



Министерство образования Республики Беларусь

**Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»**

Кафедра «Металлургия и технологии обработки материалов»

ОГНЕУПОРЫ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПРАКТИКУМ

**для студентов специальности
1-42 01 01 «Металлургическое производство
и материалобработка (по направлениям)»
специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия
черных и цветных металлов»
дневной формы обучения**

Гомель 2024

УДК 669.1(075.8)
ББК 34.32я73
О-38

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 20.12.2022 г.)*

Составители: *И. Б. Одарченко, И. Н. Прусенко*

Рецензент: декан машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Г. В. Петришин*

Огнеупоры и теплоизоляционные материалы : практикум для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» специализации 1-42 01 01-01 02 «Электрометаллургия черных и цветных металлов» днев. формы обучения / сост.: И. Б. Одарченко, И. Н. Прусенко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 40 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Представлен ряд практических работ по дисциплине «Огнеупоры и теплоизоляционные материалы».

Для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка (по направлениям)» дневной формы обучения.

УДК 669.1(075.8)
ББК 34.32я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2024

ВВЕДЕНИЕ

Огнеупорами называют неметаллические материалы, предназначенные для использования в условиях высоких температур в тепловых агрегатах и имеющие огнеупорность не ниже 1580 °С.

Огнеупорные материалы применяют почти во всех отраслях промышленности.

Металлургия – основной потребитель огнеупоров. Общий выпуск стали в мире в 2010 г. составил 1414 млн т, в том числе конвертерной стали – 800 млн т (57 %), электростали – 500 млн т (36 %). По прогнозам металлургов основными агрегатами производства стали останутся кислородные конвертеры с верхним, нижним и комбинированным дутьем вместимостью 300–400 т и более и дуговые сталеплавильные печи вместимостью 100, 200, 300 т. Ожидается, что доменные печи останутся и в XXI веке в качестве основного металлургического оборудования для производства чугуна.

Поскольку огнеупоры играют вспомогательную роль при производстве стали, цемента, то чем меньше их расход на единицу продукции, тем производство основной продукции более эффективно. Поэтому не ставится задача выпускать огнеупоров как можно больше, а ставится задача выпускать в необходимом количестве и ассортименте такие огнеупоры, расход которых на единицу основной продукции был бы наименьшим, а их стоимость была экономически приемлемой. Эта задача зависит от многочисленных свойств огнеупоров. Классификацию огнеупоров производят по общим и специальным признакам. Основными свойствами огнеупоров являются химический состав, огнеупорность, термостойкость, пористость, механическая прочность и др.

Настоящий практикум предназначен для изучения основных свойств огнеупоров, методик определения некоторых свойств и приобретения навыков по практическому определению свойств и расчету основных параметров огнеупоров.

Практическая работа № 1
**ОГНЕУПОРНЫЕ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ**

Цель работы: ознакомиться с видами огнеупорных материалов и изделий, изучить классификации по химическому составу, огнеупорности, свойствам, типу.

1. Теоретическая часть

Огнеупорные материалы – это материалы, изготавливаемые на основе минерального сырья и отличающиеся способностью сохранять без существенных нарушений свои функциональные свойства в разнообразных условиях службы при высоких температурах. Огнеупоры эксплуатируются в различных температурных условиях и в разнообразных средах. Одни из них служат в контакте с расплавленным металлом и шлаком, другие испытывают воздействие лишь газовой атмосферы, т. е. в менее агрессивной среде, третьи дополнительно испытывают знакопеременные тепловые и механические нагрузки. Огнеупоров, которые могли бы использоваться во всех этих случаях и обладающих необходимым для этого комплексом физико-химических свойств, нет. Поэтому для конкретных условий создаются огнеупоры с набором необходимых свойств, и сортамент этой продукции непрерывно расширяется.

Огнеупорные материалы бывают формованными, т.е. штучными изделиями (блоками), и неформованными. К последним относятся наварочные материалы, мертели, засыпки и другие специальные набивные и формуемые огнеупорные порошки, в том числе применяемые для производства огнеупорных бетонов.

Классификация огнеупоров. Огнеупоры классифицируются по различным признакам:

1. По огнеупорности:

- а) огнеупорные (1580–1770 °С);
- б) высокоогнеупорные (1770–2000 °С);
- в) высшей огнеупорности (> 2000 °С).

2. По химико-минералогическому составу:
- а) кремнеземистые (огнеупорная основа – SiO_2):
 - дианасовые ($\text{SiO}_2 > 90 \%$);
 - кварцевые стека ($\text{SiO}_2 > 99 \%$);
 - б) алюмосиликатные – огнеупорная основа ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$):
 - полукислые (примерно 70% SiO_2 и менее 30% Al_2O_3);
 - шамотные ($39\text{--}45 \%$ Al_2O_3);
 - высокоглиноземистые ($> 45 \%$ Al_2O_3);
 - в) магнезиальные (огнеупорная основа MgO):
 - магнезитовые ($> 85\%$ MgO);
 - доломитовые ($\text{CaO}/\text{MgO} = 1$, но больше MgO);
 - форстеритовые ($\text{MgO}/\text{SiO}_2 = 1$, но больше MgO);
 - шпинельные (содержат шпинель $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, а также Cr_2O_3);
 - г) хромистые – огнеупорная основа Cr_2O_3 и MgO :
 - хромитовые (примерно 30% Cr_2O_3);
 - хромомagneзитовые ($10\text{--}30 \%$ Cr_2O_3 и $30\text{--}70 \%$ MgO);
 - д) углеродистые:
 - графитовые ($30\text{--}60 \%$ C);
 - коксовые ($70\text{--}90 \%$ C);
 - е) цирконистые – огнеупорная основа ZrO_2 :
 - цирконовые – из минерала циркона;
 - циркониевые – из ZrO_2 ;
 - ж) карбидные и нитридные:
 - карборундовые ($30\text{--}90 \%$ SiC);
 - изделия из нитридов, карбидов и боридов элементов 4, 5 и 6 групп периодической системы;
 - з) окисные: изделия из окисей бериллия, тория и цезия.
3. По типу огнеупорной основы:
- а) кислые (SiO_2);
 - б) нейтральные (Al_2O_3);
 - в) основные (CaO , MgO).
4. По способу приготовления:
- а) естественные (пиленные огнеупоры);
 - б) искусственные:

- литые из жидких масс;
 - пластичного формования;
 - полусухого прессования из увлажненных порошков;
 - сухого прессования из сухих и малоувлажненных порошков;
 - трамбованные;
 - изделия особых способов формования.
5. По способу термообработки: безобжиговые, обжиговые, плавленые.
6. По сложности формы: простые (нормальный кирпич), фасонные.
7. По назначению: доменные, конвертерные, ковшовые, сталеразливочный припас и т.д.

Поскольку многие физические свойства огнеупоров зависят от пористости, установлено 8 градаций огнеупоров по пористости (табл.1).

