

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИШНПТ

\_\_\_\_\_ А.Н. Яковлев

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ**

Методические указания

к лабораторным занятиям и самостоятельной работе по дисциплине «Состояние и перспективы использования минеральной сырьевой базы» магистрантов направления 18.04.01 «Химическая технология»

УДК 666.3/7.001.24 (031)

Использование золошлаковых отходов в технологии строительной керамики.

Методические указания к лабораторным занятиям и самостоятельной работе по дисциплине «Состояние и перспективы использования минеральной сырьевой базы» магистрантов направления 18.04.01 «Химическая технология».

Составители: д.т.н., профессор Вакалова Т.В.

Рецензент: д.т.н., профессор Хабас Т.А.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром НОЦ Н.М. Кижнера

протокол № 5 от 04.09.2019 г.

Руководитель НОЦ Н.М. Кижнера

д.х.н., профессор

Краснокутская Е.А.

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по дисциплине «Состояние и перспективы использования минеральной сырьевой базы» является обязательной составной частью учебного процесса подготовки магистрантов направления 18.04.01 «Химическая технология».

Основной целью методических указаний по выполнению лабораторного практикума и самостоятельной работы студента является закрепление знаний по основным теоретическим положениям лекционного курса и получение практических навыков исследования природного и техногенного сырья, оценки его пригодности для технологии керамических материалов, и исследования физико-механических свойств глин с применением стандартизованных и современных методов испытаний.

Методические указания к лабораторному практикуму и самостоятельной работе по дисциплине «Состояние и перспективы использования минеральной сырьевой базы» содержат теоретические положения по тематике лабораторных работ, методики выполнения работ, перечень вопросов для коллоквиума, правила оформления и защиты отчета.

Отчеты по лабораторным работам составляются каждым студентом индивидуально в последовательности, приведенной в данных методических указаниях с обязательным представлением и обсуждением результатов выполнения лабораторной работы в обработанном виде (таблицы, графики, рисунки, схемы и т.д.) и выводов. Затем отчеты по каждой лабораторной работе брошюруются в общий отчет в соответствии с перечнем лабораторных работ.

### *Общий отчет включает:*

- Титульный лист (форма ТПУ).
- Содержание.
- Описание лабораторных работ с кратким изложением теоретических положений и результатами экспериментальных данных.
- Общие выводы и заключение по теме.
- Список используемой литературы.

## **Лабораторная работа 1**

### **Приготовление пластичного теста из смеси глины с золой и формование образцов для керамических испытаний**

Для получения изделий хорошего качества необходимо тщательно готовить пластическую массу, дать ей вылежаться в течение некоторого времени для глубокого протекания процессов образования на поверхности глиняных частиц гидратных оболочек.

Количество воды, необходимое для придания рабочей консистенции пластичному тесту из композиций глинистого сырья с добавками, называется **водой затворения**.

### **Цель работы:**

Изготовление образцов из пластичного теста на основе смесей глины с зольными добавками для дальнейшего изучения поведения исследуемых смесей глины и золы в сушке и обжиге.

### **Приборы и материалы:**

1. Глина.
2. Зола
3. Таз.
4. Эксикатор.
5. Цилиндр мерный.
5. Весы технические.
6. Шкаф сушильный
7. Тряпки.
8. Набор форм.
9. Ножи.

### **Порядок выполнения работы**

Воздушно-сухую смесь глины с золой около 1 - 2 кг уложить ровным слоем в таз и замочить водой. Количество воды для замачивания определяется предварительной пробой: к 100 г смеси постепенно добавляется водопроводная вода, глина постоянно перемешивается, вода отливается из мерного цилиндра. Добиваются получения теста нормальной рабочей влажности, которая определяется по тому, что оно легко формуется и при раскатывании руками не прилипает к плите и пальцам.

Подготовленную пробу смеси заливают необходимым количеством воды в 2 – 3 приема с промежутком в 20 – 30 минут. Чтобы вода лучше смачивала сухой порошок смеси, в нем надо делать лунки. Смесь перемешивается через 10 – 14 часов вручную до уничтожения комков и получения однородной массы, после чего выкладывается на плиту, проминается руками от центра кома к краям для удаления воздушных прослоек. Ком теста перебивается на плите. При необходимости подсыпается сухая смесь. Хорошо проработанное тесто однородно по цвету, не имеет пузырьков и прослоек.

Тесто оформляют в виде бруска, заворачивают во влажную ткань и укладывают в эксикатор для вылеживания. Из теста с нормальной рабочей влажностью в нескольких местах вырезаются кусочки по 15 – 20 г, высушиваются до постоянной массы и определяется их влажность, которая называется водой затворения. Относительная влажность показывает содержание воды в глине нормальной рабочей консистенции, а абсолютная влажность показывает, сколько см<sup>3</sup> воды надо добавить к 100 г сухой смеси, чтобы получить тесто рабочего состояния.

Результаты определений сводят в таблицу 1.

По работе делается вывод о содержании влаги в тесте рабочей консистенции.

