

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНА И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум

Часть 1

для студентов строительных специальностей

Брест 2013

УДК 620.1.001.53

ББК 30.3 я 73

Ш 18

Рецензент:

Начальник технологического бюро филиала «Завод ЖБК» ОАО «Строительный трест № 8» **Петропаловский М.А.**

Шалобыта Т.П., Марчук В.А.

Ш 18 Строительное материаловедение. Лабораторный практикум. Часть 1. – Брест: Изд-во БрГТУ. – 2013. – 68 с.

Лабораторный практикум содержит общие сведения об основных строительных материалах, применяемых в современном строительстве, и описание методов определения их качества в соответствии с действующими стандартами. Дано краткое описание лабораторных приборов, оборудования и измерительных инструментов, понятие о метрологии и некоторых простых методах испытаний материалов в полевых условиях.

Практикум предназначен для студентов строительных специальностей высших учебных заведений. Издается в 2-х частях. Часть 1.

Таблиц 35, рисунков 27, библиографических названий 10.

УДК 620.1.001.53

ББК 30.3 я 73

Учреждение образования

© «Брестский государственный технический университет», 2013

ПРЕДИСЛОВИЕ

Инженеры строительных специальностей должны иметь хорошую материаловедческую подготовку. Знание свойств материалов, рациональное применение их в строительстве позволит грамотно и качественно проектировать, строить и эксплуатировать здания и сооружения различного назначения, обеспечить их долговечность и надежность.

Для достижения высокого уровня знаний учебной программой курса «Строительное материаловедение» предусмотрено выполнение лабораторных работ, на которых студенты учатся работать с техническими нормативными правовыми актами, проводят испытания основных строительных материалов с целью определения их важнейших характеристик и оценки качества. К выполнению лабораторных работ студенты должны приступать только после изучения соответствующих вопросов по учебнику, лекционному материалу и методической литературе. При работе в лаборатории учащиеся обязаны выполнять требования техники безопасности и работать с оборудованием в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

Общие положения оценки качества строительных материалов

Качество строительных материалов – это нормируемая группа свойств и характеристик, совокупно определяющая их пригодность для строительства и эксплуатации инженерного сооружения.

Свойство – это качественная, отличительная характеристика вещества, материала или изделия, которая проявляется во взаимодействии с окружающей средой и оценивает пригодность работы в конкретных условиях.

Контроль качества строительных материалов осуществляют путем проведения испытаний по стандартным методикам, изложенным в технических нормативных правовых актах (ТНПА) – ГОСТ, СТБ, ТУ и др. Выполнение требований методик строго обязательно.

Измерительная техника

Для испытания строительных материалов используются различные технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства. Средства измерений делят на меры и измерительные приборы.

Мера – средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины данного размера.

Измерительный прибор – средство измерения, предназначенное для измерения, анализа и представления информации в определенном виде.

Основные метрологические показатели приборов: цена деления шкалы, начальное и конечное значение шкалы, погрешности измерений.

Цена деления шкалы должна обеспечивать измерение заданной величины с заданной точностью, предел измерений по шкале прибора должен не менее, чем на 1/3 превышать значение измеряемой величины.

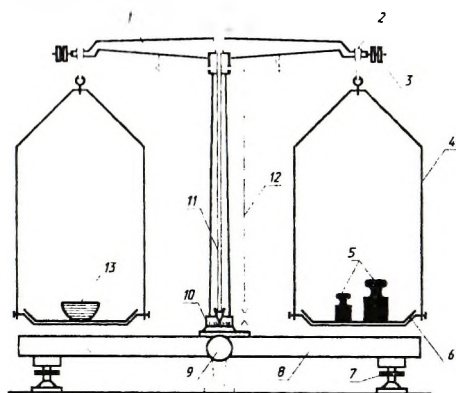
Погрешность измерения – отклонение результата измерений от истинного значения измеряемой величины. Различают погрешность абсолютную, выражаемую в единицах измеряемой величины, и относительную, представляющую собой отношение абсолютной погрешности к значению измеряемой

величины. Средства измерений выбирают так, чтобы их допускаяемая погрешность в заранее установленных условиях применения не превышала погрешности, установленной стандартом или техническими условиями на данный вид измерения материала.

Основные приборы и оборудование, применяемые для испытаний строительных материалов: технические коромысловые двухчашечные весы, электронные весы, испытательная машина для определения предела прочности при изгибе МИИ-100, гидравлический пресс, штангенциркули.

Технические коромысловые двухчашечные весы изображены на рисунке 1. На коромысле 1 на призмах подвешены обоймы 2, соединённые тягами 4 с чашками 6. Перед началом взвешивания проверяют весы и при необходимости их регулируют. До этого винтами 7 устанавливают отвес 12 строго перпендикулярно. Затем, открыв арретир 9, проверяют уравновешенность весов: стрелка ненагруженных весов должна указывать на нулевое деление шкалы 10 или отклоняться (колебаться) от него на равные расстояния. Если это условие не выполняется, то перемещением (вращением) грузов 3 стрелку 11 приводят в нулевое положение. В нерабочем состоянии коромысло весов всегда должно быть установлено на опоры поворотом рукоятки арретира 9.

Технические коромысловые весы выпускают двух классов: 1-го с погрешностью взвешивания 10, 50, 100 и 200 мг и 2-го с погрешностью взвешивания 50, 100 и 30 мг.



- 1 – коромысло; 2 – обойма;
- 3 – грузы; 4 – тяги; 5 – разновесы;
- 6 – чашки; 7 – винты; 8 – станина;
- 9 – арретир; 10 – шкала;
- 11 – стрелка; 12 – отвес;
- 13 – взвешиваемый материал

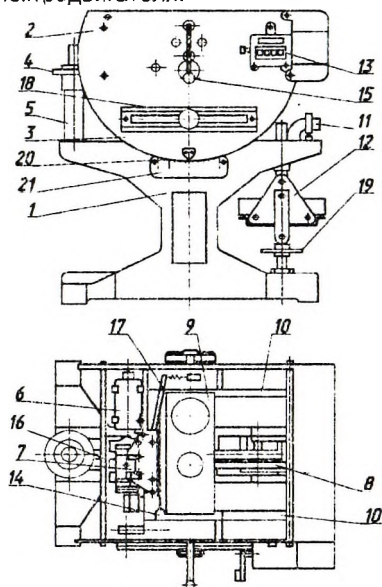
Рисунок 1 – Технические коромысловые двухчашечные весы

Электронные лабораторные весы, изображенные на рисунке 2, предназначены для статических измерений массы различных веществ и материалов. Для обеспечения воспроизводимости результатов взвешивания электронные весы должны стоять ровно и устойчиво. Чтобы компенсировать незначительные неровности или наклон рабочей поверхности, электронные весы можно выровнять. Выравниваются весы по встроенному уровню вращением двух задних ножек так, чтобы пузырек воздуха уровня попал точно в его центр. После включения весам надо дать прогреться и после появления индикация веса 0.00 г можно приступить к взвешиванию (в граммах).



Рисунок 2 – Электронные лабораторные весы

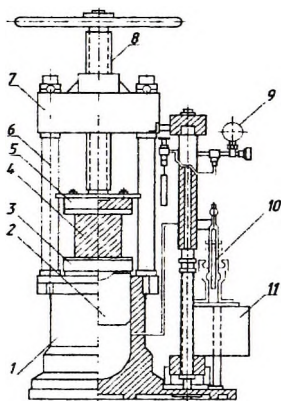
Испытательная машина для определения предела прочности при изгибе МИИ-100 изображена на рисунке 3. Машина МИИ-100 состоит из двух основных частей: станины 1 и коромысла 2. Усилие, создаваемое грузом 9, перемещающимся по направляющим 10 коромысла, передается посредством рычажной системы на захваты 12. Положение груза на коромысле, определяющее величину приложенной на образец нагрузки, фиксируется счетчиком 13, указывающим величину напряжения изгиба. Перемещение груза осуществляется электродвигателем через редуктор 7 и ходовой винт 8. При изгибе балочки сечением 40×40 мм на пролете 100 мм соотношение между усилием, действующим на захватах, и напряжением изгиба (показанием счетчика) следующее: P соответствует 4,267 σ . Постоянная скорость нагружения поддерживается центробежным регулятором 14, регулирующим скорость вращения электродвигателя.



- 1 – станина; 2 – коромысло; 3 – боковина;
- 4 – шайба; 5 – амортизатор;
- 6 – электродвигатель; 7 – редуктор;
- 8 – ходовой винт; 9 – груз;
- 10 – направляющие; 11 – рычаг;
- 12 – захват; 13 – счетчик;
- 14 – центробежный регулятор;
- 15 – рукоятка управления; 16 – шпилька;
- 17 – рычаг переключателя;
- 18 – регулировочный груз;
- 19 – винт захвата; 20 – стрелка;
- 21 – шкала

Рисунок 3 – Испытательная машина МИИ-100

Гидравлический пресс, применяемый для испытания образцов строительных материалов на сжатие, изображен на рисунке 4.

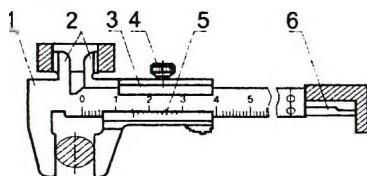


- 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – нижняя опорная плита; 4 – образец; 5 – верхняя опорная плита; 6 – колонны; 7 – траверса; 8 – упорный винт; 9 – манометр; 10 – насос; 11 – бачок для масла

Рисунок 4 – Гидравлический пресс

Штангенинструменты – инструменты для измерения и разметки, в которых повышена точность измерения достигается использованием специального приспособления – нониуса. Основной вид штангенциркуля (ГОСТ 166).

Штангенциркуль (рисунок 5) представляет собой штангу 1, на которую нанесена шкала с ценой деления 1 мм. С одной стороны штанга заканчивается неподвижной измерительной губкой 2. Вторая подвижная измерительная губка находится на рамке 3, скользящей по штанге. Рамка может быть закреплена в любом положении винтом 4. На рамке расположена шкала, называемая нониус 5. Штангенциркули могут быть снабжены глубиномером 6 (рисунок 5).



- 1 – штанга; 2 – губки; 3 – рамка; 4 – винт; 5 – нониус; 6 – глубиномер

Рисунок 5 – Штангенциркуль с глубиномером

Статистическая обработка результатов испытаний

При проведении испытаний строительных материалов требуется статистическая обработка полученных результатов, проверяется достоверность полученных данных, оценивается точность измерения. Чаще всего определяют следующие показатели:

- среднее арифметическое значение рассматриваемых случайных величин:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

где x_i – результаты, полученные при испытании образцов,

n – число испытаний;

- среднее квадратичное отклонение:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

- коэффициент вариации, характеризующий изменчивость рассматриваемого признака:

$$C_v = \frac{\delta}{\bar{X}} 100,$$

- показатель точности:

$$p = \frac{m}{X} 100,$$

- оценку измеряемой величины:

$$X = \bar{X} \pm \delta.$$

Отбор проб

При определении качества и технических характеристик строительных материалов и изделий испытаниям подвергается лишь небольшая, специально отобранная часть материала. В стандартах на материалы и изделия обязательно указывают методы отбора и объём проб (выборок) от каждой партии материала, а также размеры партии материала.

Метод квартования. Дисперсные материалы тщательно перемешивают и насыпают в виде конуса. Конус затем разравнивают в виде круга толщиной 1...10 см и разделяют двумя взаимно перпендикулярными разрезами на четыре одинаковые части. Любые две противоположные части отбрасывают, а оставшиеся четверти снова тщательно перемешивают, формируют конус и последовательно продолжают квартовать до получения требуемого объёма пробы (рисунок 6).