Таблица 1

**Классификация формованных огнеупорных изделий
по пористости**

Группы пористости	Открытая пористость, %	Общая пористость, %
Особо плотные	менее 3	–
Высокоплотные	3-10	–
Повышенно-плотные	10-16	–
Уплотненные	16-20	–
Среднеплотные	20-30	–
Низкоплотные	30	< 45
Высокопористые	–	45-75
Ультрапористые	–	> 75

Неформованные огнеупоры в зависимости от назначения подразделяют в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Классификация неформованных огнеупоров

Группа	Характеристика	Назначение
Огнеупорные порошки и заполнители	Огнеупорные материалы определенного зернового состава	Для изготовления огнеупорных изделий, масс, смесей, мертелей; для изготовления и ремонта тепловых агрегатов, теплоизоляции и др.
Огнеупорные цементы	Микрoзернистые, тонкодисперсные и ультрадисперсные огнеупорные материалы, твердеющие после смешивания со связкой	Для изготовления бетонных изделий, смесей, масс, покрытий и мертелей
Огнеупорные массы и смеси, в том числе бетонные	Массы – огнеупорные материалы, состоящие из огнеупорных порошков и заполнителей, связки (бетонные массы вяжущего) и, в необходимых случаях, добавок (пластифицирующих, структурообразующих и др.), готовые к применению. Смеси – огнеупорные материалы, состоящие из огнеупорных порошков и заполнителей (бетонные смеси – также из огнеупорного цемента), требующие введения связки	Для изготовления изделий, в том числе бетонных монолитных футеровок и их элементов, а также для ремонтов огнеупорной кладки
Огнеупорные мертели	Смесь мелкозернистых огнеупорных материалов с пластифицирующими добавками или без них	Для заполнения швов и связывания огнеупорных изделий в кладке

2. Порядок выполнения работы

Проанализировать образцы огнеупоров по заданию преподавателя и данные об их свойствах. Определить в соответствии с классификацией огнеупоров тип, вид образцов и назначение этих огнеупоров. Результаты представить в виде описания каждого образца огнеупора с отнесением его к тому или иному виду, типу по классификации, а также в виде рекомендаций по применению рассматриваемых огнеупоров и оформить в виде табл. 3.

Таблица 3

Результаты изучения образцов огнеупоров

Описание образца огнеупора	Вид огнеупора	Тип огнеупора	Назначение огнеупора

3. Контрольные вопросы

1. Что такое огнеупорные материалы?
2. Классификация огнеупоров
3. Классификация формованных огнеупорных изделий по пористости
4. В зависимости от назначения на какие группы подразделяются неформованные огнеупоры

Практическая работа № 2
СВОЙСТВА ОГНЕУПОРОВ, РАСЧЕТ КАЖУЩЕЙСЯ
ПЛОТНОСТИ ОГНЕУПОРНОГО ИЗДЕЛИЯ

Цель работы: изучить физические характеристики огнеупорных материалов, ознакомиться с методикой расчета кажущейся плотности огнеупорного изделия.

1. Теоретическая часть

Современное металлургическое производство связано с протеканием физико-химических процессов при высоких температурах, поэтому требуется применение огнеупоров. *Огнеупорными* называются такие материалы, которые могут противостоять воздействию высоких температур длительное время, не разрушаясь.

От качества и стойкости огнеупоров зависит производительность и срок службы печей. Огнеупорные материалы и изделия из них (огнеупоры) должны обладать следующими свойствами:

- огнеупорностью и механической прочностью при высоких температурах;
- способностью выдерживать колебания температур;
- химической стойкостью в условиях печей;
- постоянством формы и объема при нагреве;
- возможностью массового производства.

Огнеупоры характеризуются набором различных свойств, определяющих качество и служебные свойства огнеупорных изделий. Различают *физические, теплофизические, механические и химические свойства* огнеупоров.

- К *физическим свойствам* относятся: плотность, пористость.
- К *теплофизическим свойствам* относятся: огнеупорность, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность, теплоаккумулирующая способность.
- К *механическим свойствам* относятся: предел прочности на сжатие, деформация огнеупоров под нагрузкой при высокой температуре.

- К *химическим свойствам* относятся: химико-минеральный состав, тип огнеупорной основы, шлако- и металлоустойчивость.

2. Порядок выполнения работы

Задачей практической работы является определение одного из физических свойств – *кажущейся плотности* огнеупорного изделия. В основу методики определения кажущейся плотности заложен ГОСТ 2409–95 «Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения».

Плотность вещества (тела) – это масса вещества, содержащегося в единице объема. Плотность ρ , г/см³, кг/м³, т/м³, определяется как отношение веса образца к его объему.

$$\rho = \frac{M_{об}}{V_{об}} \quad (1)$$

где $M_{об}$ – масса образца; $V_{об}$ – объем образца

Кажущаяся плотность – это плотность образца огнеупорного изделия, объем которого определен с учетом пор.

Истинная плотность огнеупора – это плотность вещества, из которого изготовлено огнеупорное изделие.

Для определения *кажущейся плотности* образцов огнеупоров необходимо определить массу и объем образцов и по формуле (1) вычислить кажущуюся плотность.

Образец должен иметь форму параллелепипеда общим объемом до 200 см³. Образец изготавливают из огнеупорных изделий или кусковых полуфабрикатов резанием или откалыванием с последующей подшлифовкой неровностей поверхности и острых углов и тщательным удалением пыли. При изготовлении образца поверхностная корка должна оставаться неповрежденной. Объем образца во время проведения испытания должен оставаться стабильным. Образцы с трещинами не испытывают.

Определение массы сухого образца.

- Образец сушат при температуре 110–135 °С до постоянной массы.
- Массу принимают постоянной, если результат последующего взвешивания, проведенного не менее чем через 1 ч сушки, отличается от предыдущего не более чем на 0,1 %.
- Перед каждым взвешиванием образец охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры. Негидратирующиеся образцы допускается охлаждать на воздухе.
- Взвесить образец с абсолютной погрешностью $\pm 0,01$ г, все операции взвешивания образцов объемом 50 см^3 и более проводят с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,1$ г, образцы объемом от 5 до 50 см^3 или с открытой пористостью менее 5 % – с абсолютной погрешностью не более $\pm 0,03$ г.
- Полученное значение массы сухого образца записывается как M_0 .

Определение объема образцов.

Определить штангенциркулем размеры сторон и объемы образцов (в см^3) огнеупора.

Для параллелепипеда объем можно определить по формуле:

$$V_{об} = a \cdot b \cdot c \quad (2)$$

где a – длина образца; b – ширина образца; c – высота образца.

Определение кажущейся плотности.

Зная массу и объем образцов, по формуле (1) рассчитывают их кажущуюся плотность. Результаты сводят в табл. 1.

Таблица 1

Результаты изучения образцов огнеупоров

M_0 , г	$V_{обр}$, см^3	$P_{каж}$, $\text{г}/\text{см}^3$

3. Контрольные вопросы

1. Что такое огнеупорные материалы?
2. Какими свойствами должны обладать огнеупорные материалы?
3. Охарактеризуйте физические свойства огнеупоров.
4. Охарактеризуйте теплофизические свойства огнеупоров.
5. Охарактеризуйте механические свойства огнеупоров.
6. Охарактеризуйте химические свойства огнеупоров.

Практическая работа № 3
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Цель работы: изучить методику расчета коэффициента теплопроводности огнеупорного изделия.