Далее из приготовленного и вылежавшегося теста рабочей влажности набивкой вручную в специальные формы формируются глиняные образцы:

Таблица 1 – Определение формовочной влажности глинистого сырья в состоянии теста пластической консистенции

| Масса, г |            |               |       | Влажность, % |               |
|----------|------------|---------------|-------|--------------|---------------|
| бюкса    |            | навески глины |       | абсолютная   | относительная |
| пустого  | с навеской |               | сырой |              |               |
|          | сырой      | сухой         |       |              |               |
|          |            |               |       |              |               |

- плитки 50 x50 x10 мм – 15 –18 штук – для изучения воздушной и огневой усадки и исследования спекаемости зологлиняных композиций;

- кубики размером 25 x 25 x 25 мм – 15 –18 штук – для изучения изменения предела прочности при сжатии в зависимости от температуры обжига;

Все изделия маркируются, укладываются на стеклянную пластинку, покрываются влажной тканью и высушиваются в комнатных условиях.

## ТЕМА 1

### **Определение сушильных свойств образцов пластичного формирования из глиносодержащих смесей**

В процессе сушки изделия из смесей глин с различными добавками дают усадку. Механизм этого явления - сжатие частичек капиллярными силами. Влага, заполняя поры образца из глиняного теста, образует на границе «изделие - воздух» вогнутые мениски. По мере испарения влаги поверхностное натяжение в капиллярах увеличивается и сжимает изделие. Усадка изделия происходит до определенного предела - пока частицы не придут во взаимное соприкосновение, которое сопровождается трением между ними. Когда трение достигает такой величины, которая превосходит силы поверхностного натяжения влаги, дальнейшее уменьшение размеров изделия прекращается, хотя в глине удерживается определенное количества воды (вода пор), условно соответствующее критической влажности материалов. После этого испарение влаги продолжается за счет отступления менисков по капиллярам в глубь материала.

Исследование сушильных свойств глины включает методы определения *чувствительности глины к сушке* и воздушной усадки образцов.

Поведение глиносодержащих масс в сушке зависит от природы глины, ее минералогического состава, дисперсности, пластичности, значения усадки в сушке, размера и доли пор и ряда других факторов, а также особенностей тепло- и массообмена, размера и формы заготовки.

## Лабораторная работа 2

### ***Определение воздушной усадки увлажненных глиносодержащих смесей***

При сушке керамических изделий, содержащих технологическую связку, происходит, как правило, уменьшение их объема, особенно значительное для

содержащего глину полуфабриката, полученного пластическим формованием или шликерным литьем. Уменьшение объема изделий при сушке *называют воздушной усадкой*.

Изменение размеров керамических изделий при их высушивании происходит в результате сближения частиц под действием сил капиллярного и осмотического давления, а также межмолекулярного притяжения, развивающихся по мере испарения расположенных между ними водных прослоек. Важную роль в усадке играет в ряде случаев уменьшение собственного объема частиц глинистых минералов, содержащих межплоскостную воду.

Значительная усадка полуфабриката в сушке является одной из причин их растрескивания и коробления, происходящих в результате действия внутренних напряжений, превышающих силы связности керамической массы.

Воздушную линейную усадку определяют по изменениям линейных размеров образцов при сушке.

***Величина воздушной усадки*** прямо пропорциональна пластичности глин, и косвенно по ее значениям можно судить о сушильных свойствах глинистого сырья. Чем больше величина усадки, тем чувствительнее глина к сушке.

Для глинистых материалов значение воздушной усадки обычно равно 6 – 10 %. Отопление глин песком, шамотом и т.д. понижает воздушную усадку. Усадочные явления в глинах зависят от их состава и свойств: монтмориллонитовые глины, например, имеют большую усадку, чем каолинитовые.

Высоко- и среднепластичные глины имеют линейную усадку более 10%, умереннопластичные - от 6 до 10 %, мало- и непластичные - менее 6 %.

Условия сушки также могут оказывать влияние на величину усадки. Так, при медленной сушке в естественных условиях изменение размеров образцов будет больше, чем при искусственной сушке со сравнительно быстрым подъемом температуры.

### **Цель работы:**

Исследование поведения образцов на основе смесей глинистого сырья с золосодержащими добавками в сушке.

