особенно в строительстве печей сопротивления. Так как эти печи работают в основном при температурах не выше 13000С, то огнеупорный и механические свойства шамота вполне удовлетворяют предъявляемым этими печами требованиям. Наоборот, для дуговых и индукционных печей шамот во многих случаях оказывается недостаточно огнеупорным и его применение ограничивается менее ответственными или наружными частями футеровки.

Шамотно - каолиновые изделия изготавливаются из каолиновых глин, имеющих повышенное содержание глинозема, причем их подвергают более высокому обжигу. Благодаря этому они имеют несколько большую огнеупорность и увеличенную температуру деформации под нагрузкой. В таблице 2 дается сравнительная характеристика шамотных шамотно – каолиновых изделий.

С увеличением содержания глинозема огнеупорность изделий повышается, поэтому весьма заманчивым является использование минералов с высоким содержанием глинозема. Такими минералами являются силлиманиты или аналогичные им минералы кианиты андалузиты. При обжиге при температуре свыше 15500С в этих минералах образуются муллит и свободная кремнекислота, образующая вместе с плавнями стекловидную фазу. Муллит содержит уже 72% глинозема и 28% кремнезема и его огнеупорность равна 18700С, однако присутствие стекловидной фазы в муллитовых изделиях снижает их огнеупорность.

Таблица 2. Сравнительные характеристики шамотных и шамотно–каолиновых изделий.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Изделия | Содержание Al2O3,% | Температура обжига, 0С | Огнеупорность,0С | Температура деформации, 0С |
| НР | 40% |
| Шамотно–глиняные | 38 – 40 | 1350 – 1420 | 1710 – 1650 | 1400 | 1600 |
| Шамотно-каолиновые | 40 – 44 | 1450 – 1500 | 1770 – 1750 | 1500 | 1650 |

Добытые материалы после предварительного обжига и помола смешиваются со связующими веществами, формуются, подвергаются сушке и обжигаются при температуре не ниже 15500С. В результате получаются силлиманитовые изделия, отличающиеся хорошими огнеупорностью и механической прочностью при высоких температурах.

Еще более высококачественные изделия изготавливают из плавленого муллита, получаемого расплавлением боксита в присутствии кокса древесных опилок в электрической дуговой печи. Полученный материал после размельчения смешивается с глиной, формуется и обжигается при 1500 - 17000С.

Плавильный муллит обладает малым коэффициентом расширения, поэтому выполненные из него изделия являются весьма термостойкими и не растрескиваются при резких изменениях температуры; их огнеупорность 1800 - 18500С, начало деформации под нагрузкой 196,2 кПа у лучших сортов достигает 17000С.

Плавленый муллит применяется главным образом для изготовления мелких изделий, а также в качестве формовочного материала для индукционных плавильных печей.

Кроме того, он также применяется в стеклоплавильных печах. Для этой цели полученный в электролитической печи муллит отливается в формы и после длительного весьма медленного охлаждения в виде плавленых муллитных брусьев идет на выкладку ванн стеклоплавильных печей. Такой литой муллит имеет среднюю плотность 3300кг/м3, предел прочности на сжатие 300 – 500 МПа, температура начала размягчения под нагрузкой 196,2 кПа 1700С.

Из гидратов глинозема также могут быть получены высокоогнеупорные высокоглиноземистые изделия. Природные гидраты глинозема – диаспоры и бокситы – сильно загрязнены минеральными примесями. Поэтому хотя на базе обогащенного акташского диаспора можно получать изделия с содержанием глинозема до 68%, их свойства приближаются к свойствам силлиманитовых изделий.

Искусственный гидрат глинозема, получаемый путем химической переработки бокситов и прокаленный при 1000 - 12000С, превращается в технический глинозем, содержащий до 99,0 – 99,5% глинозема. Из технического глинозема спеканием его с глиной может быть получен муллито–корундовый шамот, а последний по способу изготовления много шамотных изделий позволяет получить корундовые изделия с содержанием глинозема около 73%, со средней плотностью 2700кг/м3, огнеупорностью свыше 18000С и с температурой начала деформации под нагрузкой 196,2 кПа в 15800С.

Из технического глинозема могут быть получены и чистые корундовые рекристаллизованные изделия. Для этой цели производиться дополнительный обжиг глинозема при температуре 1450 - 16000С, его размельчение и формирование из него изделий с последующим вторичным обжигом при 17000С. Полученные рекристаллизованные изделия содержат до 99,0 – 99,7% глинозема, обладают огнеупорностью выше 20000С и температурой начала деформации под нагрузкой 196,2 кПа в 19000С. Однако большая усадка их и сравнительно невысокая нагревостойкость позволяют изготовлять таким путем лишь тонкостенные, полые и небольшого размера изделия. Поэтому из того же глинозема, а также из белого электрокорунда или монокорунда со связкой из высокодисперсного рекристаллизованного корунда получают более совершенные по своим свойствам корундовые изделия также с огнеупорностью около 20000С и с температурой начала деформации под нагрузкой 196,2 кПа в 18500С.