1. Теоретическая часть

Огнеупорные изделия используются при сооружении печей в качестве строительного материала. Кроме того, во время плавки руд или металлов огнеупорная футеровка изолирует рабочий объем печей от окружающей среды и препятствует распространению тепла за пределы печи, так как большинство огнеупоров обладают низкой теплопроводностью. В некоторых металлургических процессах огнеупоры должны являться посредниками при переносе тепла через стенку к нагреваемому материалу.

Например, в плавильных или нагревательных печах, во вращающихся трубчатых, в индукционных или электродуговых печах с уменьшением теплопроводности огнеупоров значительно понижаются потери тепла в окружающую среду. В других случаях, например во всех муфельных печах, в ретортных при получении цинка или магния, при плавке алюминия и его сплавов в тигельных печах, с уменьшением теплопроводности материала стенки значительно ухудшаются условия нагрева металла и повышается расход тепловой энергии на единицу металла.

Теплопроводность с математической точки зрения представляет собой коэффициент пропорциональности, чья роль заключается в уравнивании размерностей левой и правой частей закона Фурье, и измеряется в Вт/(м·К).

С физической точки зрения теплопроводность - теплофизическая характеристика вещества. Для различных веществ при одинаковых градиентах температуры, поверхностях и времени количество проходящей через тело теплоты определяется только теплопроводностью.

Таблица 1

Коэффициенты огнеупорности огнеупоров

Огнеупор	Температурный коэффициент теплопроводности, Вт/(м К)	Коэффициент теплопроводности при рабочей температуре, Вт/м	Рабочая температура, К
Шамотный кирпич	$(0,72+0,0005t)1,16$	1,65	1620-1720
Пеношамотный кирпич	$(0,24+0,0002t)1,16$	0,59	1620
Кирпич из легковесного шамота	$(0,09+0,000125t)1,16$	0,29	1570
Динасовый кирпич	$(0,8+0,0006t)1,16$	2,11	1970
Магнезитовый кирпич	$(4,0-0,0015t) 1,16$	0,75	1920-1970
Хромомагнезитовый кирпич	$(1,6-1,7t) 1,16$	1,966	1970
Хромитовый кирпич	$(1,1-0,00035t) 1,16$	0,309	1920-1970
Диатомитовый кирпич	$(0,097-0,0002t) 1,16$	1,299	1120
Муллитовые изделия	$(1,45-0,0002t) 1,16$	5,24	1920
Корундовые изделия	$(1,8+0,0016t) 1,16$	5,24	1920-1970
Цирконовые изделия	$(1,12+0,00055t) 1,16$	2,447	2020-2070
Карбофраксные изделия	$(18-0,009t) 1,16$	15,66	1670-1770
Угольные изделия	$(20-0,030t) 1,16$	16,24	2270
Графитовые изделия	$(140-0,035t) 1,16$	81,20	2270

Чем больше теплопроводность, тем выше будет способность вещества проводить теплоту, и наоборот. Иначе говоря, теплопроводность должна представлять собой теплофизический параметр, определяющий способность тел проводить теплоту.

Следовательно, к теплопроводности огнеупоров в зависимости от условий их службы могут быть предъявлены разные требования. В большинстве случаев огнеупоры служат в качестве изоляторов при движении тепла от рабочего объема печи во внешнюю среду, в этом случае огнеупоры должны обладать минимальной теплопроводностью.

Теплопроводность огнеупоров определяется их химико-минералогическим составом и структурой. Большинство огнеупоров относятся к плохим проводникам тепла. Исключение составляют углеродные изделия - угольные, графитовые и карборундовые - и в некоторой степени магнезитовые.

Для одного и того же материала теплопроводность изменяется в довольно широком диапазоне, причем характер изменения определяется многими факторами: температурой, количеством примесей, наличием влаги, давлением и т. п. Как правило, зависимость от вышеперечисленных факторов не поддается строгому аналитическому описанию, поэтому основным источником получения достоверных значений теплопроводности остается эксперимент.

Большинство методов определения коэффициентов теплопроводности материалов основано на стационарном режиме - это метод плоской стенки, метод трубы и метод шара.

2. Порядок выполнения работы

Задачей практической работы является определение одного коэффициента теплопроводности материала методом плоской стенки. Для этого с помощью штангенциркуля определите толщину образцов, полученных у преподавателя. Определите плотность теплового потока от источника нагрева приспособления для контроля теплопроводности огнеупоров, контролируя температуру пластины из сплава АК12. Для расчета плотности теплового потока можно воспользоваться формулой:

$$q = \lambda \frac{(T_1 - T_2)}{\delta}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности;

$T_1 - T_2$ – разность температур на поверхностях плоской стенки;

δ – толщина стенки, %;

Установите образец огнеупора в нагревательную установку. Выдержите образец в установке до установления стационарного теплового состояния. Зафиксируйте температуру поверхностей образца. Рассчитайте теплопроводность огнеупорного материала по формуле

$$\lambda_0 = \frac{q\delta_0}{(T_3 - T_4)} \quad (2)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности огнеупорного материала;

δ - толщина огнеупорного материала;

T_3 - температура внутренней поверхности огнеупора;

T_4 – температура наружной поверхности огнеупора.

3. Контрольные вопросы

1. Что называется теплопроводностью материалов?
2. Какие методы применяются для определения коэффициента теплопроводности материалов?
3. В чем сущность метода плиты?
4. Покажите схему прибора для определения коэффициента теплопроводности материалов.
5. Какие требования по теплопроводности предъявляются к огнеупорам?

Практическая работа № 4
**ВИДЫ ОГНЕУПОРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧАХ, РАСЧЕТ ПОРИСТОСТИ
ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Цель работы: изучить виды огнеупоров, применяемых в металлургическом производстве, ознакомиться с методикой расчета пористости огнеупорных материалов.

1. Теоретическая часть

Современное металлургическое производство связано с протеканием физико-химических процессов при высоких температурах, поэтому требуется применение материалов, которые могут длительное время противостоять воздействию высоких температур, не разрушаясь.

Условия службы огнеупоров отличаются разнообразием, поэтому к ним предъявляются разнообразные и высокие требования:

- 1) высокая огнеупорность и температура начала деформации под нагрузкой;
- 2) хорошая термическая стойкость;
- 3) шлакоустойчивость;
- 4) механическая прочность и устойчивость против истирания;
- 5) постоянство размеров во всем диапазоне колебания температур.

Одного вида огнеупорного материала, отвечающего всем этим требованиям нет. Поэтому подходят к выбору огнеупоров дифференцированно.

Основным агрегатом в черной металлургии для получения чугуна является **доменная печь**. Она потребляет около 70 % всей энергии, необходимой для производства металла. Расход огнеупоров на производство чугуна составляет до 1,5 кг/т. При таком расходе необходимо иметь в виду, что остановка доменной печи на ремонт связана с износом огнеупорной футеровки.

Для доменных печей объемом более 3000 м³ лещадь выкладывается полностью из углеродистых блоков. Кладку стен горна выпол-

няют комбинированной из углеродистых и алюмосиликатных (шамотных) изделий. Кладка запечников выполняется обычно в один окат из шамотокаолиновых кирпичей впритык к периферийным плитовым холодильникам с соблюдением перевязки вертикальных швов.

Огнеупорная кладка неохлаждаемой части шахты выполняется из шамотных изделий на шамотоглинисто-цементном растворе.