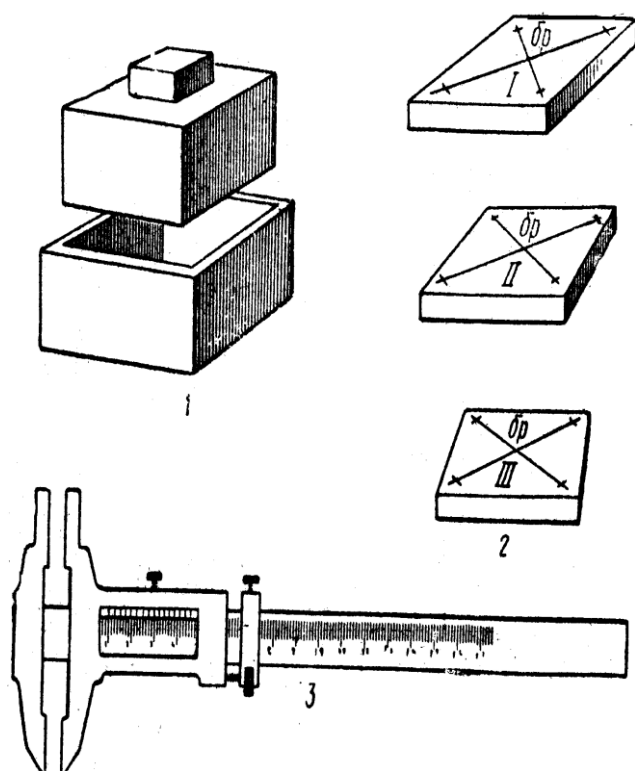
### **Приборы и материалы:**

1. Высушенные образцы – плитки,
2. Штангенциркуль.

### **Порядок выполнения работы:**

Из пласта пластичной массы в нормальном рабочем состоянии, раскатанного металлической или деревянной скалкой до толщины 8 мм, вырезают металлической формочкой, смазанной минеральным маслом, плитки размером 50 x 50 x 10 мм. Можно изготавливать образцы в виде прямоугольной призмы размером 60 x 30 x 10 мм. Образцы незамедлительно раскладывают на покрытом тонкой бумагой листе из стекла, пластмассы или на другой ровной поверхности. На свежесформованные плитки наносят лабораторный порядковый номер и острыми концами штангенциркуля ставят метки (расстояние между мет-

ками должно составлять 50 мм), располагаемые по диагоналям, как показано на рисунке 1.



**Рисунок 1 - Аппаратура, используемая для определения усадки на образцах – плитках: 1- форма с выталкивателем; 2 – образцы размером 50x50x5 мм; 3 - штангенциркуль**

Глубина вдавливания концов штангенциркуля 2 - 3 мм. После этого образцы подсушивают под стеклянным колпаком в течение 3 - 4 часа, а затем на воздухе в течение 24 часа. По мере высыхания плитки периодически осторожно переворачивают, не допуская их деформации. После высушивания образцов на воздухе их досушивают в сушильном шкафу при температуре 105—110°C не менее I часа. На высушенных образцах измеряют штангенциркулем расстояние между каждой парой меток. Штангенциркуль должен обеспечивать замер расстояния с погрешностью не более 0,05 мм.

Вычисление линей-

ной усадки (%) производят по формуле:

$$l_B = \frac{d_1 - d_2}{d_1} 100 \quad (1)$$

где  $d_1$  - расстояние между метками на отформованных образцах, мм;

$d_2$  - расстояние между метками на образцах после сушки, мм.

Образцы из высокопластичных чувствительных к сушке глин могут деформироваться в процессе сушки, усадка в разных направлениях образца может оказаться неодинаковой. Поэтому при подсчете средней величины воздушной усадки результаты измерений сильно деформированных образцов следует отбрасывать. За истинный показатель воздушной усадки принимают среднее арифметическое не менее 10 параллельных испытаний. Допустимое расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 0,3 %. Окончательное значение величины усадки обычно округляют до 0,1 %.

## ТЕМА 2

### Спекаемость керамических масс

Обжиг керамических материалов является заключительной и решающей технологической стадией, определяющей весь комплекс физико-механических и химических свойств керамики, а также получение изделий определенных заданных размеров и форм. В зависимости от состава керамической массы, метода ее подготовки, способа формования полуфабриката и некоторых других факторов, керамическое изделие обжигают по различным режимам.

**Режим обжига** включает в себя скорость повышения температуры в разные периоды, максимальную температуру обжига и время выдержки при этой температуре, скорость снижения температуры при охлаждении и характер газовой среды в печи.

Самый важный процесс при обжиге - **спекание** материала, в результате которого изделия обычно уплотняются и упрочняются. Чаще всего процесс спекания оценивают по изменению плотности обжигаемого материала: спекшимися считают материалы, достигшие в процессе обжига определенного минимального водопоглощения (открытой пористости). Значение допускаемого водопоглощения для спекшихся материалов зависит от назначения и характера требований, предъявляемых к соответствующим изделиям. Так, материалы некоторых видов технической керамики считают спекшимися при водопоглощении не более 0,02 - 0,03 %, а огнеупоры и ряд изделий строительной керамики - при водопоглощении 1 % и более.