На противоположном конце системы SiO2-А12О3 находится динас, материал, имеющий явно выраженный кислый характер. Поэтому динас применяется главным образом для выкладки футеровки дуговых и индукционных сталеплавильных печей, работающих с использованием кислых - шлаков. Замечательным свойством динаса является его механическая прочность при высоких температурах. В то время как остальные материалы снижают постепенно свою прочность по мере повышения температуры, динас сохраняет свои механические свойства почти до температуры расплавления. Ввиду этого он является одним из самых прочных огнеупорных материалов и поэтому идёт на выкладку нагруженных частей футеровки, сводов и арок дуговых сталеплавильных и руднотермических печей.

Основным сырьем для изготовления динаса являются кварциты. Динасовый кирпич имеет белый или слегка желтоватый цвет, в изломе, видны зерна кварца. Масса стандартного кирпича 3,2-3,3 кг. В соответствии с ГОСТ 4157-69 и 156Б-71 - динасовые изделия могут быть отнесены к –I, II или особому классу или к электродинасам (изделия для электросталеплавильных печей)

Недостатком динасового кирпича является его склонность к растрескиванию при резких колебаниях температуры. Наиболее тяжелым условиям динас подвергается в сводах сталеплавильных печей, на внутренней поверхности которых тёмпература доходит до 1750 0С. При этой температуре поверхность кирпича оплавляется, свод печи изнутри покрывается сосульками и он держится в основном наружными, более холодными частями кирпичей. Кроме того, свод периодически охлаждается, особенно в печах с верхней загрузкой. Срок службы свода в таких условиях, понятно невелик и измеряется десятками часов. Поэтому для сводов крупных дуговых сталеплавильных печей рекомендуется применять лишь электродинас, изготовленный из особо плотных кварцитов с содержанием SiO2 не менее 97,5%. Такой динас, имеющий и несколько большую огнеупорность и большую механическую прочность при высоких температурах, обеспечивает увеличение срока, службы свода дуговых сталеплавильных печей. В электрических печах сопротивления динасовые изделия применяются редко.

Весьма важная группа огнеупоров содержит в качестве основной составляющей периклаз (окись магния МgO), обладающий в чистом виде очень высокой огнеупорностью (2800 °С). К этой-группе относятся магнезитовые огнеупоры, изготавливаемые в основном из горной породы магнезита.

В результате обжига и ряда операций получаются магнезитовые кирпичи темно коричневого цвета, масса стандартного кирпича 4,5кг.

В соответствии с ГОСТ 4689-63 - огнеупорность магнезитовых изделий должна быть не менее 2000 0С, предел прочности на сжатие при нормальной температуре не ниже\_ 40 МПа, температура начала размягчения при нагрузке 196,2 кПа, не менее 1500 °С.

Магнезитовые кирпичи применяются главным образом для выкладки футеровки металлургических печей, мартеновских и дуговых электросталеплавильных, работающих на основном процессе, а также некоторых руднотермических печей. Обладая высокой огнеупорностью эти кирпичи в то же время не имеют достаточной прочности при высоких температурах и достаточной термоустойчивости. Поэтому они не могут быть использованы для выкладки сводов и арок печей, работающих на основном процессе, их приходится выполнять из динасового кирпича, как более прочного.

### 2.2. Огнеупорные растворы, бетоны, набивные массы и обмазки

Связующие огнеупорные растворы – мертели служат для заполнения швов между кирпичами огнеупорной кладки. При этом получаются тонкие швы, обладающие достаточно высокой огнеупорностью и высокой температурой деформации под нагрузкой и по свои свойствам приближаются к свойствам связывающего кирпича. Шамотные мертели представляют собой тонкомолотые смеси шамота или боя шамотного кирпича с огнеупорной глиной. В соответствии с ГОСТ 6137 – 61 по огнеупорности они выполняются четырех классов.

Динасовые огнеупорные растворы представляют собой смеси из молотого кварцита, боя динасового кирпича и огнеупорной глины и динасовые мертели делятся на три класса.

Магнезитовая кладка всегда выкладывается всухую, без раствора, с пересыпкой швов мелким металлургическим порошком, так как впитывающий из раствора влагу магнезитовый кирпич приобретает склонность к растрескиванию при нагреве.

В отличии от растворов, связывающих огнеупорные кирпичи или камни друг с другом, огнеупорные массы – бетоны, набивные и наварные массы – служат для изготовления целых монолитных частей футеровок.