Кладку охлаждаемой части шахты выполняют из шамотных каолиновых изделий. В шахте могут применять наливную футеровку и торкретирование с использованием холодильников типа «тепловые трубы». Например, применяют огнеупоры на основе карбидов кремния или карбонитридов кремния в сочетании с углеродистыми материалами.

Различные способы кладки шахты непосредственно сказываются на конструкции распара – конструкция распара повторяет конструкцию охлаждаемой части шахты. Для кладки используют высокоплотные шамотокаолиновые огнеупорные изделия.

В пределах футеровочных плит колошника кладку ведут из шамотных изделий на шамото-глинисто-цементном растворе.

Купол доменной печи футеруется жаростойким торкретбетоном, муллитокремнеземистым теплоизоляционным волокнистыми изделиями.

Огнеупоры для сталеплавильного производства

Огнеупоры для футеровки кислородных конвертеров

Условия службы футеровки кислородного конвертера следующие: ударные нагрузки, химическое воздействие шлаков и металла, интенсивное истирание потоками металла, шлака и конвертерных газов. В различных частях конвертера воздействие этих факторов различно, поэтому для футеровки используются огнеупоры различных типов.

Конструктивно футеровка состоит из арматурного и рабочего слоев, в отдельных случаях выделяют промежуточный (выравнивающий) слой обмазки из периклазового или периклазохромитового порошка и препарированной каменноугольной смолы.

Арматурный слой выполняют из обожженного периклазового, периклазохромитового или хромпериклазового кирпича.

Разрушение кладки днища происходит под воздействие ударных нагрузок и взаимодействия с металлом.

Цилиндрическая часть разрушается в результате взаимодействия со шлаком. Наиболее изнашиваемой является область в районе цапф. Для повышения длительности компании эту зону как бы «размазывают» по высоте, увеличивая толщину футеровки днища и рабочего слоя.

Футеровка горловины должна противостоять резким температурным колебаниям, выдерживать сильные механические удары и сотрясения при загрузке шихты и удалении с поверхности кладки настывшей. Поэтому здесь так же используют обожженные периклазохромитовые огнеупоры.

Сталевыпускное отверстие футеруют периклазовыми или периклазоуглеродистыми блоками. Между кожухом и блоками укладывают набивную массу.

Служба огнеупорных изделий в различных элементах электродуговых печей

Футеровка подины **основных электродуговых печей** состоит из рабочей части и теплоизоляционного слоя. Рабочая часть футеровки подины состоит из набивного слоя и кирпичной кладки. Верхний набивной слой обычно выполняют из магнезитового порошка, замешанного на смеси смолы и песка, толщиной 100...200 мм. Средний огнеупорный слой выполняется из магнезита. Толщина рабочего слоя должна составлять 70...80% футеровки ванны, то есть 4...6 рядов кирпича. Нижний - изоляционный слой выполняют из легковесного шамота один - двумя слоями. На металлическое днище укладывают листовую асбест и насыпают выравнивающий слой шамотного порошка общей толщиной 30...40 мм.

Откосы ниже уровня шлака выкладываются обычным, а в районе шлакового пояса - плотным магнезитовым кирпичом и выводятся на 100...200 мм выше уровня шлакового пояса. Тепловая изоляция кожуха на высоте откосов обычно выполняется из тех же материалов и в той же последовательности, что и изоляция подины.

Для футеровки стен основных дуговых печей используется периклазошпинелидный и магнезитохромитовый плотный кирпич, обычный обжиговый или безобжиговый в железных кассетах и хромомагнезитовый кирпич.

Футеровку сводов основных дуговых печей наиболее часто выполняют из прямого и небольшого количества клинового кирпича марки МХОП и в отдельных случаях из динасового кирпича.

Кислая футеровка дуговых печей

Теплоизоляция подины и откосов кислых дуговых печей выполняется так же из тех же материалов, что и основных. Рабочую часть футеровки подины и откосов изготавливают из динасового кирпича и набивного слоя из кварцевого песка (90%) и огнеупорной глины (10%) на жидком стекле. Стены и свод набиваются из динасового кирпича.

Огнеупоры для разливки и внепечной обработки стали

Металл из плавильного агрегата выпускают в сталеразливочный ковш. При выпуске из мартеновской печи используют желоб. Обычно его футеруют шамотным кирпичом. С целью снижения расхода огнеупоров, желоб футеруют бетонными блоками различного состава или шамотнографитовым кирпичом. Стойкость шамотнографитовой футеровки выше шамотной в 4-8 раз, а периклазохромитовые бетоны выдерживают до 200 выпусков, если рабочую поверхность покрывать шамотно-глинистой массой.

Огнеупоры для вакуумных установок

Эти огнеупоры должны быть устойчивы по отношению к вакууму, обладать высокой термостойкостью, сохранять постоянство объема при изменении температуры, обладать химической устойчивостью по отношению к металлу, шлаку.

Огнеупоры располагаются в такой последовательности: цирконо-вые стабилизированные CaO, корундовые (99 % Al₂O₃), известково-периклазовые (99 % CaO+MgO), корундовые на муллитовой связке, известковые (96 % CaO), корундовые электроплавленные (96 % Al₂O₃), муллитовые (72 % Al₂O₃), шпинельные электроплавленные, высокоглиноземистые, периклазовые на шпинельной связке, периклазохромитовые, периклазовые, хромитопериклазовые электроплавленные.

2. Порядок выполнения работы

Задачей практической работы является определение одного из физических свойств – *открытой пористости* огнеупорного изделия. В основу методики лабораторного определения пористости заложен ГОСТ 2409–95 «Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения».

Огнеупорные изделия любого метода изготовления имеют поры. Поры могут быть открытыми, т.е. сообщаться с окружающей средой, и закрытыми. *Различают открытую, закрытую и общую пористости огнеупорных изделий.* Пористость сильно влияет на другие свойства огнеупоров, в первую очередь на прочность, шлако-металлоустойчивость.

Открытая пористость – это отношение объема открытых пор ($V_{\text{откр. пор}}$) к объему образца (изделия) ($V_{\text{обр}}$), выраженное в процентах:

$$\Pi_{\text{от}} = (V_{\text{откр. пор}} / V_{\text{обр}}) 100 \%. \quad (1)$$

Общая пористость – отношение суммарного объема открытых и закрытых пор ($V_{\Sigma \text{пор}}$) к объему образца (изделия) ($V_{\text{обр}}$), выраженное в процентах:

$$\Pi_{\text{об}} = (V_{\Sigma \text{пор}} / V_{\text{обр}}) 100 \%. \quad (2)$$

Для определения *объема открытых пор* применяется метод насыщения огнеупорного изделия (образца) жидкостью. Предполагается, что жидкость проникает в открытые поры и объем поглощенной жидкости будет равен объему открытых пор.

Для определения объема открытых пор образец огнеупора с известной первоначальной массой (M_0) погружают в воду (вода хорошо смачивает огнеупор). После насыщения образца водой его взвешивают (M_1) и по разности весов находят вес поглощенной воды ($M_{\text{H}_2\text{O}} = M_1 - M_0$). Зная плотность и вес воды, определяют объем поглощенной воды, т.е. объем открытых пор

$$V_{\text{откр. пор}} = V_{\text{H}_2\text{O}} = M_{\text{H}_2\text{O}} / \rho_{\text{H}_2\text{O}} \quad (3)$$

Затем рассчитывается открытая пористость огнеупора. Попутно определяется еще одно свойство – *водопоглощение*.