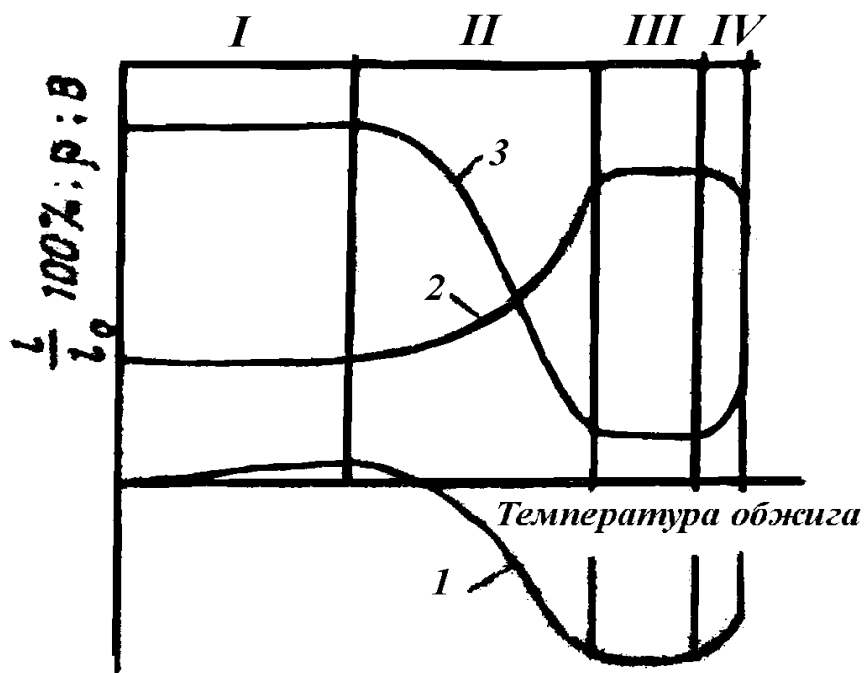
#### **А) Установление температуры и интервала спекания**

При обжиге образцов из глиносодержащих масс характерными внешними признаками обычно являются: резкое изменение цвета образцов (для глин, содержащих значительное количество красящих примесей); образование на поверхности плотной корки; появление некоторого блеска, который является начальным признаком остекловывания.

Увеличение плотности обжигаемого материала тесно связано с объемными изменениями в образце, а именно, с уменьшением его линейных размеров. Поэтому кривые усадки керамики (т.е. зависимости линейной усадки при обжиге от температуры) должны быть адекватны кривым изменения водопоглощения и кажущейся плотности в зависимости от температуры обжига керамики.

На рисунке 2 показан характерный вид зависимости линейной усадки, кажущейся плотности и водопоглощения керамических материалов от температуры обжига.





**Рисунок 2 - Изменение линейных размеров ( $\Delta L/L_0$ ) 100% (1), кажущейся плотности  $\rho$  (2) и водопоглощения  $B$  (3) в процессе обжига**

**Кривые спекания** можно разбить на четыре температурные участка.

На I участке происходит термическое расширение образца.

II температурный участок соответствует **процессу спекания** - происходит усадка материала, плотность его повышается, а пористость (водопоглощение) снижается; с ростом температуры интенсивность спекания вначале увеличивается, а затем уменьшается.

III участок называют **интервалом спекшегося состояния**. Он соответствует максимальным значениям усадки и плотности спеченного образца.

При дальнейшем повышении температуры происходит вспучивание материала (IV участок), плотность его уменьшается за счет увеличения объема пор. Это явление носит название **пережог**. Довольно часто в этот момент наблюдается деформация изделий, появление на поверхности пузырей, оплавление углов и т.д.

Таким образом, интервалу спекшегося состояния соответствует разность между температурами начала пережога и полного спекания. Разность температур от начала спекания (усадки) до начала вспучивания считают **интервалом спекания**.

Испытания глинистых и керамических масс для определения интервалов спекания и спекшегося состояния позволяют установить оптимальную температуру обжига.

По интервалу спекшегося состояния оценивают различные глины с точки зрения пригодности их для производства того или иного вида керамических изделий, подбирают необходимый тип печи для обжига. Так, изделия из глин с

малым интервалом спекшегося состояния следует обжигать в печах с равномерным распределением температуры по объему рабочей камеры, иначе одни изделия легко пережечь, в то время как другие будут недожжены.

Спекание глинистых материалов может происходить при различных температурах. В зависимости от этого глины классифицируют по ГОСТ 9169-75 на три группы: низкотемпературного - с температурой спекания до 1100°C, среднетемпературного - от 1100 до 1300°C и высокотемпературного спекания - свыше 1300°C.

**Спекающимися глинами** являются такие, которые дают не менее чем в двух температурных точках с интервалом 50°C черепок с водопоглощением не более 5%. Если глины при спекании дают черепок с водопоглощением менее 1% и кажущейся плотностью ниже 2,2 г/см<sup>3</sup> не менее чем в двух температурных точках с интервалом 50°C, то такие глины называют полностью спекающимися.

По степени спекания глины также подразделяют на три группы (ГОСТ 9169-75): сильноспекающиеся, среднеспекающиеся и неспекающиеся.

**Сильноспекающиеся** глины уплотняются при обжиге без признаков пережога до состояния, соответствующего водопоглощению не более 2 %, причем интервал спекшегося состояния таких глин не менее 50°C.