Огнеупорные бетоны состоят из связующих – гидравлических твердеющих глиноземистого цемента или портландцемента или жидкого стекла и заполнителей – шамотного порошка, хромита, а для легковесных термоизоляционных бетонов в качестве наполнителя используют молотый пористый шамот.

В настоящее время огнеупорные бетоны находят все большее применение, и, в частности, начинают проникать в электропечестроение.

### 2.3. Пористые огнеупоры

Основным огнеупором, применяемым в электрических печах сопротивления является шамот. Однако шамотные изделия для большинства печей сопротивления (работающих до 1000°С) обладают излишней огнеупорностью и механической прочностью и в то же время имеют недостаточное тепловое сопротивление и чересчур большую среднюю плотность. Поэтому в электропечестроении все большее распространение получают искусственные материалы, обладающие за счет пониженной механической прочности большим тепловым сопротивлением и меньшей средней плотностью, так называемые легковесы и пористые огнеупорные изделия. Применение их особенно желательно для печей периодического действия, так как при этом благодаря уменьшению массы огнеупорной кладки соответственно снижается аккумулируемое ею при каждом разогреве тепло, кроме того, уменьшаются также тепловые потери печи. В то же время механическая прочность кладки почти всегда оказывается достаточной. Для кирпичей работающих в сводах, арках и других нагруженных частях кладки, нагрузка обычно не превосходит 200кПа, а в стенах 100кПа. Достаточной прочностью в холодном состоянии обладает почти всякий легковес.

Наиболее простой способ придать огнеупорным изделиям малую теплопроводность и сделать их легкими - это искусственное увеличение их пористости. Воздух обладает весьма малой теплопроводностью. Но тепло через воздушные поры может передаваться не только теплопроводностью, внутри пор могут возникать конвекционные токи; кроме того, в них тепло может передаваться от стенки к стенке излучением. Для того чтобы свести к минимуму оба эти фактора, необходимо, чтобы поры были замкнутыми и малыми, чтобы их величина измерялась долями миллиметра или 2-3 мм. В этом случае в них не смогут развиваться конвекционные потоки, да и лучистая энергия встретит на своем пути множество поперечных стенок, играющих роль тепловых экранов.

Существует несколько способов приготовления легковеса, каждый из которых дает свой специфический продукт со своими особыми свойствами.

Наиболее старым и распространенным является способ выгорающих добавок, при котором в массу добавляют измельченные древесный уголь, опилки, торф или пробку. При обжиге они выгорают, и на их месте образуются поры.

Значительно более прочным является динасовый легковес, выполняемый из молотого кварцита с антрацитом или кокситом. Изделия получаются со средней плотностью 1200 кг/м3 и с температурой начала размягчения 1550°С при нагрузке в 100 кПа.

Химический способ, образования легковеса - химлегковеса заключается в том, что шамотный порошок смешивается с небольшим количеством глины, доломита, серной кислоты и гипса.

Пеноспособ заключается в том, что шамот с глиной смешиваются с пенистой массой, образованной путем взбивания раствора из канифольного мыла. Полученная смесь вторично взбивается и образует пористую массу, укладываемую в формы. Стабилизатором ячеек служит столярный клей, добавляемый в массу и предохраняющий ее от оседания до обжига. Последний производится при 1300°С, после чего получаются изделия, называемые пенолегковесными.

Основными недостатками легковесов являются низкая шлакоустойчивость, небольшое сопротивление истиранию, малая стойкость к термоударам, а также высокая газопроницаемость. Поэтому их необходимо защищать от воздействия шлаков тонким слоем огнеупорного кирпича либо слоем огнеупорной обмазки и нельзя из легковеса выкладывать поверхности, по которым передвигают изделия, так как они быстро износятся, или их надо защитить жароупорными плитами или направляющими. Малая стойкость легковеса к термоударам обусловливает растрескивание футеровки при значительных колебаниях температуры. В этом отношении более стойкими являются легковесы, полученные способом, выгорающих добавок, а также пеношамоты. Для борьбы с газопроницаемостью легковесов применяют обмазки или герметизируют кожухи электропечей.

## 3. Теплоизоляционные материалы

Для уменьшения тепловых потерь печи необходимо, чтобы кладка ее обладала большим тепловым сопротивлением. Но огнеупорная часть кладки должна быть механически прочной, а следовательно выполнена из материала с большой средней плотностью и достаточно большой теплопроводностью. Поэтому футеровки печей, как правило, выполняются составными, внутренняя часть выкладывается из огнеупора, а наружная часть из теплоизоляционных материалов. В соответствии с этим электропечестроение предъявляет к теплоизоляционным материалам следующие требования: малая теплопроводность; малая удельная теплоемкость; достаточная огнеупорность; некоторая механическая прочность; дешевизна и доступность.