Водопоглощение – отношение массы воды, поглощенной образцом при полном насыщении и температуре 20 °С, к массе сухого образца.

$$W = \left(\frac{M_{\text{H}_2\text{O}}}{M_0} \right) 100 \%. \quad (4)$$

Образец должен иметь форму призмы или параллелепипеда общим объемом до 200 см³. Образец изготавливают из огнеупорных изделий или кусковых полуфабрикатов резанием или откалыванием с последующей подшлифовкой неровностей поверхности и острых углов и тщательным удалением пыли. При изготовлении образца поверхностная корка должна оставаться неповрежденной. Объем образца во время проведения испытания должен оставаться стабильным. Образцы с трещинами не испытывают.

Определение массы сухого образца

Образец сушат при температуре 110–135 °С до постоянной массы. Массу принимают постоянной, если результат последующего взвешивания, проведенного не менее чем через 1 ч сушки, отличается от предыдущего не более чем на 0,1 %.

Перед каждым взвешиванием образец охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры.

Взвесить образец с абсолютной погрешностью ± 0,01 г, все операции взвешивания образцов объемом 50 см³ и более проводят с абсолютной погрешностью не более ± 0,1 г, образцы объемом от 5 до 50 см³ или с открытой пористостью менее 5 % – с абсолютной погрешностью не более ± 0,03 г.

Полученное значение массы сухого образца записывается как M_0 .

Определение объема образцов

Определить штангенциркулем размеры сторон и объемы (в см³) образцов огнеупора. Для параллелепипеда объем можно определить по формуле:

$$V_{об} = a \cdot b \cdot c \quad (5)$$

где a – длина образца;
 b – ширина образца
 c – высота образца.

Определение массы пропитанного образца

Образец вынимают из сосуда, удаляют с его поверхности избыточную жидкость влажной губкой или хлопчатобумажной тканью, которую смачивают в насыщающей жидкости и перед использованием слегка отжимают. После удаления влаги образец взвешивают. Таким образом, получают значение массы пропитанного водой образца. Эту операцию повторяют еще два раза. По трем взвешиваниям определяют среднеарифметическое значение массы M_1 .

Определение веса жидкости, насытившей образец:

$$M_{H_2O} = M_1 - M_0. \quad (6)$$

Определение объема жидкости, насытившей образец:

$$V_{H_2O} = M_{H_2O} / \rho_{H_2O}. \quad (7)$$

Плотность воды при температуре 20 °С равна $\rho_{H_2O} = 0,9982 \text{ г/см}^3$.

Определение пористости и водопоглощения

На основании проведенных взвешиваний и считая объем поглощенной воды равным объему открытых пор, вычислить открытую пористость и водопоглощение по формулам (1) и (3).

Результаты измерений занести в табл. 1.

Таблица 1

Результаты изучения образцов огнеупоров

$M_0, \text{ г}$	$V_{обр}, \text{ см}^3$	$M_1, \text{ г}$	$M_{H_2O}, \text{ г}$	$V_{H_2O}, \text{ см}^3$	$P_{от}, \%$	$W, \%$

3. Контрольные вопросы

1. Основные требования к огнеупорным материалам:
2. Характеристика футеровки доменной печи.
3. Характеристика футеровки кислородных конвертеров
4. Характеристика футеровки основных электродуговых печей
5. Характеристика футеровки кислых электродуговых печей
6. Характеристика футеровки оборудования разливки и внепечной обработки стали
7. Характеристика футеровки вакуумных установок
8. Что такое открытая пористость?
9. Что такое закрытая пористость?
10. Что такое общая пористость?

Практическая работа № 5
**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
ПРОИЗВОДСТВА ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ,
РАСЧЕТ ПЛОТНОСТИ ОГНЕУПОРНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Цель работы: ознакомиться с технологиями изготовления керамических и плавнелитых огнеупорных изделий, изучить виды плотности, методику расчета плотности огнеупорного изделия методом гидростатического взвешивания.

1. Теоретическая часть

По технологии огнеупоры можно подразделить на керамические (изделия пластического формования, полусухого прессования, литые и вибролитые из текучих масс, горячего прессования) и плавнелитые.

Наиболее старым способом изготовления **керамических** огнеупоров является *пластическое формование*, которое сейчас используется в ряде случаев для производства шамотных огнеупоров. При этом изделия формируют из массы, состоящей из 50-65% непластичных компонентов и 50-35% связующей глины. Влажность массы составляет 15-20%, что вызывает повышенную усадку при сушке и обжиге и, как следствие, невысокую точность геометрических размеров готовых изделий.

Большую часть огнеупорных изделий изготавливают методом *полусухого прессования*. При использовании данного метода влажность массы составляет 5-10%, доля непластичных компонентов - 80-95%. Давление прессования превышает 30 МПа. Для изготовления высококачественных изделий в качестве связующего вместо глины или каолина используют органические добавки типа сульфитно-спиртовой бражки или декстрина. Усадка массы при сушке и обжиге незначительна, точность геометрических размеров готовых изделий удовлетворительна.

При изготовлении изделий крупногабаритных, сложной конфигурации используют пневматическое трамбование и вибропрессова-

ние. Влажность масс при этом составляет менее 5%. Готовые изделия отличаются высокой точностью размеров.

При использовании метода полусухого прессования нельзя получить изделия сложной конфигурации, а также особо плотные изделия. Для формования тонкостенных и крупногабаритных изделий сложной конфигурации используют *шликерное литье* в пористые формы. Влажность литейного шликера составляет до 25%, в его состав вводятся органические либо неорганические разжижители в количестве 0,1-2%. Изделия, изготовленные шликерным литьем из мелкодисперсных компонентов, тщательно сушат и обжигают при высокой температуре.

Для получения особо ответственных огнеупорных изделий используют *изостатическое прессование*. Исходные компоненты готовят из водных суспензий по способу распыления, в пресс-порошок вводят только органические связующие (декстрин, этиленгликоль, этилсиликат). При прессовании создается всестороннее равное давление, благодаря чему получают плотные и однородные изделия. Изостатическое прессование заменяет шликерное литье при изготовлении крупногабаритных изделий сложной конфигурации.

Легковесные огнеупорные изделия изготавливают по описанным выше технологиям. При этом пористая структура формируется различными способами.

Основными стадиями технологического процесса изготовления **плавленолитых огнеупоров** являются приготовление шихты и литейных форм, получение расплава, заливка расплава в литейные формы, отжиг и механическая обработка изделий.

Приготовление шихты ведется аналогично приготовлению стекольных шихт на автоматизированных дозировочно-смесительных линиях.

Для заливки расплава используют чаще всего песчаные формы, которые собирают из прессованных и высушенных пластин, изготовленных из кварцевого песка с добавлением в качестве связующего жидкого стекла. Собранную форму помещают в термоящик, засыпают

теплоизоляционным материалом и подают на заливочную площадку у дуговой печи. Хотя песчаные формы одноразовые, технология их изготовления наиболее экономична.

При производстве изделий из расплавов с температурой более 2000°С используются многооборотные графитовые и металлические сборные формы. В отличие от песчаных такие формы обеспечивают гораздо большую точность геометрических размеров отливок.