Водопоглощение образцов из **среднеспекающихся** глин в интервале температур не менее 50°C составляет 2 - 5 %.

Температуру, при которой водопоглощение достигает величины ниже 5% для красножгущихся глин и ниже 2% для беложгущихся, принимают за температуру спекания. Температуру, при которой водопоглощение и линейные размеры образцов начинают возрастать, принимают за температуру пережога.

**Неспекающиеся** глины, обожженные при нескольких значениях повышающихся температур с интервалом 50°C, не дают черепок с водопоглощением ниже 5% в двух температурных точках без признаков пережога.

Температурный интервал спекания обуславливается, в первую очередь, химическим и минеральным составом глин. Так, оксид алюминия увеличивает температуру начала и интервал спекания, а оксид кальция, напротив, резко снижает эти показатели. Оксиды щелочных металлов уменьшают температуру начала спекания и способствуют расширению интервала спекшегося состояния.

Каолинитовые глины, как правило, имеют более широкий интервал спекания и спекшегося состояния, чем монтмориллонитовые.

Запесоченность глин довольно резко снижает их интервал спекания. Интервал спекания легкоплавких глин 50 – 100°C, огнеупорных – до 400°C.

### **Лабораторная работа 3**

#### **Обжиг изделий для определения спекаемости образцов из золотлиняных композиций (по ГОСТ 21216.9-81)**

##### **Цель работы:**

Исследование процесса поведения глинистого сырья с добавками золы в обжиге.

### **Приборы и материалы:**

1. Высушенные изделия в виде кубиков и плиток.
2. Печь для обжига изделий

### **Порядок выполнения работы:**

Испытуемые образцы (кубики и плиточки), высушенные до содержания остаточной влажности порядка 3 – 5 % обжигают при температурах 900, 950, 1000, 1050°С и т. д. до тех пор, пока после обжига на изделиях не будут обнаружены признаки пережога (деформация образцов, вспучивание, сильное остеклование и т. д.).

При каждой температуре обжигают не менее трех образцов. Образцы, которые уже были обожжены при какой-то другой температуре, обжигать нельзя. Образцы, как правило, обжигают в силитовых печах.

В процессе обжига температуру повышают со скоростью 2 градуса в мин и при конечной температуре выдерживают их в течение 30 мин. Охлаждение естественное, продолжительностью не менее 10 часов.

После обжига каждый образец следует тщательно осмотреть, отмечая при этом местонахождение образцов в печи; цвет и равномерность его распределения по черепку; трещины; изменение формы вследствие различной усадки, что может происходить из-за неравномерного распределения температуры в печи; деформацию или оплавление образцов, связанные с пережогом.

Особенно следует уделять внимание описанию внешнего вида испытуемых образцов, так как это позволяет судить о целом ряде свойств используемого сырья и его пригодности для различных отраслей керамической промышленности. Так, например, для *фарфоро-фаянсовой* промышленности требуются глины, черепок которых получается белого или очень близкого к белому цвету без мушек. Для производства *лицевого кирпича, плиток для полов и гончарного товара* черепок после обжига должен иметь равномерную, приятную для глаза окраску. Для *огнеупорных изделий* окраска черепка не существенна, изделия могут иметь неравномерную окраску и мушки, а в некоторых случаях даже небольшие выплавки.

Деформация (а также появление трещин при спекании) обычно связана с большим значением усадки; она является одним из признаков, свидетельствующих о целесообразности отощения глины.

## **Лабораторная работа 4**

### **Контроль степени спекания образцов из керамических масс**

Контроль процесса спекания глин и керамических масс осуществляется по изменению плотности (пористости) и механической прочности изделия.

#### **А) Определение кажущейся плотности, открытой пористости и водопоглощения обожженных изделий**

При известной массе тела *определение кажущейся плотности* сводится к измерению его объема, включая объем всех его пор.

Для определения объема существуют различные методы и приборы (волюмометры), принцип работы которых основан: а) на вытеснении испытуемым образцом несмачивающей жидкости; б) на гидростатическом взвешивании образца, предварительно насыщенного жидкостью, не взаимодействующей с испытуемым материалом и обладающей хорошей смачивающей способностью.

В России наибольшее распространение получили методы насыщения и гидростатического взвешивания, позволяющие одновременно определять кажущуюся плотность, открытую пористость и водопоглощение (ГОСТ 2409-84 на огнеупорные материалы).

В качестве пропитывающей жидкости для обожженных материалов и изделий, не подвергающихся гидратации, обычно используют воду. Необоженные образцы и материалы, взаимодействующие с водой, чаще пропитывают керосином.

#### Приборы и материалы:

1. Обожженные образцы.
2. Технические весы.
3. Приспособление для гидростатического взвешивания.
4. Вакуумная установка для насыщения образцов жидкостью.
5. Электрическая плитка.
6. Сушильный шкаф.
7. Сосуд для кипячения образцов с решетчатой подставкой.
8. Эксикатор.
9. Для насыщения водопроводная питьевая вода либо керосин.
10. Штангенциркуль.
11. Пресс гидравлический.
12. Съёмные опоры для испытания на изгиб.