Теплоизоляционные материалы работают в печи в более легких условиях, чем огнеупоры. Температура, действию которой они подвергаются, всегда меньше, так как огнеупорный слой берет на себя часть температурного перепада и предохраняет их от размывающего действия шлаков, всякого рода ударных и истирающих усилий, разгружает от механических напряжений. Поэтому их огнеупорность может быть меньше, требуется лишь весьма относительная механическая прочность, например способность, выдерживать свой собственный, но зато требование малой теплопроводности является для них основным. Требование дешевизны и доступности определяется опять таки тем обстоятельством, что тепло изоляционные материалы потребляются в больших количествах.

Теплоизоляционные материалы применяются в виде кирпичей, плит, фасонных изделий, в виде засыпки (порошок, вата), мастики, которой покрываются горячие части печей, картона, матрацев, матов.

Одними из наиболее распространенных теплоизоляционных материалов являются диатомит и трепел. Диатомит представляет собой скопление скелетов мельчайших водорослей диатомей, состоящих из кремнекислоты и пронизанных мельчайшими порами. Трепел имеет тот же состав, но в нем в микроскоп нельзя различить отдельные скелеты водорослей.

Для получения пористого диатомитового кирпича применяется главным образом способ выгорающих добавок. В качестве последних: наилучшие результаты дает пробка (негигроскопична, малая зольность, округлая форма пор), затем древесный уголь, худшие результаты дают опилки и торф. Диатомитовый кирпич выполняется трех классов, средней плотностью 500, 600 и 700 кг/м3, и может применяться до 900 °С. Для теплоизоляции электрических печей желательно применять диатомитовые кирпичи марки 500.

Целый ряд теплоизоляционных материалов приготавливается на базе асбеста. Асбест представляет собой минерал волокнистого строения, крупнейшие залежи которого имеются, у нас на Урале. Он состоит из тончайших, нитей, очень прочных на растяжение, но легко перетирающихся. Если асбест распушить, то он принимает вид волокнистой массы со средней плотностью 250-800 кг/м3 в зависимости от сорта асбеста и степени его распуши. В таком виде он может быть использован как теплоизоляционная засыпка (асбестит), способная работать до 600 °С. Температура плавления асбеста значительно выше, около 1500°С но при 700°С асбест теряет всю содержащуюся в нем воду и рассыпается, лишаясь своих теплоизоляционных свойств. Недостатком асбеста является его высокая гигроскопичность.

При склеивании асбестовых волокон белой глиной с органическими добавками и прессовании под высоким давлением получаются, асбестовый картон бумага, а сплетением волокон асбеста с хлопчатобумажными нитями изготавливается асбестовый шнур. Картон и шнур также используются в качестве теплоизоляции.

Асбестовая засыпка является малоэффективной изоляцией, и поэтому она применяется в настоящее время в чистом виде лишь в редких случаях, но входит составляющей, частью в ряд других теплоизоляционных материалов.

Для обмазки горячих поверхностей применяются так называемые мастичные материалы. Такими материалами являются асбозурит (70 % диатомита или трепела и 30% асбеста пятого и седьмого сортов), новоасбозурит (70 % диатомита или трепела, 15% шиферных отходов 15% асбеста пятого и шестого сортов) и др.

К высокоэффективным теплоизоляционным материалам относятся асбомагнезиальные массы например совелит (85 % смеси двойной углекислой соли кальция и магния и 15% распушенного асбеста). Они применяются в виде изделий (плитки, сегменты и т.п.), накладываемых на защищаемые поверхности. Материалы эти, обладая весьма низкой вредней плотностью и хорошими теплоизоляционными свойствами, являются в то же время малопрочными и могут быть использованы до 350 - 500 0С. Основным же недостатком их является высокая стоимость, ограничивающая их применение.

Широкое применение получили в последнее время стеклянная и минеральная ваты, а также стеклянное волокно.

Стеклянная и минеральная ваты и волокно применяются в форме засыпки для заполнёния пространства между, огнеупорной кладкой и кожухом печи, а также в виде матрацев и матов. Стеклянное волокно лучше выносит вибрацию (вата от вибрации уплотняется, в целях уменьшения этого явления ее несколько уплотняют при укладке, лучше ее применять в виде матов), кроме того, оно менее вредно. Мелкие волокна ваты, попадая на слизистые оболочки, раздражают их, вызывая воспаление, тогда как длинные нити стеклянного волокна не вызывают этих явлений. Однако стеклянное волокно значительно дороже ваты.

Стеклянные волокна и нити начинают спекаться при 500-6000С, поэтому их можно применять лишь до 450-500 0С, шлаковая (минеральная) вата выдерживает более высокую температуру - до 650оС.