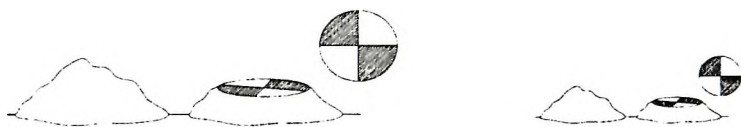


Рисунок 6 – Отбор проб методом квартования

На отобранную пробу составляют учётную карточку, в которой указывают следующие сведения: наименование материала, дату отбора пробы, место отбора пробы, вид упаковки и т.д.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вопросы допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Что понимается под качеством материалов и каковы методы его контроля?
2. От чего зависят свойства материалов и изделий?
3. От чего зависят свойства искусственно полученных и природных материалов?

Цель работы – ознакомиться с оборудованием и методикой определения основных физических свойств; определить физические характеристики некоторых материалов, проанализировать полученные результаты.

1.1. Определение истинной плотности

Истинная плотность $\rho_{и}$ – плотность вещества, из которого состоит материал, т.е. масса единицы объема однородного материала в абсолютно плотном состоянии, т.е. без учёта пор, трещин, пустот.

$$\rho_{и} = \frac{m}{V_a}, \quad (1.1)$$

где m – масса материала, кг;

V_a – абсолютный объем материала, m^3 .

Чтобы определить истинную плотность, испытуемый материал должен быть в абсолютно плотном состоянии (т.е. без пор и пустот). Для этого материал тонко измельчают так, чтобы каждая частица не имела внутри себя пор. Измельченный материал просеивают через сито с размером отверстий 0,2 мм, и высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы. До приведения испытаний материал хранят в эксикаторе, чтобы порошок не впитал влаги из воздуха. Истинную плотность определяют пикнометрическим способом или с помощью прибора Ле Шателье.

Материалы и оборудование: испытуемый материал; жидкость, инертная к испытуемому материалу; пикнометр (или прибор Ле Шателье); весы технические или электронные; воронка; фильтровальная бумага.

Выполнение работы. Пикнометр (прибор Ле Шателье) наполняют жидкостью, инертной к испытуемому материалу, наполняют до нижней нулевой черты. Верхнюю часть вытирают фильтровальной бумагой. Из предварительно подготовленного материала отмеряют на технических весах (рисунок 1, 2) навеску с точностью до 0,01 г. Взвешенную порцию порошка постепенно всыпают в пикнометр через воронку, пока уровень жидкости, не достигнет верхней черты. Для удаления воздуха пикнометр поворачивают вокруг вертикальной оси. Остаток порошка взвешивают с точностью 0,01 г. Истинную плотность вычисляют по формуле:

$$\rho_{и} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (1.2)$$

где m – масса материала до испытания, г;

m_1 – масса остатка материала, г;

V – объем жидкости, вытесненной материалом, $см^3$

Испытания выполняют дважды, расхождение не должно превышать 0,02 г/см³. При большем расхождении выполняют ещё одно определение и принимают среднее арифметическое двух ближайших значений.

Таблица 1.1 – Определение истинной плотности (материал – ..., жидкость – ...)

Показатель	№ испытаний	
	1	2
Масса до испытаний m , г		
Масса остатка m_1 , г		
Объём вытесненной V , см ³		
Истинная плотность $\rho_{и}$, кг/м ³		
Среднее значение истинной плотности, $\rho_{и}$, кг/м ³		

1.2. Определение средней плотности

Средняя плотность ρ_c – масса единицы объёма материала в естественном состоянии, т.е. с порами и пустотами.

$$\rho_c = \frac{m}{V_e} \quad (1.3)$$

где m – масса материала, кг;

V_e – объём материала в естественном состоянии, м³.

Средняя плотность зависит от влажности материала, поэтому для каждого материала нормативные документы устанавливают влажность, при которой определяется его плотность. По величине средней плотности оценивают другие свойства материала, массу строительных конструкций. Метод определения средней плотности зависит от геометрической формы образца.

1. Образцы материала правильной геометрической формы.

При испытании пористых материалов ребра кубических образцов должны быть не менее 10 см, диаметр и высота цилиндрических образцов – не менее 7 см; при испытании плотных материалов размеры образцов должны быть соответственно не менее 4 см.

Если нормативные документы предусматривают определение плотности в сухом состоянии, образец предварительно высушивают в сушильном шкафу при $t=105... 110$ С до постоянной массы.

Материалы и оборудование: образцы материалов, измерительная линейка (или штангенциркуль, рисунок 4), технические, электронные, циферблатные весы.

Выполнение работы. Предварительно подготовленный образец материала взвешивают с погрешностью до 0,1 г (при массе образца до 500 г) и не более 1 г (при массе более 500 г). Объём образца определяют с помощью измерительной линейки (точность 1мм) или штангенциркулем (если размеры менее 100 мм) с точностью 0,1 мм. При измерении образцов в форме куба или параллелепипеда каждую грань измеряют в трех местах (рисунок 7, б). Окончательный размер каждой грани (а, в, с) вычисляют как среднее арифметическое трех измерений. Объём рассчитывают по формуле:

$$V_c = a \cdot b \cdot c. \quad (1.4)$$

При вычислении объема цилиндрического образца, измеряют его высоту и диаметр (рисунок 7, а).

Объем цилиндра:

$$V_c = \frac{\pi d^2}{4} h, \quad (1.5)$$

где $\pi = 3,14$

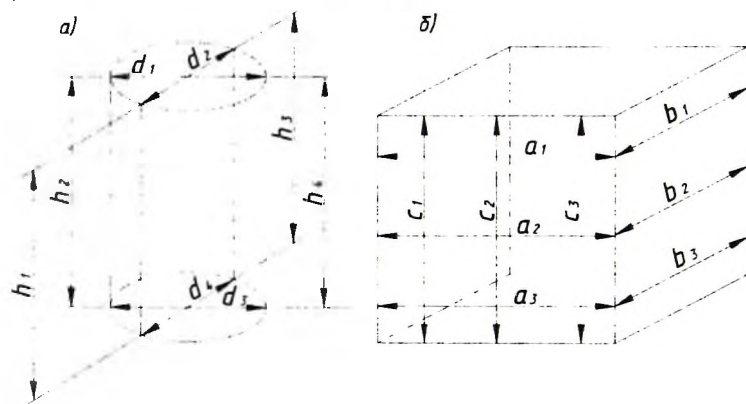


Рисунок 7 – Измерение опытных образцов

Таблица 1.2 – Определение средней плотности образцов правильной геометрической формы

Наименование материала	Объем образца $V, \text{ м}^3$			Масса образца, $m, \text{ кг}$	Средняя плотность, $\rho_c, \text{ кг/м}^3$
	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	$c, \text{ м}$		

II. Образцы материала неправильной геометрической формы.

Среднюю плотность образцов неправильной геометрической формы определяют методом гидростатического взвешивания или с помощью объёмомера.

Материалы и оборудование: образцы испытуемых материалов, весы технические, мерный цилиндр, стеклянный стакан, объёмомер.

Выполнение работы. Предварительно подготовленный и высушенный до постоянной массы образец взвешивают с точностью до 0,01 г и затем помещают в сосуд с водой так, чтобы уровень воды был на 20-100 мм выше поверхности материала. Образцы выдерживают в воде до полного заполнения водой открытых пор и микротрещин. В это время подготавливают к работе объёмомер. Для этого его устанавливают на горизонтальную поверхность и заполняют водой несколько выше сливной трубки. Когда стечет избыток воды, под конец трубки подставляют мерный цилиндр или предварительно взвешенный стакан.

Насыщенный водой образец вынимают из сосуда с водой, обтирают мягкой влажной тканью и помещают в подготовленный объёмомер. При погружении образца избыток воды вытекает через сливную трубку в мерный цилиндр

(или в стакан). Когда истечение жидкости полностью прекратится, с помощью мерного цилиндра определяют объем вытесненной жидкости (или взвешивают стакан), который соответствует объему образца материала. Среднюю плотность определяют по формуле (1.3).

Таблица 1.3 – Определение средней плотности образцов неправильной формы

Наименование материала	Масса образца m , г	Объем вытесненной воды, V_n , см ³	Средняя плотность, ρ_c , г/см ³

Данный способ определения средней плотности можно применять только для образцов плотных материалов. Высушенные образцы пористых материалов взвешивают, парафинируют, еще раз взвешивают, определяют их объем с помощью объемомера, определяют объем парафина по формуле:

$$V_n = \frac{m_n - m_c}{\rho_n}, \quad (1.6)$$

где m_n , m_c – соответственно масса образца, покрытого парафином, и в высушенном состоянии, г;

ρ_n – плотность парафина (0,93 г/см³).

Средняя плотность определяется по формуле:

$$\rho_c = \frac{m}{V_c - V_n}, \quad (1.7)$$

где V_n – объем воды, вытесненной образцом, см³.

Таблица 1.4 – Значения плотностей некоторых строительных материалов

Наименование материала	Плотность, кг/м ³	
	истинная	средняя
Сталь	7800-7850	7800-7860
Цемент	3100	1100-1350
Древесина (сосна) в воздушно-сухом состоянии	1540	390-600
Древесно-волоконистая плита	1500	200-400
Мрамор	2600-2800	2600-2800
Гранит	2700-2850	2580-2800
Туф вулканический	2600-2800	900-2100
Пенопласты	1200-1400	10-50
Кирпич керамический обыкновенный	2600-2700	1600-1800
Кирпич керамический пустотелый	2600-2700	1200-1400
Бетон тяжелый	2600	2200-2600
Бетон ячеистый	2600	250-900
Стеклопластик	2000	2000

1.3. Пористость

Пористость – степень заполнения объёма материала порами.

Пористость является одной из важнейших характеристик строительных материалов, от которой зависят другие свойства (прочность, теплопроводность, водонепроницаемость). Поэтому часто надо знать не только общее значение пористости, но также размер пор, степень равномерности распределения пор по объёму материала и т.д. Для таких испытаний используют специальные приборы (установка ртутной порометрии, фотоэлектронная установка и др.). Пористость вычисляют в долях единицы:

$$P = \frac{V_e - V_a}{V_e} = \frac{\frac{m}{\rho_c} - \frac{m}{\rho_u}}{\frac{m}{\rho_c}} = 1 - \frac{\rho_c}{\rho_u}, \quad (1.8)$$

где $V_e = \frac{m}{\rho_c}$ – объём материала в естественном состоянии, см³;

$V_a = \frac{m}{\rho_u}$ – объём материала в абсолютно плотном состоянии, см³;

ρ_c, ρ_u – соответственно средняя и истинная плотность материала, г/см³ (кг/м³) или в процентах:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_u}\right) \cdot 100\%. \quad (1.9)$$

Для характеристики сыпучих строительных материалов определяют их пустотность – степень заполнения объёма межзерновыми пустотами.

$$V_n = \left(1 - \frac{\rho_n}{\rho_c}\right) \cdot 100\%, \quad (1.10)$$

где ρ_n – насыпная плотность, кг/м³;

ρ_c – средняя плотность зерен, кг/м³.

Таблица 1.5 – Определение пористости некоторых строительных материалов

Наименование материала	Истинная плотность ρ_u , кг/м ³	Средняя плотность ρ_c , кг/м ³	Пористость, %

1.4. Теплопроводность

Теплопроводность – способность материала передавать тепло через свою толщину за счёт разницы температур на ограничивающих поверхностях.