Плавление шихты производят в дуговых печах периодического действия при температуре до 2500°С. Корпус печи охлаждается водой, т. е. происходит футеровка печи оплавленной шихтой. При восстановительном режиме плавления электроды погружены в расплав, покрытый слоем шихты; при окислительном режиме достигается устойчивое горение дуги длиной 3-5 см между графитовыми электродами и расплавом. Окислительное плавление по сравнению с восстановительным обеспечивает намного более высокое качество огнеупоров по таким важнейшим показателям, как плотность и минимальное содержание углерода. Это обуславливает повышение коррозионной стойкости огнеупора и резкое снижение склонности к образованию пузырей при контакте с расплавом стекла. Для варки качественных стекол необходимо использовать огнеупоры только окислительного плавления.

Заливка расплава в формы производится через летку путем наклона печи при температуре 1750-2400°С. Затвердевание расплава в форме происходит в результате его кристаллизации. Размеры и форма кристаллов, обусловленные скоростью охлаждения расплава, а также их преимущественная ориентация в отливке в значительной мере определяют структуру и текстуру изделия. По мере охлаждения расплава и его кристаллизации происходит усадка с уменьшением объема на 10-13%, что обуславливает образование усадочных раковин, пористости и других дефектов на 1/3-1/2 толщины изделия.

В начальный период охлаждения за счет интенсивной теплоотдачи от расплава к форме в отливке формируются мелкокристаллические зоны, постепенно переходящие в среднекристаллические. Эти зоны характеризуются повышенной плотностью и концентрацией вы-

сокотемпературных компонентов состава, что обеспечивает высокие эксплуатационные показатели материала. В отличие от плотных зон внутренние (центральные) участки отливок с расплавом, обогащенным плавнями и примесями, формируют крупнокристаллическую зону с пустотами и повышенной пористостью. Усадочные раковины в отливках располагаются вблизи участка поступления расплава, под прибыльной надставкой, и могут занимать 20-40% объема отливки, что приводит к ее выбраковке.

Для повышения плотности отливок при заливке расплава применяют литейные формы с увеличенной прибыльной надставкой, объем которой достигает 70-110% от объема изделий, либо заливают брус намного большего объема с последующей обрезкой литниковой и пористой частей на станке с алмазным инструментом.

Отжиг изделий. Основная задача этой технологической операции - снизить температуру изделия до температуры окружающей среды со скоростью, исключающей вероятность его разрушения или появления трещин, сколов углов, ребер и других дефектов. На практике используют два способа охлаждения (отжига): естественный (неуправляемый) и искусственный (регулируемый). Естественный отжиг осуществляется непосредственно в термоящике в течение 7-18 суток в зависимости от массы отливки. Применяют также способ охлаждения изделий в естественных условиях, заключающийся в высвобождении изделия из форм после выдержки в течение 30-60 мин, переносе его в другой термоящик и засыпке большим количеством изоляционного материала.

Регулируемый отжиг изделий проводят по заданному режиму в туннельной печи. Перед установкой в туннельную печь изделия извлекают из термоящика и высвобождают из литейной формы. Продолжительность отжига в зависимости от размеров и массы изделий составляет 2,5-4 суток. Температурная кривая по длине печи рассчитывается для каждого вида огнеупора.

Остывшие изделия обрабатываются алмазным инструментом - срезается прибыль, шлифуется поверхность. Эксплуатационные показатели плавленолитых огнеупоров зависят от состояния поверхности

и точности геометрических размеров.

2. Порядок выполнения работы

Задачей практической работы является расчет плотности формованных и неформованных огнеупорных образцов.

Гидростатическое взвешивание – это метод измерения плотности жидкостей и твердых тел, основанный на законе Архимеда: на всякое тело, погруженное в жидкость, действует со стороны этой жидкости поддерживающая сила, равная весу вытесненной телом жидкости, направленная вверх и приложенная к центру тяжести вытесненного объема. Поддерживающую силу называют также архимедовой, или гидростатической подъемной силой. Давление, действующее на погруженное в жидкость тело, увеличивается с глубиной погружения, поэтому сила давления жидкости на нижние элементы поверхности тела больше, чем на верхние. В результате сложения всех сил, действующих на каждый элемент поверхности, получится равнодействующая сила, направленная вверх. Это и есть поддерживающая сила. Если тело плотно лежит на дне, то давление жидкости только сильнее прижимает его ко дну.

Образец огнеупора должен иметь форму призмы или цилиндра общим объемом от 30 до 200 см³ (250 см³). Образец изготавливают из изделий или кусковых полуфабрикатов резанием или откалыванием с последующей подшлифовкой неровностей поверхности и острых углов и тщательным удалением пыли. При изготовлении образца поверхностная корка должна оставаться неповрежденной. Образцы с трещинами не испытывают.

Взвесить все образцы на весах на воздухе. Полученный результат взвешивания (M , г) занести в таблицу.

Взвесить все образцы в воде. При взвешивании уровень жидкости в сосуде необходимо поддерживать постоянным путем добавления в него воды. Если вес на циферблате весов остается неизменным в течение 10 мин, то взвешивание в воде считать законченным. Полученный результат взвешивания (m , г) занести в таблицу.

На основании проведенных взвешиваний вычислить плотность огнеупора по формуле:

$$c = \frac{M}{M - m} c_{\text{H}_2\text{O}}, \quad (1)$$

где M – масса тела на воздухе;

m – масса тела в жидкости (воде);

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – плотность насыщающей жидкости при температуре испытаний, г/см³; плотность $\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ при 20 °С, принять $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0,9972$ г/см³.

Полученные результаты занести в таблицу наблюдений (табл. 1).

Таблица 1

Результаты изучения образцов огнеупоров

$M, \text{ г}$	$m, \text{ г}$	$\rho, \text{ г/см}^3$

3. Контрольные вопросы

1. Изготовление огнеупорных изделий методом пластического формования.

2. Изготовление огнеупорных изделий методом полусухого прессования.

3. Изготовление огнеупорных изделий методом из текучих масс

4. Изготовление огнеупорных изделий методом горячего прессования.

5. Характеристика плавленолитых огнеупорных изделий.

Практическая работа № 6

ТЕРМОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Цель работы: ознакомиться с основными материалами для тепловой изоляции печей, изучить стандартные методы определения термической стойкости огнеупоров.

1. Теоретическая часть

Использование надежной тепловой изоляции обеспечивает экономию топлива, способствует повышению коррозионной устойчивости огнеупоров.

К материалам для тепловой изоляции печи предъявляются следующие требования:

- низкое значение коэффициента теплопроводности;
- способность противостоять высоким температурам, до которых прогревается внутренний огнеупорный слой;
- достаточная строительная прочность, чтобы избежать разрушения под действием веса теплоизоляционного слоя;
- небольшая удельная теплоемкость, чтобы потери теплоты на аккумуляцию кладкой были минимальными;
- по возможности невысокая стоимость этих материалов.

Теплоизоляционные материалы характеризуются теми же физическими свойствами, что и огнеупорные. Главной рабочей характеристикой теплоизоляционных материалов служит предельная температура их применения. Если действительная температура службы превышает предельно допустимую величину, то теплоизоляция может оказаться химически или механически неустойчивой и выйдет из строя.