Хорошей тепловой изоляцией, особенно для высокотемпературных печей, является зонолит или обожженный вермикулит.

Зонолит применяется пока главным образом в виде насыпной изоляции, он имеет малую среднюю плотность (120-250 кг/м3) и, следовательно, является прекрасным теплоизоляционным материалом, но главное его преимущество заключается в его стойкости. В последнее время из зоколита начали изготовлять формованные изделия, плитки, кирпичи и т.п.

### 3.1. Жароупорные материалы

Для изготовления внутренних деталей электрических печей, подвергающихся значительным механическим воздействиям, применяются жароупорные материалы, обладающие достаточной механической прочностью при высоких температурах.

Эти материалы используются для изготовления в пенах таких деталей как подовые плиты, тигли, крепления стен и свода, защитные устройства внутри печей, экраны, муфели, загрузочные устройства, крепления нагревателей, детали всякого рода транспортирующих устройств, служащих для перемещения в печах нагреваемых изделий. В соответствии с этим жароупоры применяются как в виде литья, так и в виде проката листа, проволоки, прутков и профилей.

Электропечное производство предъявляет к жароупорам следующие требования:

Достаточная жаростойкость - материалы должны достаточно долго работать при высокой температуре и должны не окисляться или очень мало окисляться при этой температуре.

Достаточная жаропрочность - в пределах рабочих температур материалы должны сохранять достаточную механическую прочность, для того чтобы без значительных деформаций выдерживать - механическую нагрузку.

Достаточная крипоустойчивость - стали, длительно работающие при высоких температурах, обладают свойством ползучести (крип), т.е. они очень медленно претерпевают необратимые деформаций под нагрузкой, намного меньшей нагрузки, соответствующей пределу упругости материала. Крипоустойчивость материала характеризуется его пределом ползучести, представляющим, собой напряжение, соответствующее при данной температуре определенному удлинению материала в условленное время. Крипоустойчивость жароупорных материалов является весьма важным для, них показателем, так как они должны работать в печах длительное время при высокой температуре и наступающие при этом необратимые деформации могут достигнуть недопустимого значения.

Достаточная обрабатываемость - необходимо иметь возможность изготавливать из жароупорных материалов различные детали и механизмы печей, поэтому необходимо, чтобы эти материалы можно было катать и волочить, подвергать механическое обработке, чтобы их можно было сваривать, отливать из них разнообразные детали.

## 4. Дешевизна и недефицитность

Большинство современных жароупорных материалов являются дефицитными и настолько дорогими, что их стоимость составляет во многих печах сопротивления весьма значительную часть (иногда до 50%) от их общей стоимости. Это объясняется как трудностью изготовления и обработки многих материалов, так и дефицитностью и дороговизной их основных легирующих составляющих, таких кат никель, металлический хром, малоуглеродистый феррохром и т.п. Поэтому задача нахождения новых, более дешевых жароупорных материалов является весьма актуальной. Основные жароупорные материалы - это металлы, так как они в наибольшей степени удовлетворяют вышеприведенным требованиям. Окисляемость металлов под действием высокой температуры различна. Некоторые металлы дают легкоплавкие окислы, испаряющиеся при нагреве, в этом случае процесс окисления будет нарастающим во времени. То же самое получится, если окисел будет склонен растрескиваться при нагреве. Если же пленка окислов не имеет тенденции отскакивать от металла и имеет плотное строение, то она является защитной пленкой, а окисление металла постепенно, по мере ее образования, будет уменьшаться. В этом случае количество образующихся окислов принимают пропорциональным квадратному корню из времени нагрева.

Такого рода плотные защитные пленки образуются у металлов, окислы которых при образовании имеют больший объем, чем сам металл. Наоборот, металлы, у которых объем окислов меньше объема, занимаемого металлом, из которого они образовались, дают пористую пленку и у этих металлов количество образующихся окислов растет прямо пропорционально времени.

Металлами, дающим при добавке в сталь плотные защитные пленки, являются в первую очередь хром, алюминий и кремний. Однако чисто кремнистые или алюминиевые стали не применяются, так как они не куются, очень хрупки и лишь с трудом поддаются механической обработке. Значительное улучшение как обрабатываемости сталей, так и их механических свойств при высоких температурах особенно крипоустойчивости, можно получить добавлением никеля, например, в хромистые жароупорные стали.

Поэтому в зависимости от предъявляемых требований в электропечестроении применяются две группы сталей: хромистые - для ненагруженных конструкций и хромоникелевые - для нагруженных конструкций.

Теплопроводность хромистых сталей, как и у всех вообще жароупорных сталей, существенно меньше, чем у обычных углеродистых, причем у малолегированных сталей она уменьшается с температурой, а у высокохромистых слегка увеличивается.