Это свойство характеризуется коэффициентом теплопроводности λ (Вт/(м·С)), величина которого позволяет судить о теплозащитных свойствах различных материалов. Теплопроводность связана с составом, структурой,

текстурой материалов, плотностью, влажностью, температурой окружающей среды. Так, например, с увеличением пористости, теплопроводность будет снижаться, т.к. теплопроводность воздуха $\lambda_{\text{возд}}=0.023 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{С})$ (при $t=20 \text{ С}$) всегда меньше теплопроводности твердого вещества, из которого состоит строительный материал.

Точное значение коэффициента теплопроводности для каждого материала определяется экспериментально, что в практических условиях не всегда удобно. Поэтому для материалов, находящихся в воздушно-сухих условиях и имеющих плотность в пределах $2500\text{-}2700 \text{ кг}/\text{м}^3$, коэффициент теплопроводности можно ориентировочно рассчитать по формуле В.П. Некрасова:

$$\lambda = 1,16\sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16, \quad (1.11)$$

где $d = \frac{\rho_c}{\rho_{н о}}$ – безразмерная величина, характеризующая отношение средней плотности материала к плотности воды (при 4 С).

Выполнение работы. Рассчитать коэффициент теплопроводности, пользуясь формулой (1.8).

Таблица 1.6 – Расчет коэффициента теплопроводности по формуле В.П. Некрасова

Наименование материала	Средняя плотность $\rho_c, \text{ кг}/\text{м}^3$	Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{С})$

По полученным данным построить график зависимости коэффициента теплопроводности от средней плотности материала.

Контрольные вопросы и задания:

1. Что такое истинная и средняя плотность материала?
2. Как определить среднюю плотность образца правильной формы?
3. Как определить среднюю плотность образца неправильной формы?
4. Приведите значения средней плотности наиболее важных строительных материалов.
5. Что такое пористость?
6. Во сколько раз пористость P_A материала A отличается от пористости P_B материала B , если истинная плотность двух материалов равна соответственно $\rho=2,7 \text{ г}/\text{см}^3$ и $\rho=2,8 \text{ г}/\text{см}^3$, а средняя плотность материала A ρ_A больше средней плотности материала B ρ_B в 1,6 раза.
7. Какие знаете гидрофизические и теплофизические свойства?

Лабораторная работа №2

ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Вопросы допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Что такое структура материала? Виды структур.
2. Приведите примеры зависимости свойств материалов от их состава и строения.
3. Классификация свойств строительных материалов.

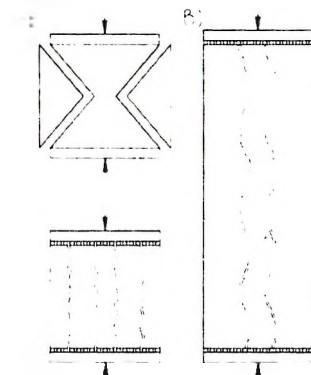
Цель работы – ознакомиться с оборудованием и методикой определения основных механических свойств; определить важнейшие механические характеристики некоторых материалов.

Механические свойства характеризуют способность материала сопротивляться разрушающему или деформирующему воздействию внешних сил. К механическим свойствам относят прочность, упругость, пластичность, хрупкость, твердость, истираемость и др.

2.1. Прочность

Прочность – свойство материала сопротивляться в определенных условиях внутренним напряжениям и деформациям, возникающим в материале под действием внешних факторов. Характеризуется пределом прочности (МПа), который соответствует максимальному напряжению, соответствующему нагрузке, вызывающей разрушение образца.

Показатели прочности материала являются условными величинами, т.к. зависят от размеров, формы образца (рисунок 8), скорости его нагружения и других факторов. Методика определения прочности для каждого материала строго определяется нормативно-техническими документами.



а) кубических; б) кубических, со смазанными опорными гранями; в) призматических

Рисунок 8 – Схема разрушения бетонных образцов

Предел прочности при осевом сжатии:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (2.1)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, м².

Характерные образцы для определения прочности строительных материалов разрушающими методами приведены в таблице 2.1. Если существует необходимость определить прочность не разрушая образец, то используют другие методы: ультразвуковые, радиометрические, ударные и др.

Предел прочности при изгибе

$$R_{изг} = \frac{M}{W}, \quad (2.2)$$

где M – изгибающий момент, Н/м;

W – момент сопротивления, м³.

Предел прочности при осевом растяжении

$$R_p = \frac{F}{A}, \quad (2.3)$$

где F – разрушающее усилие, Н;

A – площадь поперечного сечения образца, м².

Наряду со статической прочностью в необходимых случаях определяют динамическую прочность (ударную вязкость), характеризующую способность материала сопротивляться ударным нагрузкам, и усталостную прочность, характеризующую способность материала сопротивляться разрушению при повторных нагрузках.

2.2. Определение предела прочности при изгибе и сжатии

Материалы и оборудование: гипсовые или растворные балочки в сухом и насыщенном водой состоянии размером 40×40×160 мм, линейка, прибор МИИ-100 (рисунок 3), пресс мощностью 5 (10) т (рисунок 4).

Выполнение работы. Предел прочности образцов-балочек при изгибе определяют на машине МИИ-100. Образец устанавливают на опорные элементы прибора так, чтобы его плоскости, бывшие при изготовлении горизонтальными, находились в вертикальном положении. Затем в соответствии с инструкцией, прилагаемой к прибору, производят испытание образцов. При разрушении образца автоматически отключается электродвигатель, счетчик прибора останавливается, показывая предел прочности образца при изгибе (в кгс/см²). За результат испытаний принимают среднее арифметическое двух наибольших значений прочности, полученных для трёх образцов (таблица 2.2).

Таблица 2.1 – Схемы стандартных методов определения прочности





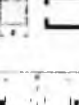

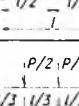
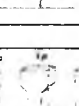
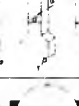
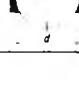
Образец	Эскиз	Расчётная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
1	2	3	4	5
При сжатии				
Куб		$R_{сж} = \frac{F}{a^2}$	бетон, раствор, природный камень	15×15×15 7,07×7,07×7,07 5×5×5 и др.
Цилиндр		$R_{сж} = \frac{4F}{\pi d^2}$	бетон, природный камень	d=15, h=30 d=h=5, 7, 10, 15
Призма		$R_n = \frac{F}{d^2}$	бетон, древесина	a=10, 15, 20 h=40, 60, 80 a=2, h=3
Составной образец		$R_{сж} = \frac{F}{A}$	кирпич	a=12, b=12,3 h=14
Половина образца призмы, изготовленной из цементного раствора		$R_{сж} = \frac{F}{A}$	цемент	a=4 A=25 см ²
Проба щебня (гравия) в цилиндре		$D_p = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%$	крупный заполнитель для бетона	d=15 h=15
При изгибе				
Призма, кирпич в натуре		$R_{из} = \frac{3Fl}{2bh^2}$	цемент, кирпич	4×4×16 12×6,5×2,5
Призма		$R_{из} = \frac{Fl}{bh^2}$	бетон, древесина	15×15×60 2×2×30
При растяжении				
Стержень, восьмёрка, призма		$R_p = \frac{4F}{\pi d^2}$ $R_p = \frac{F}{d^2}$	бетон, сталь	5×5×50 10×10×80 d=1 l = 5; l > 10d
Цилиндр		$R = \frac{2F}{\pi d l}$	бетон	15

Таблица 2.2 – Прочность на изгиб испытанных образцов

Материал образцов

прибор

Показатель	Номер образцов		
	1	2	3
Предел прочности при изгибе насыщенных водой образцов, $R_{изг}^{нас}$, МПа			
Среднее значение предела прочности при изгибе насыщенных водой образцов, $R_{изг}^{нас}$, МПа			
Предел прочности при изгибе образцов в сухом состоянии, $R_{изг}^{сух}$, МПа			
Среднее значение предела прочности при изгибе образцов в сухом состоянии, $R_{изг}^{сух}$, МПа			

Половинки балок испытывают на сжатие, для чего применяют стальные пластинки размером 40×62,5 мм, площадью 25 см² (рисунок 9).

Каждый образец помещают таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к стенкам формы, находились между двумя пластинками (рисунок 9). Затем образец помещают в центре нижней плиты пресса и сжимают со скоростью 2±0,5 МПа/с. В момент разрушения образцов снимают отсчёт по манометру. Предел прочности при сжатии вычисляют по формуле (2.1).

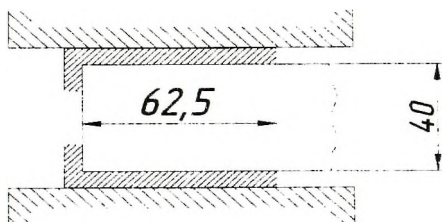


Рисунок 9 – Испытание половинок балочек на сжатие

Таблица 2.3 – Результаты испытания половинок балочек на сжатие

Материал

прибор

Показатель	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Площадь сечения A , мм ²						
Разрушающая нагрузка F , Н						
Предел прочности при сжатии отдельного образца $R_{сж}$, МПа						
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа						

Средний предел прочности при сжатии определяют как среднее арифметическое значение из четырёх наибольших результатов для шести образцов половинок балочек.

2.3. Водостойкость

Изменение физического состояния строительных материалов в значительной мере оказывает влияние на механические свойства. Для оценки способности материала сохранять свои прочностные свойства при увлажнении используют коэффициент размягчения, который характеризует водостойкость материала:

$$k_{разм} = \frac{R_{сж}^{наж}}{R_{сж}^{сух}}, \quad (2.4)$$

где $R_{сж}^{наж}$ – предел прочности при сжатии материала в насыщенном водой состоянии, МПа;

$R_{сж}^{сух}$ – предел прочности при сжатии материала в сухом состоянии, МПа.

Коэффициент размягчения изменяется от 0 до 1. К водостойким относятся материалы с коэффициентом размягчения не менее 0.8. Такие материалы можно применять в условиях высокой влажности без специальных мер по их защите.

Материалы и оборудование: гипсовые или растворные балочки в сухом и насыщенном водой состоянии размером 40×40×160 мм, линейка, прибор МИИ-100, пресс мощностью 5 (10) т.

Выполнение работы. По результатам испытаний балочек при изгибе и сжатии, пользуясь формулой (2.4), вычислить коэффициент размягчения, дать заключение о водостойкости материала и возможности его использования во влажных условиях.

2.4. Истираемость

Истираемость – свойство материала постепенно разрушаться тонкими слоями под действием истирающих усилий; оценивается потерей первоначальной массы образца, отнесённой к единице его площади, или уменьшению толщины материала:

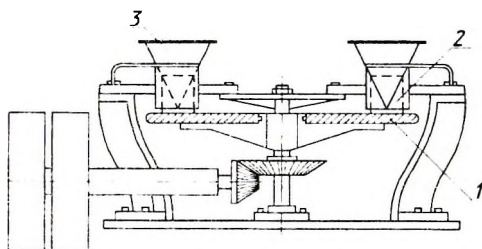
$$I = \frac{m - m_1}{A}, \quad (2.5)$$

где m – масса образца до испытания, г;

m_1 – масса образца после испытания, г;

A – площадь истирания, см².

Истираемость материала необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации дорожных покрытий, тротуаров и др. Материалы, имеющие небольшую истираемость, являются более износостойкими.



1 – чугунный диск; 2 – образец материала; 3 – воронка для абразивного материала

Рисунок 10 – Круг истирания

Истираемость строительных материалов определяют специальными приборами, конструкция которых зависит от вида материала. Так, для определения истираемости природных и искусственных каменных материалов используют установку типа «круг истирания», например, ЛКИ-2 или ЛКИ-3 (рисунок 10).