По температуре применения теплоизоляционные материалы делят на три группы: низкотемпературные (до 900°C), среднетемпературные (900-1200°C) и высокотемпературные (свыше 1200°C). Поэтому не все материалы, входящие в группу теплоизоляционных, являются огнеупорными.

В качестве естественных теплоизоляционных материалов используются диатомит, трепел, вермикулит и асбест. Диатомит и трепел используют для засыпок в порошкообразном виде. Кроме того, из них изготавливают кирпич на глинистой связке. Диатомитовые кирпичи обладают очень малой прочностью и применяются для выполнения слоя наружной тепловой изоляции стен и сводов печей. Их пористость составляет от 55 до 75%, а предельная температура применения достигает 1000°C.

Вермикулит является разновидностью слюды, обладающей способностью при нагревании до 800-900°C вспучиваться и увеличивать свой объем в 15-20 раз. Необожженный вермикулит используют для засыпок и изготовления плит. Средний коэффициент теплопроводности этих материалов равен 0,1 Вт/м[^]К. Вермикулитовые плиты имеют низкую плотность (до 0,25 г/см³) и, соответственно, малый вес, однако предельная температура их применения не превышает 600°C. В обожженном виде вермикулит используют для засыпок и изготовления различных изделий. В этом случае он применяется при рабочей температуре до 1100°C.

Асбест, или горный лен, представляет собой волокнистый материал, соответствующий формуле $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. При нагреве до температуры выше 500°C он теряет связанную влагу и в результате разрушается, рассыпаясь в порошок. Поэтому асбест можно использовать до температуры 450°C. Из него изготавливают шнуры, ткани, картон. Асбестовые изделия при пористости 65-75% имеют коэффициент теплопроводности порядка 0,17 Вт/м[^]К.

Легковесные огнеупорные изделия на основе шамота, динаса, высокоглиноземистых материалов и карборунда широко используются в практике стеклоделия. Легковесные изделия изготавливают тремя способами: выгорающих добавок, пенообразования и химическим. Выбор метода зависит от величины требуемой пористости и структуры огнеупора.

При способе выгорающих добавок в керамическую массу добавляются твердые горючие материалы – древесные опилки, каменный уголь, кокс, лигнин и др. В процессе обжига добавки сгорают, и в

изделии образуется большое количество крупных пор произвольной формы.

Пеновым способом можно получать изделия с пористостью до 80-85%. Сущность пенового способа заключается в смешении суспензии тонкомолотого огнеупорного материала с пеной, которая должна быть стойкой и прочной. Пенообразователями являются поверхностно-активные вещества, например канифольное мыло; в качестве крепителя пены используют клей. Пеномассу с влажностью 40–45% заливают в формы. После сушки и обжига получают изделия с большим количеством мелких равномерно распределенных пор. Пеноизделия в отличие от изделий, получаемых методом выгорающих добавок, характеризуются более высокой пористостью и соответственно лучшими теплоизоляционными свойствами. Однако механическая прочность таких материалов ниже.

Химическим способом поры получают при выделении газообразных продуктов в результате взаимодействия доломита и гипса с серной кислотой. При этом образуется большое количество равномерно расположенных пор.

Механическая прочность легковесного огнеупора значительно меньше, чем плотного. Минимально допустимым является предел прочности 0,5 МПа. Температура применения изменяется от 1150 до 1550 °С. Теплопроводность при 600°С изменяется от 0,25 до 0,7 Вт/мК, закономерно снижаясь с уменьшением кажущейся плотности материалов.

Волокнистые огнеупорные материалы находят все большее применение для тепловой изоляции печей. Их достоинством является легкость, низкий коэффициент теплопроводности, высокая термостойкость, хорошая химическая стойкость.

Наибольшее распространение получили алюмосиликатные стекловолоконные материалы каолинового состава (50% Al_2O_3 , 50% SiO_2). Их применяют в виде каолиновой ваты и изделий на ее основе.

Каолиновая вата относится к огнеупорным материалам муллитокремнеземистой группы. Она производится из натуральных огнеупорных глин и каолинов или синтетических смесей каолинового и высо-

коглиноземистого составов. Из каолиновой ваты в настоящее время получают более 50 видов различных изделий: рулонный материал, плотный войлок, плиты, маты, бумагу, картон и т. д.

Каолиновые волокна представляют собой высокотемпературное стекло. При температурах свыше $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$ стеклофаза волокон кристаллизуется, при этом теряется прочность, упругость волокон, они становятся хрупкими и менее термостойкими.

Муллитокремнеземистые изделия: войлок, рулонный материал, плиты - выпускаются по ГОСТ 23619. В зависимости от группы, температуры применения и плотности огнеупорные теплоизоляционные стекловолокнистые материалы и изделия делятся на марки, представленные в табл. 11. Температура применения муллитокремнеземистых изделий изменяется от $1150\text{--}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зависимости от вида изделия и марки. Теплопроводность изделий при температуре $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ находится в пределах $0,23\text{--}0,16\text{ Вт/мК}$.

К искусственным теплоизоляционным материалам относится шлаковая вата, изготовленная из различных минеральных расплавов, чаще всего из шлаков рудоплавильных металлургических печей. Струю шлака раздувают паром, в результате чего образуются тончайшие нити, из которых и получают шлаковую вату. Шлаковая вата обладает хорошими теплоизоляционными свойствами и огнеупорностью. Ее применяют до температуры $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура применения муллитокремнеземистых материалов не превышает $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Создание волокнистых теплоизоляционных материалов с температурой службы $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше возможно при использовании поликристаллических тугоплавких оксидов. Глиноземистые поликристаллические волокна состоят из кристаллов Al_2O_3 , распределенных в аморфной матрице. Известны также поликристаллические волокна из ZrO_2 , которые получают вытягиванием через фильеры, газодутьевым, центробежнодутьевым и другими способами. Особенностью получения поликристаллических волокон является последующий быстрый обжиг.

Теплоизоляционные изделия, изготовленные из волокон ZrO_2 , имеют низкую теплопроводность – она составляет $0,14$, $0,20$ и $0,27$

Вт/мК при 500, 1000 и 1500°C соответственно. Футеровка промышленных печей волокнистыми огнеупорами в 5-10 раз уменьшает капитальные вложения на сооружение печей. При этом масса кладки снижается в 9-12 раз, сокращаются трудозатраты при монтаже футеровки в 4–5 раз.

2. Порядок выполнения работы

Практическая работа составлена на основе ГОСТ 7875.0–94 «Изделия огнеупорные. Общие требования к методам определения термической стойкости» и ГОСТ 7875.2–94 «Изделия огнеупорные. Метод определения термической стойкости на образцах».

Область применения стандартов: настоящие стандарты устанавливают общие требования к методам определения термической стойкости обожженных, не взаимодействующих с водой огнеупорных изделий с общей пористостью менее 45 %.

Термическая стойкость огнеупорных изделий – это сопротивляемость разрушению, происходящему в результате резкой смены температур, при поочередном нагреве и охлаждении. Термическую стойкость выражают количеством теплосмен, которые выдерживает образец до разрушения.

Порядок отбора изделий и количество образцов для испытаний производится по ГОСТ 8179–78. Образцы вырезают из огнеупорного изделия в виде куба или параллелепипеда. Образцы, на поверхности которых после резки обнаружены трещины, пустоты или раковины, не испытывают, а заменяют другими из той же выборки.