Удельное электрическое сопротивление высокохромистых сталей намного больше, чем у углеродистых, но температурный коэффициент меньше.

Среднелегированные стали свариваются хорошо электродами из того же состава, но требуют специальных флюсов и отжига сварных швов. Высокохромистые стали свариваются электродами из хромистых сталей с трудом под флюсом, лучше их сваривать в подогретом состоянии хромоникелевыми электродами. Литье из хромистых сталей по своим свойствам мало отличается от кованых сплавов. С увеличением содержания углерода материал становится все тверже и при С≈1% отливки очень трудно обрабатывать.

Хромоникелевые стали являются самыми распространенными в электропечестроении, так как наряду с высокой жаростойкостью и достаточной механической прочностью, а также крипоустойчивостью они хорошо обрабатываются. Хромоникелевые стали хорошо свариваются автогеном и электросваркой.

Ввиду своей механической прочности при высоких температурах и крипоустойчивости они особенно пригодны для изготовления нагруженных деталей печей, особенно деталей печных транспортирующих устройств. Недостатками этих сталей являются большой коэффициент линейного расширения и, как следствие, большая склонность к короблению по сравнению с хромистыми сталями, а также чувствительность к парам серы. Кроме того, они значительно дороже хромистых сталей, поэтому последние следует применять наравне с хромоникелевыми там, где отсутствует механическая нагрузка.

Иногда детали, находящиеся в зоне высоких температур, делают из обычной стали, но насыщают их поверхностный слой алюминием на глубину в несколько десятых долей миллиметру. Алюминий весьма интенсивно увеличивается сопротивляемость стали окислению, и поэтому такие детали - контейнеры, пирометрические трубки и т.п., не несущие нагрузок, могут успешно работать до 800 °С.

В высокотемпературных печах (1000 – 1350 °С) для подовых перекрытий применяют карборундовые подовые жароупорные плиты. Обладая достаточно большой теплопроводностью, не намного меньшей, чем у стальных плит, они обладают значительно меньшей прочностью и поэтому требуют осторожного обращения.

### 4.1. Материалы для нагревательных элементов электрических печей сопротивления

Нагревательные элементы, так же как и жароупорные материалы, работают в зоне высоких температур, но, кроме того, к ним предъявляются электропечестроением особые требования к электрическим свойствам. Вкратце требования к ним могут быть сформулированы следующим образом:

Жаростойкость, неокисляемость под действием кислорода воздуха в условиях высоких температур.

Достаточная жаропрочность – механическая прочность при высоких температурах. Материалы для нагревательных элементов не являются конструкционными материалами, поэтому их механическая прочность может быть сравнительно невелика; достаточно, чтобы изготовленные из них нагреватели были в состоянии поддерживать сами себя, давая при этом малые деформации.

Большое удельное электрическое сопротивление. Нагревательные элементы в печах сопротивления в большинстве случаев включаются непосредственно в питающую сеть без: промежуточного трансформатора, и поэтому при данной мощности нагревателя его сопротивление при рабочей температуре также должно быть вполне определенным. Чем меньше удельное электрическое сопротивление материала нагревателя, тем больше длина выполненного из него нагревателя и тем меньше должно быть его поперечное сечение.

Малый температурный коэффициент сопротивления. Чем больше этот коэффициент, тем больше разница в электрическом сопротивлении горячего и холодного нагревателя. Почти все материалы имеют положительный температурный коэффициент сопротивления, и с увеличением температуры их удельное сопротивление возрастает.

Постоянство электрических свойств. Некоторые материалы с течением времени в работе меняют свои электрические свойства, они стареют, их удельное сопротивление увеличивается, а следовательно, мощность печи, забираемая ею из сети, падает.

Постоянство размеров. Некоторые материалы подвержены ползучести и с течением времени сильно растут, т.е. выполненные из них нагреватели удлиняются.

Обрабатываемость. Металлические материалы для нагревателей должны давать возможность изготовить из них ленту и проволоку различных сечений, навивать из них спирали, сваривать нагреватели между собой и приваривать к ним выводы.

Неметаллические нагреватели желательно прессовать или формовать для придания им необходимой конфигурации. Все это накладывает известные требования на материалы для нагревателей.

Материалы для нагревательных элементов выполняются в виде лен ты, проволоки и стержней. Кроме того, нагреватели выполняются иногда литыми или штампованными.

Основными материалами для нагревательных элементов специально разработанными для этой цели и поэтому в максимальной степени удовлетворяющими вышеуказанным требованиям, являются сплавы никеля, хрома и железа, которые называются "нихромы". Эти сплавы можно подразделить на две основные труппы - двойные сплавы и тройные сплавы.