Предварительно подготовленные образцы кубической или цилиндрической формы выдерживают не менее 2-х суток перед испытанием в помещении лаборатории, затем взвешивают и определяют площадь истираемой грани. На истирающий диск высыпают абразивный материал (песок, шлифовальное зерно) и устанавливают образцы, прикладывая к ним нагрузку, затем включают привод круга.

Через определенное количество оборотов прибор останавливают, заменяют абразивный материал и снова включают привод круга. Эти операции повторяют определенное количество раз, что составляет один цикл испытаний. После каждого цикла образцы поворачивают на 90° относительно их вертикальной оси. После определенного для каждого материала нормированного количества циклов образцы извлекают, протирают сухой тканью и взвешивают.

Истираемость определяют по формуле (2.5) с погрешностью до $0,1 \text{ г/см}^2$.

Контрольные вопросы и задания:

1. Какие факторы влияют на значение предела прочности?
2. Что такое предел прочности?
3. Назовите прочность важнейших строительных материалов.
4. Методы определения прочности материалов на изгиб.
5. Методы определения прочности материалов на сжатие.
6. Влияние структуры на прочность.
7. Как изменяется прочность материалов с увлажнением (примеры)?
8. Единицы измерения прочности.
9. Как определяется истираемость?
10. Определить истираемость I образца цилиндрической формы с размерами $D=20 \text{ см}$ и $H=20 \text{ см}$, если масса образца до испытания $m_1=5600 \text{ г}$, после испытания $m_2=5324 \text{ г}$.
11. При каком значении коэффициента размягчения материал считается водостойким?

Лабораторная работа №3

ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Вопросы допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Что называется минералом?
2. Что представляет собой горная порода?
3. Приведите генетическую классификацию горных пород.

Цель работы – составление краткой петрографической характеристики основных породообразующих минералов и горных пород, определение твердости.

Главным сырьём для получения строительных материалов являются горные породы и минералы. **Горные породы** – природные агрегаты минералов более или менее постоянного состава и строения, являющиеся продуктом геологических процессов и образующие в земной коре самостоятельные тела. Свойства горной породы во многом определяются свойствами породообразующих минералов. Горные породы состоят из множества химических соединений и элементов, преобладающими из которых являются: SiO_2 ($\approx 59\%$), Al_2O_3 ($\approx 15\%$), CaO ($\approx 5\%$), Na_2O ($\approx 4\%$), Fe_2O_3 ($\approx 3.8\%$), MgO ($\approx 3.5\%$).

Минералы – это однородные по химическому составу и физическим свойствам природные тела. В природе более 7000 минералов и их разновидностей, но лишь около 50 минералов встречаются наиболее часто, входя в состав главных горных пород. Эти минералы называют **породообразующими**. В зависимости от химического состава минералы делят на классы: силикаты, карбонаты, оксиды, сульфаты, сульфиды, самородные элементы и др.

• **Силикаты** – наиболее многочисленная группа минералов. В зависимости от кристаллической структуры силикаты разделяют на группы:

Полевые шпаты – каркасные алюмосиликаты калия (ортоклаз $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), натрия и кальция (плагиоклазы – альбит $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ и анортит $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). Неустойчивы к химическому выветриванию на поверхности земли, в результате которого образуют глинистые соединения. Полевые шпаты входят в состав гранитов, сиенитов, гнейсов и др.

Ортоклаз ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) – характерной особенностью является совершенная спайность в двух направлениях, плотность $2500\text{--}2700 \text{ кг/м}^3$, стеклянный блеск, светлая окраска от белого, желтоватого, розоватого до красного.

Слюды – алюмосиликатные минералы сложного химического состава, слоистого, листового или чешуйчатого строения, характерной особенностью которых является способность легко расщепляться на очень тонкие пластинки. Слюды входят в состав большинства изверженных и некоторых метаморфических пород.

Мусковит – калиевая слюда $KAl_2(OH)_2[AlSi_3O_{10}]$ имеет невысокую твердость (≈ 2), плотность $2800\text{--}3100 \text{ кг/м}^3$, перламутровый блеск, цвет – белый, серебристый, бесцветный, дымчатый.

Биотит – железисто-магнезиальная слюда $K(MgFe)_3[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$ бурого, темно-зеленого или чёрного цвета, твердость $2\text{--}3$, плотность $2800\text{--}3200 \text{ кг/м}^3$.

Глинистые минералы – образовались в результате выветривания алюмосиликатных минералов, имеют слоистое, листовое или чешуйчатое строение, входят в состав глин, суглинков, супесей.

Каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ – в природе встречается в виде рыхлых чешуйчатых или плотных тонкозернистых агрегатов белого цвета с желтоватым или зеленоватым оттенком в составе каолинитов и полиминеральных глин. Материал легко рассыпается при нажатии (твёрдость ≈ 1), имеет землистый запах, жирный на ощупь. Плотность около 2600 кг/м^3 .

Железисто-магнезиальные силикаты – представители этой группы пироксены (цепные силикаты), амфиболы (ленточные силикаты), оливин (островные силикаты), отличаются сложным химическим составом, большой плотностью, прочностью, вязкостью, а также темным цветом, из-за которого их ещё называют темноокрашенными минералами.

Авгит $CaO \cdot 2(Mg, Fe)O \cdot (Al, Fe)_2O_3 \cdot 3SiO_3$ – относится к пироксенам. Цвет от темно-зеленого до чёрного, блеск стеклянный, твёрдость 5...6, плотность $3200\text{--}3600 \text{ кг/м}^3$, входит в состав изверженных пород.

Роговая обманка $Ca_3Na_2(Mg, Fe)_8(Al, Fe)_4Si_{14}O_{44}(OH)_4$ – разновидность амфиболов темно-зеленого, бурого или чёрного цвета со стеклянным блеском. Твёрдость 5.5...6.5, плотность $3100\text{--}3400 \text{ кг/м}^3$, входит в состав изверженных пород (сиенит, габбро).

Хризотил-асбест $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ – вторичный железисто-магнезиальный силикат, образовавшийся при выветривании оливина. Структура кристаллическая, тонковолокнистая. Цвет от желтовато-зеленого, оливкового до тёмного буро-зеленого, в распушенном состоянии – белый, желтоватый. Плотность $3000\text{--}3500 \text{ кг/м}^3$. Входит в состав изверженных пород.

• Карбонаты – это минералы, представляющие собой соли угольной кислоты (в основном карбонаты *Ca* и *Mg*), являются породообразующими для осадочных и метаморфических пород.

Кальцит $CaCO_3$ – кристаллический минерал бесцветного или белого с оттенками цвета, совершенной спайности по трем направлениям, плотностью $2600\text{--}2800 \text{ кг/м}^3$. При ударе распадается на ромбические кристаллы. Плохо растворим в воде, но растворяется с бурным вскипанием в 10% HCl . Встречается в известняках, мраморах и др. карбонатных породах.

Доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ – минерал белого или серовато-желтого цвета, плотность 2800 кг/м^3 , твердость 3.5...4. Образует породу того же названия и входит в состав известняков.

• Оксиды и гидроксиды – минералы, представляющие собой соединения элементов с кислородом или гидроксильной группой (кварц SiO_2 , корунд Al_2O_3 , гематит Fe_2O_3 и др.).

Кварц SiO_2 – наиболее распространённый минерал этой группы, входит в изверженные (гранит), осадочные (кварцевые пески), метаморфические породы (кварцит). Разновидности кварца: горный хрусталь, аметист, халцедон, кремень, опал, агат и др. Кварц является одним из наиболее прочных минералов. При обычных условиях кварц химически инертен, поэтому устойчив к выветриванию. Плотность 2650 кг/м^3 , спайность отсутствует, излом раковистый. В зависимости от примеси и условий образования кварц может быть прозрачным или матовым, бесцветным, белым, серым, фиолетовым, черным (морион).

В природе часто встречается гидратированный аморфный кремнезем – опал ($SiO_2 \cdot nH_2O$), который, в отличие от кварца, обладает большой реакционной способностью.

• Сульфаты – в этот класс входит более 260 минералов, однако среди них мало соединений, достаточно устойчивых в земной коре. Представители этого класса характеризуются невысокой твердостью и прочностью, высокой спайностью, светлой окраской. Сульфаты (гипс, ангидрит, барит, мирабилит и др.) входят в состав осадочных пород.

Гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) – кристаллический минерал с плотностью 2300 кг/м^3 , белого цвета, твердость 1.5...2, спайность совершенная, но в зернистых и волокнистых массах не видна, растворим в воде. При обезвоживании гипс переходит в ангидрит.

Ангидрит $CaSO_4$ – кристаллический минерал серого, белого или розового цвета, более твердый, чем гипс (твердость 3...3.5). При длительном контакте с водой ангидрит переходит в гипс, увеличиваясь в объеме приблизительно на 30%.

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Известно более 1000 видов различных горных пород. Горная порода может состоять из одного минерала (мономинеральная) или из нескольких минералов, различных по химическому составу и свойствам (полиминеральная). Однако на физико-механические, технологические и декоративные свойства горных пород оказывает влияние не только химический и минералогический состав, но также их структура (строение) и текстура (сложение). Породы с одинаковым минеральным составом, но имеющие разную структуру (например, гранит и кварцевый порфир), обладают разными свойствами.

Структура породы определяется размерами и формой кристаллов или зерен, их сочетанием и размещением между собой.

Текстура (сложение) – характеризует относительное расположение и распределение породообразующих минералов, пор и микротрещин в породе.

Все горные породы по происхождению (генезису) делятся на изверженные, осадочные и метаморфические (рисунок 11).

Изверженные (магматические) породы – образовались в результате застывания магмы на поверхности земли (излившиеся или эффузивные породы) или в толще земной коры (глубинные или интрузивные породы).

Гранит (от латинского «гранум» – зерно) – наиболее распространенная изверженная порода, представляет собой массивную, равномерно зернисто-кристаллическую плотную породу. Состоит из кварца (20...40%), полевого шпата, ортоклаза (реже плагиоклаза), слюды, иногда роговой обманки и авгита. Средняя плотность гранитов 2600 кг/м^3 ... 2800 кг/м^3 , прочность 100...250 МПа. Цвет гранита серый или красный с оттенками. Граниты применяют для производства щебня, облицовочных материалов и др.

Габбро – горная порода, состоящая в основном из плагиоклаза (около 50%) и пироксена; реже в состав входят роговая обманка, оливин и биотит. Структура равномерно крупнокристаллическая, цвет серо-, коричнево- или темно-зеленый, средняя плотность 2800 - 3100 кг/м^3 , прочность при сжатии 200...300 МПа. Используется в основном как облицовочный и декоративный материал.