Перед испытанием образцы высушивают при температуре 110–130 °С до постоянной массы. Массу считают постоянной, если после повторной сушки результат взвешивания отличается от предыдущего не более чем на 1 % по ГОСТ 7875.1–94 или на 0,1 % по ГОСТ 7875.2–94.

Метод определения термостойкости состоит в определении числа теплосмен, выдержанных испытуемым образцом до разрушения при резкой смене температуры от 950 °С до температуры проточной воды (ГОСТ 7875.2–94).

Разогревают печь до температуры 950 °С и выдерживают ее при этой температуре не менее 30 мин.

Образцы устанавливают на керамические подставки немаркированной гранью к нагревателям. Снизившуюся при вводе образцов температуру в рабочем пространстве печи поднимают до 950 °С и при этой температуре выдерживают образцы 30 мин.

После выдержки образцы извлекают из печи и опускают на 3 мин в бачок с проточной водой до полного покрытия их водой. Затем образцы выдерживают на воздухе 5 мин и снова помещают в печь.

Нагрев и охлаждение повторяют до тех пор, пока образцы не распадутся на два или более кусков.

Обработка результатов

Термическую стойкость выражают количеством теплосмен, которые выдерживает образец до разрушения. Теплосмену, при которой образец распался на куски, не учитывают.

Результаты испытания записывают в журнал испытания (протокол), в котором указывают:

- номер применяемого стандарта;
- дату испытания;
- наименование изделия, его марку и номер;
- размер испытываемых образцов (в мм);
- количество теплосмен

3. Контрольные вопросы

1. Основные требования к теплоизоляционным материалам печей.
2. Группы теплоизоляционных материалов в зависимости от температуры применения.
3. Характеристика естественных теплоизоляционных материалов.
4. Характеристика легковесных огнеупорных изделий.
5. Характеристика волокнистых огнеупорных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ульянов, В. А. Огнеупорные, теплоизоляционные и строительные материалы для печей: учебное пособие / В. А. Ульянов, М. А. Ларин, В. Н. Гущин. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2019. – 153 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564327> (дата обращения: 01.12.2022). – Библиогр.: с. 108. – ISBN 978-5-9729-0350-4.

2. Земляной, К. Г. Служба огнеупоров : учебно-методическое пособие / К. Г. Земляной ; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. – 175 с. : схем., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=696297> (дата обращения: 01.12.2022). – Библиогр.: с. 160-163. – ISBN 978-5-7996-2398-2. – Текст: электронный.

3. Тихомиров, А. В. Теплоизоляционные материалы и технологии: учебное пособие: [16+] / А. В. Тихомиров. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 196 с.: ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=618163> (дата обращения: 01.12.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9729-0569-0. – Текст : электронный.

4. Теплообмен: теория и практика : учебник : [16+] / В. В. Карнаух, А. Б. Бирюков, С. И. Гинкул [и др.]. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 332 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=618549> (дата обращения: 01.12.2022). – Библиогр.: с. 272-275. – ISBN 978-5-9729-0702-1. – Текст : электронный.

5. Физическое моделирование технических систем сталеплавильного производства : учебное пособие : [16+] / С. П. Еронько, Е. В. Ошовская, М. Ю. Ткачев [и др.]. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 324 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL:

<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=617596> (дата обращения: 01.12.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9729-0699-4. – Текст : электронный.

6. Мысик, В. Ф. Металлургия ферросплавов: технологические расчеты : учебное пособие / В. Ф. Мысик, А. В. Жданов, В. А. Павлов ; Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2018. – 539 с. : схем., табл., ил. – Режим доступа: по подписке. –

URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=696004> (дата обращения: 01.12.2022). – Библиогр.: с. 454-490. – ISBN 978-5-7996-2388-3. – Текст : электронный.

7. Горлов, Ю. П. Технология теплоизоляционных материалов : учебник / Ю. П. Горлов, А. П. Меркин, А. А. Устенко. – Москва : Стройиздат, 1980. – 401 с. : ил., табл., схем., граф. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=602006> (дата обращения: 01.12.2022). – Библиогр.: с. 393-395. – Текст : электронный.

8. Стариков, В. С. Огнеупоры и футеровки в ковшевой металлургии: учеб. пособие для вузов / В.С. Стариков, Н.В. Теплянецв, В.В. Стариков. - Москва: МИСИС, 2003. - 327с.

9. Тимофеева, А. С. Металлургическая теплотехника. Процессы сушки и огнеупоры: учебное пособие для вузов / А. С. Тимофеева, Т. В. Никитченко, В. В. Федина. - Старый Оскол: ТНТ, 2017. - 238 с.

10. Кащеев И.Д. Оксидно-углеродистые огнеупоры / И. Д. Кащеев. - Москва: Интермет Инжиниринг, 2000. – 265 с.

11. Кащеев И.Д. Свойство и применение огнеупоров: справочное издание / И.Д. Кащеев.- Москва: Теплотехник, 2004.- 352 с.

12. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топок: справочник: в 2 кн. / под ред. И. Д. Кащеева. - Москва: Интермет Инжиниринг, 2000. – 662 с.

13. Служба огнеупоров.Справочник / под ред. И.Д.Кащеева. - Москва: Интермет Инжиниринг, 2002. – 656 с.

14. Хорошавин Л. Б. Магнезиальные огнеупоры: справочник / Л.Б Хорошавин, В.А. Лерепелицын, В.А. Кононов. - Москва: Интермет Инжиниринг, 2001. - 575с.

15. Черная металлургия зарубежных стран и России / под общ. Ред. В.В. Катунина. - Москва: Черметинформация, 2001 .- 319 с.

16. Воронов Г.В. Огнеупорные материалы: учебное пособие. В 2-х ч. Ч.1 / Г.В. Воронов. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1999 .- 68 с.

17. Воронов Г.В. Огнеупорные материалы: учебное пособие. В 2-х ч. Ч.2 / Г.В. Воронов. - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1999 .- 62 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
<i>Практическая работа № 1. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы, их применение, классификация</i>	<i>4</i>
<i>Практическая работа № 2. Свойства огнеупоров, расчет кажущейся плотности огнеупорного изделия.....</i>	<i>9</i>
<i>Практическая работа № 3. Определение коэффициента теплопроводности огнеупорных материалов.....</i>	<i>13</i>
<i>Практическая работа № 4. Виды огнеупоров, применяемых в промыш-ленных печах, расчет пористости огнеупорных материалов</i>	<i>17</i>
<i>Практическая работа № 5. Современные технологические процессы производства огнеупорных изделий, расчет плотности огнеупорных изделий</i>	<i>25</i>
<i>Практическая работа № 6. Термоизоляционные материалы и изделия</i>	<i>31</i>
Литература	37

ОГНЕУПОРЫ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Практикум
для студентов специальности
1-42 01 01 «Металлургическое производство
и материалобработка (по направлениям)»
специализации 1-42 01 01-01 02 «ЭлектрOMETаллургия
черных и цветных металлов»
дневной формы обучения**

**Составители: Одарченко Игорь Борисович
Прусенко Иван Николаевич**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 15.04.24.

Рег. № 101Е.
<http://www.gstu.by>