Первая-группа объединяет сплавы, состоящие, по существу, из никеля и хрома, содержание железа в них невелико (0,5-3,0%), чём и объясняется их название. Вторая группа охватывает собой сплавы, содержащие, помимо никеля и хрома, также и железо.

Безусловно, самым дешевым и доступным материалом была бы обыкновенная сталь. И, действительно, неоднократно пытались применять ее для изготовления нагревателей как для низкотемпературных, например сушильных, так и для высокотемпературных печей. Однако широкого и длительного применения сталь не нашла из-за несоответствия основным требованиям, предъявляемым к материалам для нагревателей. Основным недостатком стали является ее большой температурный коэффициент сопротивления, достигающий 10·10-3, вследствие чего при включении печи на нормальное напряжение наблюдается в первый же момент четырех - пятикратный толчок тока. Больший температурный коэффициент сопротивления стали приводит также к тому, что при перегреве какого-либо ее участка (например, в месте с затрудненной теплоотдачей) сопротивление его резко увеличивается, что вызывает еще больший перегрев его и в конечном счете перегорание.

Все это исключает применение стали для нагревателей в обычных условиях. Дефицитностью дороговизна нихрома заставили, работать над созданием каких-либо новых сплавов, обладающих удовлетворительными электрическими свойствами, достаточно жаростойкими и в то же время не содержащими дефицитного никеля. Такого рода сплавы были уже давно известны, это железохромоалюминиевые сплавы, однако они получались настолько хрупкими, что их невозможно было обработать, получить из них ленту и проволоку. Благодаря высокому содержанию хрома и алюминия они могут быть даже более жаростойкими по сравнению с нихромами и могут работать до 1300 и даже до 1350°С. Эти сплавы все же остаются чрезвычайно хрупкими и непрочными, особенно после нескольких нагревов в печи, так как при нагреве в них наблюдается очень сильный рост зерна. Поэтому уже работавшие в печи нагреватели переложить или сварить в случае поломки или перегорания нелегко.

Помимо своей хрупкости, железохромоалюминиевые сплавы менее прочны при высоких температурах по сравнению с нихромами, поэтому выполненные из них нагреватели приходится конструировать таким образом, чтобы они были максимально разгружены от всякого рода механических напряжений, в том числе и от собственного веса. Большим недостатком этих сплавов является их чувствительность при высоких температурах к окислам железа и кремнезему, которые разрушают образующуюся на них защитную пленку из окислов алюминия и хрома. Футеровка печей в местах соприкосновения с нагревателями должна быть выполнена из чистых высокоглиноземистых материалов.

Другими недостатками железохромоалюминиевых сплавов является их значительный рост в эксплуатации, увеличение длины нагревателя, которое может достигать 30 - 40%. Поэтому при конструировании нагревателей из этих сплавов необходимо предусматривать возможность их свободного удлинения, с одной стороны, и надежного крепления, отдельных витков или зигзагов, во избежание их замыкания при короблении – с другой.

Старение, т.е. увеличение электрического сопротивления в эксплуатации у железохромоалюминиевых сплавов умеренное (15-25%). Свариваются они удовлетворительно как при помощи дуговой сварки (на постоянном токе), так и автогенном. В отличие от хромоникелевых сталей они магнитны.

Из неметаллических нагревателей наибольшее распространение получили силит и глобар.

Силитовые и глобаровые нагреватели представляют собой карборундовые стержни, отличающиеся друг от друга как конструктивным исполнением, так и технологией изготовления. Карборунд хорошо выдерживает 1400 – 1450 °С и, следовательно, может обеспечить работу электрических печей до 1350-1400°С. Так как его удельное сопротивление изменяется в больших пределах и достигает у разных типов нагревателей 4·10-4 – 4· 10-3 Ом·м, то его применяют лишь в сравнительно больших сечениях, диаметром от 8 до 30мм и длиной активной части до 560мм.

Силитовые и глобаровые стержни в нагретом состоянии хрупкие и малопрочные и требуют осторожного обращения. Они чувствительны к быстрому нагреву, вследствие чего разогрев печи следует производить постепенно.

Конструктивно карборундовые нагреватели выполняются различно. Так, силитовые нагреватели выполняются в виде трубчатых нагревателей, на концы которых надеваются трубки большего диаметра (диаметр отверстия этих трубок должен соответствовать наружному диаметру нагревателя). Для скрепления трубок с нагревателями применяется специальная замазка, из карборундового порошка, нефтяного кокса и смолопека. Для получения достаточной прочности закрепления на нагревателе трубок их дополнительно обжигают.

Благодаря таким насадкам силитовые нагреватели имеют по краям 6 – 3-кратное сечение, вследствие чего их концы разогреваются не так сильно. Это дает возможность обойтись без водяного охлаждения контактов, концы оконцовочных трубок покрывают серебром или алюминием и на них густо, виток к витку, наматывают никелевую проволоку. Концы проволоки служат для подвода тока к нагревателям.