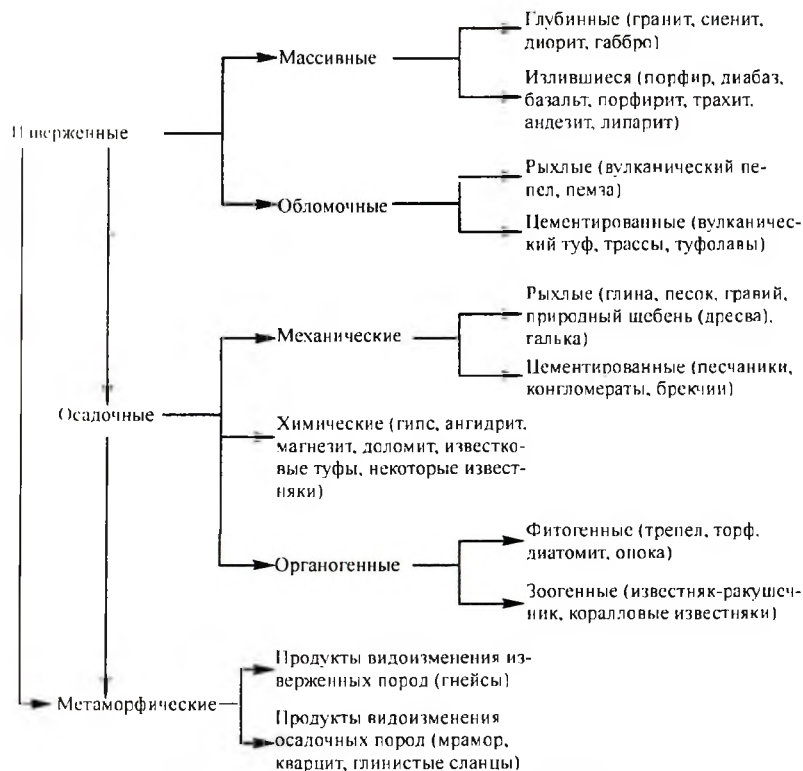


Рисунок 11 – Генетическая классификация горных пород

Базальт – излившийся аналог габбро обычно скрытокристаллической структуры. Средняя плотность 2800...3300 кг/м³, прочность при сжатии 200...500 МПа. Цвет тёмный с сероватым, тусклым отливом. Применяют как сырьё для каменного литья, для изготовления ваты, дорожных покрытий (шашка, брусчатка), как щебень и др.

Вулканический туф – образуется при цементации и уплотнении вулканических пеллов, пемзы и др. Средняя плотность 800...1600 кг/м³, прочность при сжатии 5...20 МПа (у плотных туфов до 50 МПа). Используются как стеновой материал, заполнитель для легких бетонов, минеральная добавка.

Осадочные породы образовались из изверженных в результате их разрушения под действием ветра, температуры, воды, жизнедеятельности животных и растительных организмов.

Песчаник – порода, состоящая из мелких зерен минералов, связанных природным цементом. Обычно песчаники состоят из зерен кварца и значительно реже – из полевого шпата или из смеси кварца, полевого шпата, слюды и др. В зависимости от вида природного цементирующего вещества и примесей различают глинистый, кремнистый, известковый, железистый, гипсовый, битуминозный и др. песчаники. Прочность при сжатии таких песчаников

от 50 до 200 МПа, средняя плотность 2400...2600 кг/м³, цвет светлый серый с желтоватым или красноватым оттенком. Песчаники применяют в виде бута, щебня, иногда штучного камня.

Известняк – горная порода, состоящая в основном из кальцита в виде остатков известняковых раковин и панцирей различных организмов, и лишь небольшая часть известняков образовалась в результате отложения углекислого кальция источников (химические осадки).

В зависимости от состава различают известняки доломитизированные (с примесью магнезита), глинистые (мергелистые), битуминозные, кремнистые и др.

В зависимости от структуры и текстуры известняки бывают: плотные, кристаллические, пористые, ракушечные, туфовые, мраморовидные, землистые (мел) и др. Цвет известняков – белый, серый, желтоватый, красноватый и др.

Свойства известняков зависят от их состава, структуры и текстуры. Плотные аморфно- и скрытокристаллические известняки отличаются высокой прочностью (90...150 МПа). Средняя плотность 200...2600 кг/м³. Применяются для получения бутового камня, щебня, штучных блоков, минерального порошка и минеральных вяжущих.

Известняки-ракушечники состоят из ракушек разных моллюсков, сцементированных природным цементом, содержащим примеси. Ракушечники характеризуются высокой пористостью, низкой средней плотностью 800...1800 кг/м³, теплопроводностью, малой прочностью (около 15 МПа); легко обрабатываются (подаются распиловке), поэтому применяются в основном в виде стеновых блоков.

Трепел – состоит из опала, реже халцедона. Пористая рыхлая порода органического происхождения белого или серого цвета, со средней плотностью 600...1200 кг/м³, прочностью до 10 МПа, плохо проводит звук и тепло, используется как минеральная добавка к вяжущим добавкам, а также для производства теплоизоляционных материалов.

Гипс – мономинеральная порода. Может содержать небольшое количество примесей (глина, песок, органические вещества). Прочность при сжатии 15...80 МПа, средняя плотность 2000...2300 кг/см³. Применяется для производства вяжущих и изделий на их основе (гипсовых и гипсобетонных), применяемых, как звукоизоляционный и стеновой материал, а также для внутренней отделки зданий.

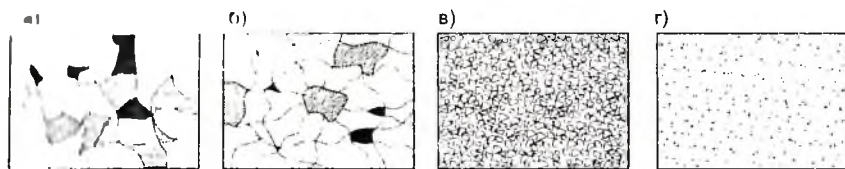
Метаморфические породы образовались из изверженных или осадочных пород под воздействием геологических факторов (высокой температуры, давления, а иногда и химических процессов). Метаморфизм выражается чаще всего в изменении структуры и текстуры исходной породы. Видоизменение, как правило, ведет к ухудшению свойств изверженных и улучшению свойств осадочных пород.

Мрамор – зернисто-кристаллическая порода, образовавшаяся в результате перекристаллизации известняков и доломитов. Состоит из минерала кальцита (кальциевый мрамор) и доломита (доломитовый). Цвет чистого мрамора – белый, но в зависимости от примесей может быть розовый, красный, серый, черный. Средняя плотность 2600...2800 кг/м³, прочность при сжатии 100...300 МПа. Мраморы не очень хорошо сопротивляются выветриванию. Применяют мрамор для внутренней облицовки стен, полов. Отходы используют для получения мраморной крошки, которую применяют в декоративных цементах и асфальтовых бетонах.

Кварцит – горная порода, образующаяся путём метаморфизации кварцевых песков и песчаников. Состоит из мелких зерен кварца, сросшихся так, что цементирующее кремнистое вещество слилось с основными зернами и неразличимо под микроскопом. Цвет кварцита в зависимости от примесей может быть белым, красным, фиолетовым, темно-вишневым. Кварцит характеризуется большой плотностью (около 2700 кг/м^3), прочностью 200...450 МПа, стойкостью к выветриванию. Применяют кварцит для наружной облицовки повышенной стойкости, в качестве опорных камней под фермы мостов, в виде булыжника также для изготовления огнеупорных (динасовых) изделий.

При разведке месторождений для определения качества горной породы и пригодности к использованию в строительстве её тщательно изучают сначала в полевых условиях, а затем исследуют в лаборатории. Для лабораторных испытаний отбирают пробы с учетом однородности горной породы в месторождении и с учётом того, что отобранного материала должно быть достаточно для определения физических, механических, технологических и др. свойств. Испытание природных каменных материалов начинают с описания внешних признаков и составления их петрографической характеристики. Для этих целей отбирают крупные куски породы, которые наиболее полно отражают характерные особенности исследуемой породы. При составлении петрографической характеристики пользуются молотком, стальной иглой, лупой, шкалой шершести, линейкой с миллиметровыми делениями или штангенциркулем, 10%-ным раствором соляной кислоты. При описании фиксируют следующие основные характеристики:

- 1) **размер и форму** образца; для этого отобранный кусок породы измеряют по трём направлениям; а затем определяют его форму (правильная, неправильная, кубовидная, ромбическая, параллелепипедная, шаровидная и др.) Это позволяет определить возможность получения того или иного вида каменного материала;
- 2) **цвет** горных пород зависит от минералогического состава, примесей и степени выветренности. Природные каменные материалы могут быть светлыми и темноокрашенными, белыми (почти бесцветными), от жёлтого до красного цвета, зелеными, многоцветными и др. При описании цвета указывают окраску пятен, жилок и т.д.;
- 3) **блеск** возникает при отражении световых лучей от поверхности минералов, слагающих горную породу. Вид блеска: яркий (стеклянный), перламутровый (отливает радужными цветами), жирный (тусклый), матовый (без блеска). Блеск зависит от показателя преломления светового луча и характера отражающей поверхности. В природе преобладают минералы со стеклянным блеском. Блеск характеризует декоративные свойства минералов и степень выветренности породы;
- 4) **минералогический состав** горной породы указывает вид главнейших породообразующих минералов, величину их включений, равномерность распределения, вид цементирующего вещества и его расположение;
- 5) **структура** горной породы зависит от условий ее формирования. Определяется осмотром свежего излома. Различают структуру: кристаллическую, порфиоровую, стекловатую, зернистую, аморфную и др. (рисунок 12).



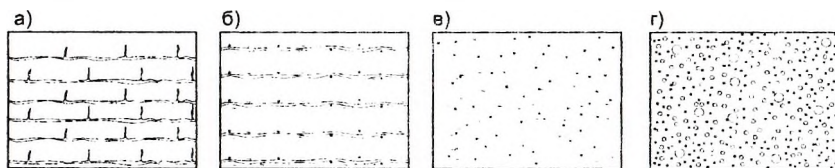
а) кристаллическая, б) порфировая, в) зернистая, г) аморфная и скрытокристаллическая

Рисунок 12 – Виды структур горных пород

Кристаллически-зернистая структура характеризуется равномерным расположением в породе минеральных зерен с приблизительно одинаковым размером для основных минералов. Порфировая структура отличается неравномерной зернистостью одного минерала (или одних и тех же минералов).

Породы с однородной мелкозернистой структурой отличаются более высокой прочностью, стойкостью к выветриванию, обрабатываемостью, по сравнению с породами крупнозернистой и порфирой структуры. Стекловатая структура не имеет явных кристаллических образований, такая структура указывает на повышенную хрупкость породы;

б) **текстура** – отражает перемещение и преобразование вещества в процессе формирования горной породы. Текстура может быть: плотная, сланцеватая, пористая, ячеистая и др. (рисунок 13).



а) сланцеватая, б) слоистая (полосчатая), в) землистая, г) пористая

Рисунок 13 – Типы текстур горных пород

Наиболее прочными и стойкими являются породы с плотной текстурой. С увеличением пористости снижается прочность, стойкость к выветриванию, теплопроводность. Сланцеватые породы анизотропны, при ударе они раскалываются в направлении сланцеватости. При определении текстуры учитывают наличие **трещин** и **включений**, их размер и расположение. **Звук при ударе молотком** (звонкий, глухой, дребезжащий) зависит от сложения, влажности и скрытой трещиноватости;

7) **спайность** – это способность минералов раскалываться по определенным направлениям с образованием гладких поверхностей – **плоскостей** спайности. Минералы имеют различную спайность:

- весьма совершенная – легко расщепляются на отдельные листочки;
- совершенная – раскалываются по определенным ровным плоскостям;
- несовершенная – плоскости спайности выражены слабо;
- отсутствует – раскалываются по неопределённым направлениям, поверхность излома неровная.