#### Порядок выполнения работы:

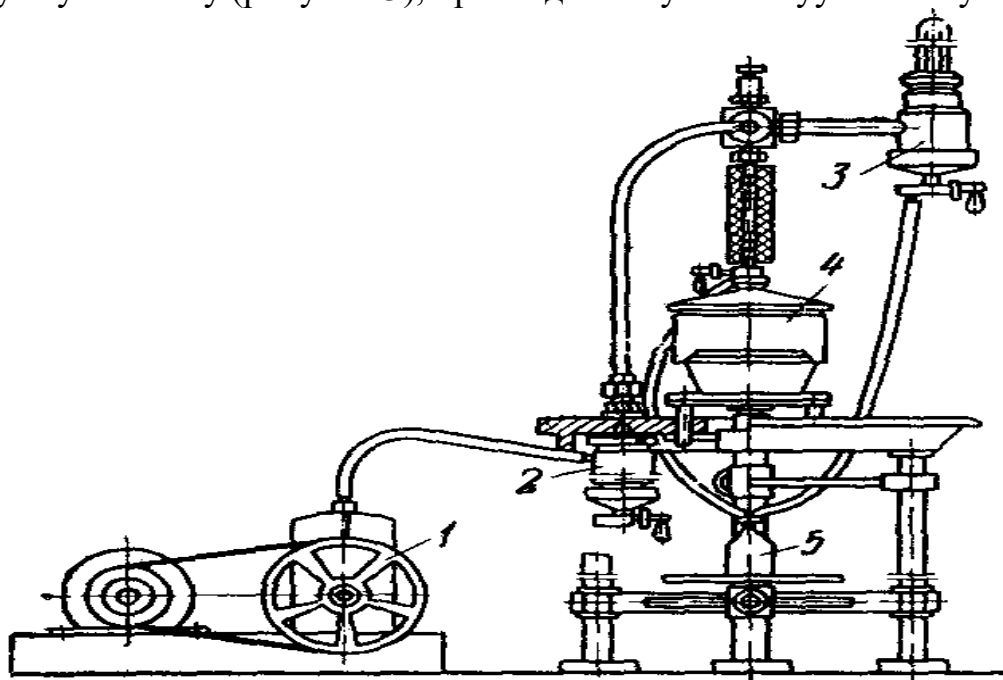
В соответствие с ГОСТ 2409-95 используют образцы объемом 50 - 200 см<sup>3</sup>, вырезанные или отколотые от изделий с частичным сохранением наружной корочки. В лабораторной практике допустимо использование специально изготовленных образцов строгой геометрической формы (кубической или цилиндрической), или отколотых кусков меньшего размера.

Образцы или куски материала обдувают сжатым воздухом либо очищают жесткой волосяной щеткой от пыли, высушивают в шкафу до постоянной массы и хранят в эксикаторе. Кусковые образцы не должны содержать трещин и острых углов.

Подготовленные образцы в количестве не менее трех взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г. Для насыщения пор образцов жидкостью применяют кипячение либо метод вакуумирования. Оба метода дают примерно одинаковые результаты, однако вакуумирование требует меньше времени и поэтому предпочтительно.

Для насыщения кипячением сухие взвешенные образцы помещают на подставке с отверстиями в сосуд, который постепенно заливают водопроводной водой с таким расчетом, чтобы уровень воды на 2 - 3 см перекрывал поверхность образцов. Образцы кипятят в течение 2 - 3 часов. Испарившуюся часть воды необходимо возмещать, так как кипячение образцов, не полностью погруженных в воду, приводит к существенным ошибкам. После кипячения образцы охлаждают в воде до комнатной температуры.

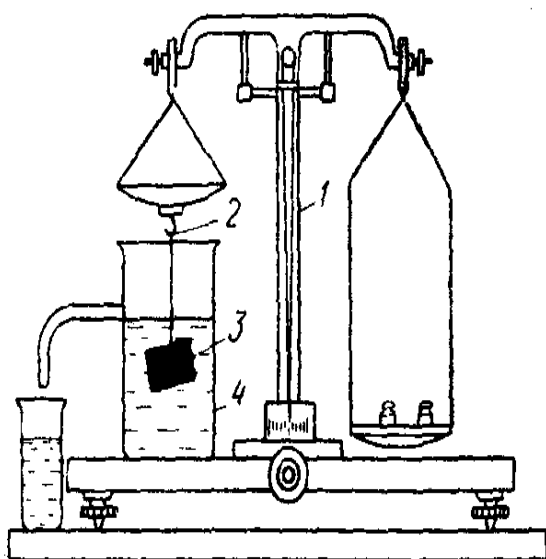
Для насыщения вакуумированием сухие взвешенные образцы помещают в вакуумную ячейку (рисунок 3), присоединенную к вакуум-насосу.