Глобаровые нагреватели выполняются в виде полых стержней равномерного сечения с металлизированными, закругленными концами. В глобаровых стержнях, таким образом, концы не имеют большего сечения и разогреваются так же, как и нецентральная часть стержня; поэтом эти стержни могут работать без водяного охлаждения подводящих ток контактов лишь до 1000 – 1100°С, для более же высокой температуры охлаждение водой обязательно.

В последнее время разработана новая конструкция глобаровых нагревательных стержней, не требующая водяного охлаждения контактов. Концы каждого стержня выполнены из материала меньшего удельною сопротивления и, кроме того, заострены. Каждый такой стержень зажимается между двумя также глобаровыми выводами, того же сечения с пониженным удельным сопротивлением и, кроме того, металлизированными концами.

Благодаря такому пониженному сопротивлению выводов, количество выделяющегося в них тепла невелико, тепло от самих стержней благодаря большому тепловому сопротивлению заостренного контакта также передается выводам лишь в незначительной степени. Поэтому выводы остаются в работе сравнительно холодными и не требуют водяного-охлаждения контактов.

В последнее время появились также карборундовые нагреватели выполненные в виде труб со спиральной прорезью.

Сопротивление карборундовых нагревателей варьирует для одного и того же типоразмера в 2-3 раза, поэтому на заводе-изготовителе подбирают партии нагревателей в 6 – 12 шт. примерно одного сопротивления. В холодном состоянии их сопротивление в 4-5 раз больше минимального. В эксплуатации сопротивление стержней увеличивается в несколько раз, обычно допускают четырехкратный рост и это приводит к необходимости иметь регулировочные трансформаторы с пределом регулирования от 0,3Uном до 2Uном. Карборундовые нагреватели крайне чувствительны к окружающей их атмосфере.

Все вышеуказанное, включая и хрупкость нагревателей, как в холодном, так и особенно в горячем состоянии, делает их весьма неудобными в эксплуатации и обусловливает их ограниченное применение. Основным недостатком нагревателей из дисилицида молибдена, является их малая механическая прочности в нагретом и холодном состоянии, малое удельное электрическое сопротивление и дороговизна.

Нагреватели из дисилицида молибдена были разработаны впервые в Швеции фирмой "Кантал". В настоящее время аналогичные нагреватели выпускаются нашей промышленностью под маркой ДМ. Фирме "Кантал" удалось существенно улучшить пластические свойства дисилицида молибдена и изготовить нагреватели диаметром до 0,4мм. Кроме того, они создали новый сплав, выдерживающий кратковременно температуру в 1800 °С.

Угольные и графитовые нагреватели выполняются в виде стержней, труб, тиглей и пластин. В большинстве случаев берется, возможно 6олее чистый материал (электродный уголь - электрографит), выдерживающий более высокую температуру, но иногда к графиту примешивается шамот (тигля) для повышения прочности изделия и в этом случае увеличивается его удельное сопротивление и уменьшается рабочая температура.

И уголь, и графит интенсивно окисляются при нагреве на воздухе, поэтому с ними можно работать либо в защитной атмосфере, либо в расчете на весьма краткий срок их службы. Удельное сопротивление угля слегка снижается при его нагреве, а затем остается почти без изменения. Удельное сопротивление графита является переменным, оно сначала падает с увеличением температуры, а затем начинает слегка расти.

В высокотемпературных печах за последние годы начали широко применяться жаростойкие металлы, такие как молибден, вольфрам, ниобий, тантал. Все эти материалы высокореактивные, они интенсивно окисляются в воздушной атмосфере, поэтому их можно применять лишь в высоковакуумных печах или печах с чистой, например водородной, защитной атмосферой.

Наибольшее распространение получили молибденовые нагреватели, выполняемые в виде проволоки, намотанной на огнеупорную керамическую трубку, либо в виде прутков или листов.

За последние годы печи с молибденовыми нагревателями получили широкое распространение, как в лабораторной практике, так и в промышленности.

# Заключение

Как мы видим, электропечестроение включает в себя достаточно емкое производство, это и производство материалов способных обеспечить нормальную работу функционирование, а также саму составляющую этих материалов их физико-химические свойства, которые определяют пригодность их применения. Одни материалы неудобны, другие дороги, третьи же вовсе дефицитны. В данной работе подробным образом изложены основные понятия, а также дана более глубокая характеристика некоторым из применяемых в электропечестроении материалов.

# Список использованной литературы

1. "Электрические промышленные печи", Свенчанский, 1981г.
2. "Электрические печи сопротивления и дуговые печи", Гутман, 1983г.