Аморфные материалы спайностью не обладают. Спайность снижает прочность и стойкость минерала, а также затрудняет его обработку;

- 11) **излом** – характеризует поверхность раскола, прошедшего не по направлениям спайности. Поверхность раскола может быть ровной, неровной, волнистой, раковистой, шарообразной; характер раскола – гладкий, шероховатый, землистый и др. **Ребра отдельности** могут быть тупые, острые, режущие и др. Излом характеризует обрабатываемость материала, его сцепление с вяжущим;
- 12) **твёрдость** – способность материала сопротивляться проникновению в него другого материала. Оценивается по шкале Мооса, которая состоит из десяти минералов (таблица 3.1), расположенных в порядке возрастания твердости: каждый следующий по порядку минерал оставляет след на предыдущем, а сам им не прочерчивается. По твердости минерала можно косвенно судить о его механических свойствах.

Таблица 3.1 – Шкала твердости минерала

№ пп	Минерал	Характеристика твердости
1	Тальк	Легко чертится ногтем
2	Гипс	Чертится ногтем
3	Кальцит	Чертится ножом
4	Плавленый шпат	С трудом чертится ножом
5	Апатит	Царапается ножом
6	Ортоклаз	Царапает стекло
7	Кварц	Чертит стекло
8	Топаз	~ // ~
9	Корунд	~ // ~
10	Алмаз	~ // ~

- 10) **присутствие карбонатов** в каменных материалах определяется воздействием на них 10%-ного раствора соляной кислоты, которая «вскипает» на поверхности образцов пород, содержащих карбонаты.

Кроме составления петрографической характеристики, для каменных материалов определяют следующие основные свойства: истинную плотность; среднюю плотность; насыпную плотность (для рыхлых пород); пористость и пустотность; водопоглощение; морозостойкость; прочность на сжатие (для щебня ещё и дробимость); водостойкость; истираемость и износ и др.

Материалы и оборудование: коллекция минералов и горных пород; шкала твердости, линейка с миллиметровыми делениями, стальная игла, лупа, 10%-ный раствор *HCl*.

Выполнение работы. Каждый образец измеряется, внимательно изучается и составляется петрографическая характеристика. Для нескольких образцов (по выбору преподавателя) определяется твердость по шкале Мооса. Для этого на поверхности образца последовательно, начиная с первого минерала шкалы твердости, проводят черту. Показателем твердости считают число, среднее между двумя номерами минералов, из которых один оставляет, а другой не оставляет царапины на образце.

Таблица 3.2 – Характеристика основных породообразующих минералов

№ пп	Минерал	Группа	Химический состав	Цвет	Блеск	Структура	Спайность	Истинная плотность, кг/м ³	Твердость	Условие нахождения в природе

Таблица 3.3 – Характеристика основных горных пород

№ пп	Горная порода	Группа	Подгруппа	Цвет	Минеральный состав	Структура	Текстура	Средняя плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Применение

Контрольные вопросы и задания:

1. Опишите основные породообразующие минералы изверженных пород.
2. Опишите основные породообразующие минералы осадочных пород.
3. Опишите основные породообразующие минералы метаморфических пород.
4. Где применяются минералы и горные породы?
5. Какие горные породы определяют, используя раствор соляной кислоты *HCl*?
6. Масса образца известняка в сухом состоянии $m_c=80$ г. После водопоглощения его масса составила $m_g=85$ г. Определить среднюю плотность ρ_c и пористость $П$, если водопоглощение по объему $W_V=12,5\%$, истинная плотность $\rho=2,8$ г/см³.
7. Какие строительные материалы и изделия получают из горных пород?

Лабораторная работа №4

ИСПЫТАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Вопросы допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Какое основное и вспомогательное сырье используют для получения керамического кирпича?

2. Общая технология получения керамической массы.

3. Назовите стеновые керамические материалы.

Цель работы – ознакомиться с методикой определения основных показателей качества керамического кирпича.

Керамическими называют искусственные каменные материалы и изделия, изготавливаемые из минерального сырья и добавок путём формования и обжига. Основным сырьём являются глины (греч. «keramos» – глина), осадочные породы, образовавшиеся в результате выветривания полевошпатных магматических пород. Глины состоят из глинообразующих минералов (каолинита $H_2O \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$, монтмориллонита $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, гидрослюда $K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 7SiO_2 \cdot 2H_2O$) и примесей, которые влияют на свойства глин. Для регулирования свойств керамической массы в глину вводят различные добавки: отошающие, выгорающие, плавни и др. Свежеотформованные изделия называют **сырцом**, а камневидный материал, из которого после обжига состоят керамические изделия – **черепком**.

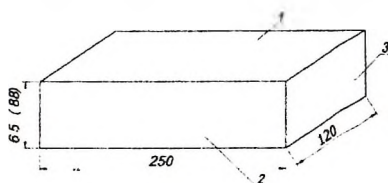
Кирпич – это искусственный каменный материал правильной формы (в виде прямоугольного параллелепипеда). Получают керамический кирпич из легкоплавких глин, диатомитов, трепелов с добавками или без них. Кирпич имеет размеры, мм:

одинарный 250×120×65;

утолщённый 250×120×88;

модульный 288×138×65.

Для граней кирпича приняты следующие названия: нижняя или верхняя поверхность, которой изделие укладывается в конструкцию – **плашковая грань**; средняя по величине поверхность изделия – **ложковая грань**; наименьшая поверхность изделия – **тычковая грань** (рисунок 14).



1 – плашок; 2 – ложок; 3 – тычек

Рисунок 14 – Керамический кирпич

Кирпич может быть пустотелым или полнотелым.

Полнотелым называется кирпич без пустот или с технологическими пустотами объёмом до 13% от объёма кирпича.

Пустотелым называется кирпич с объёмом пустот более 13%. Форма, размер, количество и расположение пустот могут быть различными.

В зависимости от способа производства различают кирпич пластического формования и полусухого прессования. Их внешний вид отличается: кирпич пластического формования имеет более пористую и шершавую поверхность со следами формования и разрезания; кирпич полусухого прессования имеет более плотный черепок, правильную форму и размеры. Для уменьшения массы кирпич полусухого прессования выпускают с пустотами (обычно конической формы).

Лицевой кирпич – вид керамического кирпича, применяемый для кладки и одновременной облицовки стен зданий и сооружений (т.е. выполняет конструктивные и декоративные функции). Лицевой кирпич отличается от обычного большей точностью размеров, высоким качеством лицевых поверхностей, однородностью цвета. Выпускают такой кирпич или из высококачественных глин или из обычного сырья, но с улучшенными в эстетическом отношении лицевыми гранями.

Образцы для испытания керамического кирпича отбирают методом случайного отбора в количестве 0,5% от партии кирпича.

4.1. Оценка качества кирпича по внешнему виду, форме и размерам

Внешним осмотром для рядовых изделий устанавливается качество обжига, наличие искривлений, отбитостей, трещин и известковых включений.

Нормально обожженный кирпич должен быть одинакового по всему объёму цвета и при ударе по нему молотком издавать ясный звук. Если кирпич недожжён, то имеет более светлый цвет по сравнению с эталоном, при ударе молотком издаёт глухой звук. Такой кирпич имеет пониженную прочность и морозостойкость. Пережжённый кирпич (железняк) имеет более тёмный цвет, как правило, искривлённую форму и оплавления; звук при ударе молотком чаще всего дребезжащий. Такой кирпич характеризуется очень плотной структурой, повышенной прочностью и теплопроводностью. Недожог и пережог кирпича не допускается.

Крупные включения в виде камешков или кусочков известки не допускаются. Особенно опасны известковые включения («дутики»), оставшиеся в результате разложения частиц известняка при обжиге. При взаимодействии с водой они гасятся с увеличением объёма, что приводит к разрушению кирпича.

Отклонение размеров проверяют с помощью металлической линейки с точностью до 1 мм. Определение размера производят в 3-х местах – по ребрам и в середине грани, принимая окончательно среднее арифметическое трех результатов. Допускаемые отклонения рядовых изделий составляют: по длине ± 5 мм, по ширине ± 4 мм, по толщине ± 3 мм.

Величину искривлений граней и ребер кирпича определяют с помощью металлической линейки и угольника (рисунок 15).

Для измерения отклонения от перпендикулярности (неперпендикулярность) граней на изделия зачищают заусенцы ребер и поочередно прикладывают угольник меньшей опорной стороной к одной ложковой грани и замеряют наибольший зазор между тычковой гранью и внутренней поверхностью большей стороны угольника (длина большей опорной стороны угольника должна быть не менее длины грани к которой он прикладывается). Затем угольник прикладывают ко второй ложковой грани и замеряют зазор на второй тычковой грани. После этого угольник меньшей опорной стороной прикладывают к

одной плашковой грани и измеряют наибольший зазор между ложковой гранью и внутренней поверхностью большей стороны угольника, затем угольник прикладывают ко второй плашковой грани и измеряют зазор на второй ложковой грани.

За результат отклонения от перпендикулярности граней принимают значение наибольшего из измеренных зазоров с погрешностью измерения не более 0,5 мм, отнесенное к длине измеряемой грани:

$$\Pi = \frac{H}{L} 100, \quad (4.1)$$

где Π – отклонение от перпендикулярности, %;

H – внутренний зазор между большей длиной внутренней стороны угольника и гранью, мм;

L – длина грани, к которой прикладывается большая сторона угольника, мм.

Неперпендикулярность граней рядовых изделий, отнесенная к длине этих граней, должна быть не более 2 %.

Отклонения от прямолинейности (непрямолинейность) ребра изделия проверяют путем приложения грани поперочной линейки к длине ребра изделия и измерения зазора между ними. За результат отклонения от прямолинейности ребра принимают значение наибольшего из измеренных зазоров с погрешностью измерения не более 1 мм.

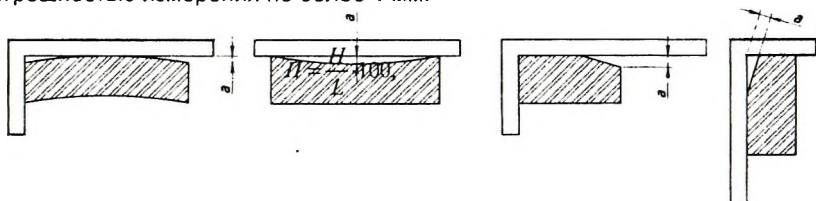


Рисунок 15 – Измерение искривлений граней и ребер кирпича

Отклонения от перпендикулярности граней кирпича. Непрямолинейность ребер рядовых изделий должна быть по плашку и тычку не более 3 мм, по ложку – не более 4 мм. Допускается не более двух отбитостей углов и ребер глубиной более 5 мм и длиной по ребру 10–15 мм (для рядовых изделий). Допускается не более чем по одной сквозной трещине на ложковой и тычковой гранях протяженностью до 30 мм по плашку для полнотелого кирпича и пустотельных изделий – не далее чем до первого ряда пустот длиной на всю толщину кирпича или на $\frac{1}{2}$ толщины тычковой или ложковой грани камня для рядовых изделий. Если трещин больше или глубина трещины превышает допустимое значение, то такой кирпич относят к половняку.

Материалы и оборудование: образцы кирпича, молоток, мерная металлическая линейка, угольник, эталон кирпича нормального обжига.

Выполнение работы. Образцы кирпича внимательно осматриваются, их цвет и звук при ударе молотком сравнивают с эталоном. Проверяют наличие известковых включений. Закончив осмотр, с помощью металлической линейки и угольника измеряют линейные размеры и повреждения. Результаты испытаний заносят в таблицу 4.1 и дают заключение о качестве керамического кирпича.

Таблица 4.1 – Результаты осмотра керамического кирпича
Цвет кирпича.....