**Рисунок 3- Устройство для насыщения пор образцов жидкостью: 1 - масляный вакуум-насос; 2 - сосуд-ловушка; 3 - вакуумметр; 4 - вакуумная ячейка для образцов; 5 - сосуд для воды или керосина**

После откачки воздуха (остаточное давление 15 - 20 мм рт. ст.) ячейку соединяют с сосудом, содержащим воду или керосин. Под действием разрежения жидкость поступает в сосуд, насыщая поры образцов. Когда образцы покроются слоем жидкости, ее прекращают подавать, отключают вакуум-насос и ячейку соединяют с атмосферой.

Образцы, насыщенные жидкостью, на воздухе и в погруженном состоянии, взвешивают на гидростатических весах (рисунок 4).



*Рисунок 4 - Гидростатические весы для определения водопоглощения, кажущейся плотности и открытой пористости: 1 - весы; 2 - подвеска; 3 - испытуемый образец;*

При взвешивании в погруженном состоянии образец помещают на легкую сетчатую подставку или подвешивают проволоочной петлей. Перед взвешиванием образца уравнивают чашки с подвесным устройством. Для взвешивания на воздухе образца, насыщенного жидкостью, предварительно влажным отжатым полотенцем удаляют с его поверхности избыток жидкости. После каждых 10 - 15 таких операций ткань повторно отжимают. Взвешенные образцы снова помещают в жидкость и хранят в ней до завершения всех расчетов.

При использовании для насыщения образцов керосина необходимо предварительно определить его плотность с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup>.

При определении пористости и плотности малых спекшихся образцов для повышения точности результатов образцы рекомендуют взвешивания проводить на аналитических весах.

Величину водопоглощения и открытой пористости подсчитывают с точностью до 0,1 %, величину кажущейся плотности - с точностью до 0,001 г/см<sup>3</sup>.

Водопоглощение  $V$ , открытую пористость  $\Pi_0$  и кажущуюся плотность  $\rho$  подсчитывают по следующим формулам:

$$V = \frac{m_1 - m}{m} \cdot 100 ; \quad \Pi_0 = \frac{m_1 - m}{m_1 - m_2} \cdot 100 ; \quad \rho = \frac{m \gamma_{ж}}{m_1 - m_2} . \quad (2)$$

где:  $m$  - масса сухого образца при взвешивании на воздухе, г;

$m_1$  и  $m_2$  - масса образца, насыщенного жидкостью, при взвешивании, соответственно на воздухе и в жидкости, г;

$\gamma_{ж}$  - плотность использованной жидкости, г/см<sup>3</sup>.

Результаты определений сводят в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение водопоглощения, открытой пористости и кажущейся плотности обожженных образцов из зологлиняной смеси

| Номер образца          | Масса образца, г |                       |                         | Водопоглощение, % | Плотность кажущаяся, г/см <sup>3</sup> | Пористость, открытая, % |
|------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------|--|-------------------------|
|                        | сухого           | насыщенного жидкостью | погруженного в жидкость |                   |  |                         |
| при температуре обжига |                  |                       |                         |                   |  |                         |
| 1                      | 2                | 3                     | 4                       | 5                 | 6                                      | 7                       |

### **Б) Определение механических свойств обожженных образцов из зологлиняной смеси**

Определение прочности образцов заключается в фиксировании максимального напряжения, которое они способны вынести без разрушения.

**Прочность при сжатии** – это максимальное сжимающее напряжение, которое выдерживает образец до разрушения. Используются образцы-кубики, обожженные при разных температурах. Для определения площади образцы измеряются штангенциркулем.

**Прочность при изгибе** – это величина разрушающего изгибающего момента, который при установлении предельного напряжения относят к моменту сопротивления образца. В качестве образцов используются пластинки размером 13,5х5,0х1,0 см, обожженные при разных температурах.

#### **Порядок выполнения работы:**

##### ***а) определение предела прочности при сжатии:***

Образцы для этого вида испытаний должны иметь форму цилиндров или кубов, причем диаметр цилиндра примерно равен его высоте. Плоскости образцов, которые должны прилегать к плитам испытательной машины (пресса), должны быть плоскопараллельны и отшлифованы.

Размеры обожженных при разных температурах обжига образцов-кубиков измеряются штангенциркулем в верхней и нижней частях образца в направлении, параллельном помеченным плоскостям.

При установке образца на плиту пресса необходимо учитывать возможные перекосы образца, поэтому испытания проводят на полусферической опоре. Иногда на образец снизу и сверху укладывают прокладки из легко деформируемого материала (картона, резины, алюминия, меди и т.д.), которые устраняют действие перекосов, неровностей и других дефектов поверхности образца. Для проведения испытаний отбирают образцы без видимых дефектов, измеряют, как указано выше, и измеряют их среднее сечение по формуле:

$$S_{cp} = \frac{S_B + S_H}{2}, \quad (4)$$

где  $S_B$  и  $S_H$  – площади соответственно верхнего и нижнего сечений.