Показатель	Отклонения от размеров и дефекты внешнего вида (СТБ 1160-99)	Данные внешнего осмотра и обмера образца
1. Отклонения от размеров, мм по длине по ширине по толщине		
2. Неперпендикулярность граней, отнесенная к длине этих граней, %		
3. Отклонения от перпендикулярности ребер, мм по плашку по ложку по тычку		
4. Отбитости углов и ребер глубиной более 5 мм и длиной от 10 до 15 мм; шт.		
5. Трещины протяжённостью до 30 мм по плашку полнотелого кирпича и пустотелых изделий не более чем до первого ряда пустот длиной на всю толщину кирпича или на ½ толщины тычковой или ложковой грани камня: на ложковых гранях на тычковых гранях		

Заключение.

4.2. Определение средней плотности и водопоглощения, прогноз морозостойкости кирпича

По средней плотности керамический кирпич и камни подразделяются на следующие группы:

- эффективные со средней плотностью до 1400 кг/м³ (для кирпича) и 1450 кг/м³ (для камней);
- условно-эффективные со средней плотностью от 1400 кг/м³ (для кирпича), 1450 кг/м³ (для камней) и до 1600 кг/м³;
- обыкновенный кирпич со средней плотностью выше 1600 кг/м³.

С понижением средней плотности снижается и коэффициент теплопроводности, что позволяет уменьшить толщину стен.

На значение средней плотности, теплопроводности, прочности и некоторых других физико-механических свойств материала влияет его водопоглощение.

Водопоглощение должно быть для полнотелого рядового и лицевого кирпича не менее 8 %, для рядовых и лицевых пустотелых изделий — не менее 6 %.

Материалы и оборудование: образцы кирпичей в сухом и водонасыщенном состоянии, металлическая линейка, циферблатные весы, сосуд с водой, ткань.

Выполнение работы. Среднюю плотность определяют не менее чем на трёх образцах кирпича, предварительно высушенных до постоянной массы (п. 2.1.1) при температуре 105–110°C и охлажденных до комнатной температуры. Образцы должны соответствовать нормативным требованиям по внешнему виду, форме и размерам. Подготовленные образцы взвешивают с точностью до 1 г, затем измеряют длину, ширину и толщину (согласно методике п. 1.2). Объем образцов определяют умножением геометрических размеров.

Среднюю плотность отдельного образца ρ_i в кг/м^3 вычисляют по формуле:

$$\rho_i = \frac{m_{\text{сух}}}{V} \cdot 1000, \quad (4.2)$$

где $m_{\text{сух}}$ — масса образца, высушенного до постоянной массы, г;

V — объём образца, см^3 .

Среднюю плотность кирпича вычисляют как среднее арифметическое результатов испытаний трёх образцов с погрешностью до 10 кг/м^3 .

Водопоглощение определяют не менее чем на трёх образцах, высушенных до постоянной массы. Подготовленные образцы взвешивают с точностью до 1 г. Затем образцы-кирпичи укладывают тычком на дно сосуда, который заполняют водой так, чтобы уровень воды был выше верха образцов на 2...10 см. Установка образцов производится в один ряд, с зазорами между образцами не менее 2 см, температура воды должна быть $20 \pm 5 \text{ C}$. В воде образцы выдерживают 48 ± 1 час, затем их вынимают, быстро обтирают влажной тканью и взвешивают с точностью до 1 г. Массу воды, вытекшую на чашу весов, включают в массу насыщенных водой образцов.

Водопоглощение кирпича по массе (в процентах) вычисляют по формуле:

$$W'_m = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

где $m_{\text{нас}}$ — масса образца, насыщенного водой, г.

Значение водопоглощения кирпича определяют как среднее арифметическое результатов испытаний всех образцов, рассчитанное с точностью до 1%.

Ускоренно водопоглощение можно определить, насыщая образцы водой под вакуумом или в кипящей воде. Взвешивание образцов и расчёт водопоглощения производится так же, как при обычном испытании. Если же нет никакого оборудования, то приблизительно водопоглощение можно определить, капая воду на поверхность сухого материала. При водопоглощении до 3% капля практически не впитывается, при водопоглощении от 5 до 8% капля впитывается частично, при водопоглощении более 10% капля воды быстро впитывается материалом.

Таблица 4.2. Определение средней плотности и водопоглощения кирпича

Показатель	Номер образцов		
	1	2	3
Масса образца, высушенного до постоянной массы $m_{\text{сух}}$, г			
Масса образца, насыщенного водой $m_{\text{нас}}$, г			
Объем образца V , см ³			
Средняя плотность отдельного образца ρ , кг/м ³			
Средняя плотность кирпича ρ_k , кг/м ³			
Коэффициент теплопроводности кирпича λ , Вт/м·К			
Водопоглощение по массе отдельного образца W_m , %			
Водопоглощение по массе кирпича W'_m , %			
Коэффициент насыщения пор отдельного образца k_n			
Коэффициент насыщения пор кирпича k_n			
Прогноз морозостойкости кирпича			

На основании полученных при испытании результатов требуется дать заключение о группе кирпича по средней плотности и соответствию значения водопоглощения нормативному; рассчитать водопоглощение по объему и коэффициент насыщения пор по формулам

$$W_v = W_m \cdot d \quad (4.4)$$

где W_v – водопоглощение материала по объему, %;

$d = \frac{\rho_k}{\rho_{\text{н.о.}}}$ – безмерная величина, выражающая отношение средней плотности

сухого материала к плотности воды,

$\rho_{\text{н.о.}}$ – плотность воды, принимаемая 1000 кг/м³ или 1г/см³,

$$k_n = \frac{W}{\Pi} \quad (4.5)$$

где k_n – коэффициент насыщения пор, изменяется от 0 (все поры в материале замкнуты) до 1 (все поры в материале открыты), безразмерная величина, Π – пористость материала, %.

Заключение.

4.3. Определение марки керамического кирпича

Марку керамического кирпича определяют по результатам испытаний образцов на прочность при сжатии и изгибе (ГОСТ 8462).

Испытания производят на сухих образцах, которые по наличию дефектов и внешнему виду удовлетворяют требованиям стандарта.

Предел прочности при сжатии кирпича определяют на образцах из двух целых кирпичей или из двух половинок. Кирпич делят на половинки раскалыванием или распиливают ножовкой или дисковой пилой. Половинки кирпича укладывают друг на друга так, чтобы поверхности распила были направлены в противоположные стороны. Для испытания допускается применять образцы из половинок, оставшиеся после испытания кирпича на изгиб. Так как опорная грань у кирпича пластического формования имеет отклонения от плоскости, то при подготовке образцов к испытанию их опорные поверхности выравнивают, а

половинки (или целые кирпичи) соединяют цементно-песчаным раствором (рисунок 16). Состав раствора 1:1 (цемент марки 400; песок крупностью не более 1.25 мм), В/Ц = 0.4 ... 0.42.

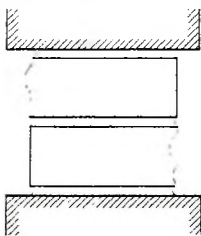


Рисунок 16 – Схема испытания кирпича на сжатие

Изготовление образцов производят в следующем порядке: кирпичи или половинки погружают в воду на 1 минуту. Затем на горизонтальную пластину (металлическую или стеклянную) укладывают лист смоченной бумаги, слой раствора толщиной 3...5 мм, первый кирпич (или половинку), опять слой раствора 3...5 мм, второй кирпич (половинку), ещё слой раствора 3...5 мм, лист бумаги и слегка прижимают стеклом. Излишки раствора срезают, края выравнивают ножом. Изготовленные образцы должны иметь взаимно параллельные опорные поверхности и по форме напоминать куб. Чтобы раствор набрал прочность, изготовленные образцы выдерживают в течение 3 суток в лаборатории при температуре 20 ± 5 С и относительной влажности воздуха 60 – 100%.

Допускается выравнивать опорные поверхности кирпича шлифованием, гипсовым раствором, прокладками из технического войлока, картона, резиной каневых пластин. Образцы из кирпича полусухого формования испытывают, не выравнивая поверхности.

Подготовленные образцы измеряют с помощью металлической линейки или штангенциркулем с точностью до 1мм, и вычисляют площадь поперечного сечения образца как среднее арифметическое площадей верхней или нижней граней.

Предел прочности при сжатии МПа вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (4.6)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; A – площадь поперечного сечения образца, m^2 .

Предел прочности при сжатии кирпича вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое значение результатов испытаний пяти образцов: В необходимых случаях учитывают следующее:

1) при вычислении предела прочности образцов, состоящих из двух кирпичей (целых или половинок), толщиной 88 мм, результаты испытаний умножают на коэффициент 1.2;

2) при вычислении предела прочности образцов кирпича пластического формования, выравненных шлифованием, гипсовым раствором или с использованием прокладок, результаты испытаний умножают на коэффициент k , который определяют как соотношение средних значений предела прочности по основной методике (R_1) и по упрощённой (R_2): $k = R_1/R_2$. Для кирпича пластического формования Брестского КСМ $k=1.4$.

Предел прочности при изгибе кирпича определяют на целом кирпиче, установленном над две опоры и нагруженном посередине. Для испытания применяют приспособление, состоящее из опорных катков, которые располагают на расстоянии 200 мм друг от друга, и катка для передачи нагрузки от верхней плиты пресса. Длина каждого металлического катка должна быть не менее ширины пресса, диаметр – 10...20 мм. В местах соприкосновения образца с плитами пресса поверхность кирпича выравнивают цементным или гипсовым раствором, или шлифованием, или прокладками. Кирпич с несквозными пустотами укладывают пустотами вниз. Подготовленные образцы измеряют, определяя поперечные размеры кирпича посередине пролёта, с точностью до 1 мм.

Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа, вычисляют по формуле:

$$R_{изг} = \frac{3Fl}{2bh^2}, \quad (4.7)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

l – расстояние между опорами, мм;

b, h – ширина и высота образца, мм.

Предел прочности при изгибе вычисляют с точностью до 0,05 МПа, как среднее арифметическое значение результатов испытаний пяти образцов.

Материалы и оборудование: образцы кирпича, прессы гидравлические, войлок технический толщиной 5...10 мм, линейка металлическая измерительная, приспособление для испытания образцов на изгиб.

Выполнение работы. При определении предела прочности кирпича при сжатии предварительно подготовленный и измеренный образец укладывают согласно схеме испытаний на нижнюю плиту гидравлического пресса мощностью 300 (500) кН. При этом геометрический центр образца и центр опоры пресса должны совпадать. Опустив верхнюю опору, включают пресс. Скорость нагружения должна обеспечить разрушение образца через 20...60 с после начала испытаний. Значение разрушающего усилия фиксируют по показаниям силовой измерителя пресса. По формуле (4.6) рассчитывают предел прочности кирпича. Результат испытаний записывают в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Определение прочности кирпича при сжатии

Номер образца	Площадь образца A , мм ²	Разрушающая нагрузка F , Н	Предел прочности при сжатии отдельного образца $R_{сж}$, МПа	Среднее значение предела прочности $R_{сж}$, МПа	Наименьшее значение предела прочности для отдельного образца $R_{сж}$, МПа

При определении предела прочности кирпича при изгибе предварительно подготовленный и измеренный образец укладывают на приспособление для испытания, установленное на нижней плите пресса. Испытания производят гидравлическим прессом мощностью 100 кН (10 т) согласно стандартной схеме (рисунок 17).