При испытании образец устанавливается в центре нижней плиты пресса и прижимается верхней плитой пресса, которая должна плотно прилегать ко всей верхней грани образца. При подаче нагрузки необходимо соблюдать постоянную скорость нагружения вплоть до разрушения образца в момент которого по манометру пресса фиксируют разрушающее (максимальное) напряжение.

Разрушающее напряжение (МПа) при сжатии определяют по формуле:

$$\sigma_{сж.} = \frac{P \cdot S}{a \cdot b} \cdot 0,1, \text{ МПа} \quad (3)$$

где  $P$  - показание манометра, кгс/см<sup>2</sup>;

$S$  - площадь поршня, см<sup>2</sup>;

$a \cdot b$  - площадь образца, см<sup>2</sup>.

Результаты определений сводят в таблицу 3

Таблица 3 – Определение механической прочности обожженных изделий

| номер образца | Размеры образца, м |     | Площадь сечения, см <sup>2</sup> | Показания манометра, кгс/см <sup>2</sup> | Предел прочности, $\sigma_{сж.}$ , МПа |
|---------------|--------------------|-----|----------------------------------|--|--|
|               | верх               | низ |                                  |  |  |
| 1             | 2                  | 3   | 4                                | 5  | 6                                      |

### ***б) определение предела прочности при изгибе***

***Предел прочности при изгибе*** – это максимальное изгибающее напряжение, которое выдерживает образец до разрушения.

Изгибающее действие намного сложнее, чем сжимающее или растягивающее, поскольку в пределах сечения образца действуют и растягивающие (в нижних слоях), и сжимающие (в верхних слоях) напряжения.

Наибольшее распространение получили испытания образцов прямоугольного сечения при использовании трехточечного и четырехточечного изгибов. Данные, полученные при трехточечном изгибе, всегда выше примерно на 25 %, чем при четырехточечном изгибе. Это связано с тем, что максимальное усилие при трехточечном изгибе действует на образец в одном сечении, а при четырехточечном изгибе – в двух, поэтому в последнем случае вероятность попадания дефекта в промежутки между сечениями максимальных напряжений намного больше.

Перед испытаниями отбирают прямые образцы без видимых дефектов, отношение длины к большему размеру сечения должно быть больше 7.

Нагрузку образцов производят до полного разрушения, фиксируя разрушающее усилие, необходимое для расчета предела прочности при изгибе по формуле (для прямоугольного образца-балочки):

для трехточечного изгиба

$$\sigma_{изг.} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \cdot 0,1, \text{ МПа} \quad (5)$$



для четырехточечного изгиба:

$$\sigma_{изг.} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{b \cdot h^2} \cdot 0,1, \text{ МПа} \quad (6)$$

где  $P$  - показание манометра, кгс/см<sup>2</sup>;

$S$  - площадь поршня, см<sup>2</sup>;

$l$  - расстояние между опорами, см;

$h$  - высота образца, см.

$b$  - ширина прямоугольного образца, см.

Результаты определений сводят в таблицу 4.

Таблица 4 – Определение механической прочности при изгибе обожженных изделий

| номер образца | Размеры образца, м |                  | Расстояние между опорами $l$ , см | Показания манометра, кгс/см <sup>2</sup> | Предел прочности, $\sigma_{изг.}$ , МПа |
|---------------|--------------------|------------------|-----------------------------------|--|---|
|               | высота, $h$ , см   | ширина, $b$ , см |                                   |  |   |
| 1             | 2                  | 3                | 4                                 | 5  | 6                                       |

При оценке прочности керамических материалов рекомендуется испытывать не менее 6 – 8 образцов.

**По результатам выполнения ВСЕХ лабораторных работ делается ОБЩИЙ вывод о влиянии качественного и количественного содержания добавок золашлаковых компонентов в смеси с глинистой породой на изменение физико-механических свойств керамических образцов в зависимости от температуры их обжига.**

## РЕКОМЕНДУЕМЫЙ СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Августиник А.И. Керамика. - Л.: Стройиздат, 1975. – 590 с.
2. Практикум по технологии керамики и огнеупоров /Под ред. Д.Н. Полубояринова и Р.Я. Попильского. – М.: Стройиздат, 1972. – 352 с.
3. Кашеев И.Д., Стрелов К.К. Испытание и контроль огнеупоров: Учебное пособие. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003. – 286 с.
4. Лукин Е.С., Андрианов Н.Т. Технический анализ и контроль производства керамики. – М.: Стройиздат, 1986. – 272 с.
5. Практикум по технологии керамики: Учебное пособие для вузов /Под ред. И.Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ «Стройматериалы, 2005. – 336 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ОТ СГОРАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ СИЛИКАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

## Методические указания

к лабораторным занятиям и самостоятельной работе по дисциплине «Состояние и перспективы использования минеральной сырьевой базы» магистрантов направления 18.04.01 «Химическая технология»

Составители: профессор НОЦ Н.М. Кижнера, д.т.н.  
Вакалова Татьяна Викторовна