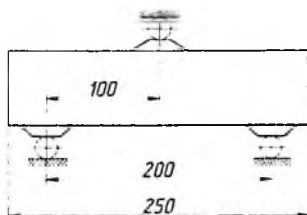


Рисунок 17 – Схема испытания кирпича на изгиб

И образец, и приспособление центрируют с плитами пресса. Нагрузка, подаваемая на образец, должна обеспечивать его разрушение через 20 ...60 с после начала испытаний. Предел прочности при изгибе рассчитывают по формуле (4.7) и результаты испытаний записывают в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Определение прочности кирпича при изгибе

Номер образца	Размеры, мм			Разрушающая нагрузка F , Н	Предел прочности при изгибе отдельного образца $R_{изг}$, МПа	Среднее значение предела прочности $R_{изг}$, МПа	Наименьшее значение предела прочности для отдельного образца $R_{изг}$, МПа
	L	b	h				

По значениям пределов прочности при сжатии и при изгибе дают заключение о марке кирпича (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Марки кирпича керамического обыкновенного

Марка кирпича	Предел прочности не менее (в МПа)							
	при сжатии		при изгибе					
	для всех видов изделий		полнотелого кирпича пластического формования		кирпича полусухого прессования и одинарного пустотелого кирпича		пустотелого утолщённого кирпича	
средний	наименьший для отдельного образца	средний	наименьший для отдельного образца	средний	наименьший для отдельного образца	средний	наименьший для отдельного образца	
300	30	25	4,4	2,2	3,4	1,7	2,9	1,5
250	25	20	3,9	2,0	2,9	1,5	2,5	1,3
200	20	17,5	3,4	1,7	2,5	1,3	2,3	1,1
175	17,5	15	3,1	1,5	2,3	1,1	2,1	1,0
150	15	12,5	2,8	1,4	2,1	1,0	1,8	0,9
125	12,5	10	2,5	1,2	1,9	0,9	1,6	0,8
100	10	7,5	2,2	1,1	1,6	0,8	1,4	0,7
75	7,5	5	1,8	0,9	1,4	0,7	1,2	0,6

Заключение

Контрольные вопросы и задания:

1. Чем отличается эффективный кирпич от обыкновенного?
2. Какие требования предъявляют к внешнему виду и размерам кирпича?
3. Как определить водопоглощение кирпича по массе (методика)?
4. Как определить предел прочности на сжатие кирпича?
5. Что обозначает выражение «марка кирпича 100»?
6. Сколько получится кирпича из $2,5 \text{ м}^3$ глины, если плотность кирпича составляет 1700 кг/м^3 , плотность сырой глины 1600 кг/м^3 , влажность глины 12%? При обжиге сырца в печи потери при прокаливании составляют 8% от массы сухой глины.

ИСПЫТАНИЕ ИЗВЕСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ВОЗДУШНОЙ

Вопросы допуска к выполнению лабораторной работы:

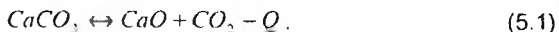
1. Какими общими свойствами обладают минеральные вяжущие вещества?
2. Какие вы знаете воздушные вяжущие?
3. Из какого сырья получают воздушную известь?

Цель работы – ознакомиться с оборудованием и методикой определения основных показателей качества извести и на основании результатов испытаний установить степень ее пригодности для строительных работ.

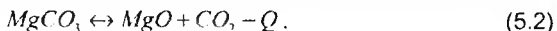
Известь строительная воздушная – минеральное вяжущее, получаемое умеренным обжигом кальциево-магниевого карбонатных пород (известняков, мела, доломитизированных известняков и др.), содержащих глинистых примесей не более 6%.

Основной составляющей таких пород является карбонат кальция ($CaCO_3$), примеси – углекислый магний ($MgCO_3$), кварц (SiO_2), оксид железа (Fe_2O_3) и др.

Основной объём извести получают в шахтных печах, которые работают по непрерывной технологии: печь догружается сырьём по мере выгрузки готового продукта. Для получения воздушной извести требуется поддерживать температуру 900-1200°C, что зависит в основном от состава сырья. Обжиг производится до возможно более полного удаления углекислого газа, по реакции:



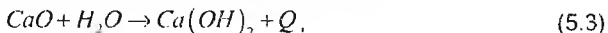
Продукт обжига содержит кроме CaO также и небольшое количество MgO , образовавшегося в результате термической диссоциации углекислого магния:



Таким образом, получаемый продукт обжига – воздушная известь – состоит из оксида кальция (основная составная часть) и оксида магния. В зависимости от их соотношения различают воздушную известь следующих видов: кальциевую, в которой преобладает CaO , содержание $MgO \leq 5\%$; магнезиальную с содержанием MgO от 5 до 20%; доломитовую с содержанием MgO от 20 до 40%. Наиболее качественной является кальциевая известь.

В зависимости от вида обработки обожжённого продукта различают несколько видов воздушной извести:

- негашённую комовую известь-кипелку (куски размером 10...20 мм). Кипелкой такую известь называют потому, что реакция гашения протекает с выделением большого количества тепла, достаточного для вскипания воды:



где Q – количество теплоты, равное 1160 кДж (277 ккал) на 1 кг CaO ;

- негашённую молотую известь – порошкообразный продукт помола комовой извести;
- гидратную (гашённую) известь-пушонку – порошок, получаемый в результате гашения определённым количеством воды; в ходе реакции известь значительно, в 2–3 раза, увеличивается в объёме («распушается»);
- известковое тесто и известковое молоко – продукты, получаемые в результате гашения извести с большим расходом воды.

Воздушную известь применяют как вяжущее в растворах для каменной кладки и штукатурных работ, в красочных составах; как пластификатор в смешанных растворах; с использованием извести получают местные вяжущие

вещества; известь в смеси с кремнезёмистым компонентом является сырьём для производства силикатных материалов автоклавного твердения.

Качество извести должно соответствовать ГОСТ 9179 или СТБ ЕН 459-1-2007. Методы испытаний изложены в ГОСТ 22688 и СТБ ЕН 459-2-2007. По ГОСТ 9179 воздушную негашеную известь без добавок подразделяют на три сорта: 1, 2 и 3; негашеную порошкообразную с добавками – на два сорта: 1 и 2; гидратную (гашеную) без добавок и с добавками – на два сорта: 1 и 2. По СТБ ЕН 459-1-2007 воздушная известь подразделяется на кальциевую (CL 90, CL 80, CL 70) и доломитовую (DL 85, DL 80) и дополнительно классифицируется по условиям поставки на негашеную известь (Q) или гидратную известь (S). Степень гидратации гашеной извести обозначается: S1 – полугидратная и S2 – полностью гидратированная.

5.1. Определение суммарного содержания активных оксидов ($CaO+MgO$) в кальциевой извести

Содержание активных $CaO+MgO$ (в пересчёте на сухое вещество) в негашеной извести первого сорта должно быть не менее 90%, второго – 80%, третьего – 70%. Определение активных ($CaO+MgO$) ведётся методом титрования.

Титрование – процесс добавления раствора соляной кислоты к щелочному раствору извести, в результате которого получается нейтральная среда. Окончание реакции устанавливается по изменению окраски индикатора. При титровании определяется объём соляной кислоты, затраченной на взаимодействие с известью. При расчетах учитывается титр HCl . Титр – число граммов растворенного вещества (CaO), соответствующее 1 мл 1-нормального раствора HCl .

Материалы и оборудование: проба извести, ступка фарфоровая, весы аналитические, вода дистиллированная, коническая колба вместимостью 250 мл, стеклянные бусинки или оплавленные палочки длиной 5...7 мм, стеклянная воронка, 1-нормальный раствор соляной кислоты, часы, электроплитка, бюретка, 1%-ный спиртовой раствор фенолфталеина.

Выполнение работы. От пробы негашеной комовой или молотой извести отбирают навеску 4–5 г и растирают в течение 5 мин в фарфоровой ступке. Растиртую известь взвешивают в количестве 1 г и помещают в коническую колбу емкостью 250 мл; заливают 150 мл дистиллированной воды. Для лучшего перемешивания в колбу помещают 15–20 стеклянных бусинок. Затем колбу закрывают стеклянной пластинкой и нагревают на электроплитке в течение 5–7 мин., не доводя до кипения. После остывания раствор извести смывают с пластинки и со стенок колбы дистиллированной водой, добавляют 2–3 капли 1% раствора фенолфталеина, который окрашивает содержимое колбы в малиновый цвет, и титруют 1Н раствором соляной кислоты до полного обесцвечивания. Титрование осуществляют медленно, добавляя кислоту по каплям. Титрование заканчивают, если по истечении 5–7-минутного выдерживания содержимое колбы не окрасится вновь.

Содержание активных $CaO+MgO$ (%) в комовой и молотой негашеной извести вычисляют по формуле:

$$A = \frac{V_{HCl} \cdot T_{CaO}}{m_n} \cdot 100, \quad (5.4)$$

где V_{HCl} – объём 1Н раствора HCl , израсходованный на титрование, мл;

T_{CaO} – титр 1Н раствора HCl , выраженный в г CaO ;

m_n – масса навески извести, г.

Результаты испытаний заносят в таблицу 5.1 и оценивают сортность извести.

Таблица 4.1 Определение содержания активных оксидов $CaO+MgO$ в воздушной строительной извести

Масса навески m_n , г	
Объем раствора НСl, израсходованный на титрование $V_{НСl}$, мл	
Содержание $CaO+MgO$, %	
Сорт извести по содержанию $CaO+MgO$	

5.2. Определения содержания непогасившихся зерен

Воздушная известь может содержать включения, неспособные к гашению: кварцевый песок, кусочки шлака, неразложившиеся при обжиге CaO и MgO – недожог, спекшиеся и оплавленные частицы трудногасящегося CaO – пережог. Если недожог – это балласт, понижающий выход активных $CaO+MgO$, то пережог в присутствии влаги будет гаситься очень медленно, и заканчиваться этот процесс может в растворе кирпичной кладки или штукатурки, что приведет к растрескиванию затвердевшего раствора. От содержания непогасившихся зерен зависит качество извести. В комовой кальциевой извести таких зерен должно быть не более 7% для извести 1-го сорта; 11% – для извести 2-го сорта; 14% – для извести 3 сорта.

Материалы и оборудование: известковое тесто, вода, электрическая плитка, цилиндрический металлический сосуд объемом не менее 2-х литров, технические весы, сито с сеткой №0.63, стеклянная палочка с резиновым наконечником.

Выполнение работы. Для определения содержания в извести непогасившихся зерен заранее приготавливают известковое тесто из 1 кг негашеной извести. Готовое тесто разбавляют холодной водой до консистенции известкового молока и небольшими порциями промывают на сите №0.63 слабой непрерывной струей, слегка растирая мягкие кусочки стеклянной палочкой с резиновым наконечником. Остаток на сите высушивают при температуре 140–150°C до постоянной массы и взвешивают на технических весах.

Содержание непогасившихся зерен, % вычисляют по формуле:

$$H.З. = \frac{m_1}{m_n} \cdot 100, \quad (5.5)$$

где m_1 – масса остатка на сите после высушивания, г;

m_n – масса навески негашеной извести, г.

Результаты испытаний записывают по форме (5.2) и дают заключение о качестве извести.

Таблица 5.2 – Определение содержания в извести непогасившихся зерен

Масса негашеной извести m_n , г	
Масса остатка на сите №0.63 после промывания и высушивания m_1 , г	
Содержание непогасившихся зерен $H.З.$, %	
Сорт извести по содержанию непогасившихся зерен	

5.3. Определение влажности гидратной извести

При нагревании пробы до 105...110°C выделяется свободная вода. Массовые потери при данной температуре обозначаются как влажность (влагосодержание), выраженное в процентах по массе.

Материалы и оборудование: бюкс с крышкой и открытый бюкс, натронная известь (смесь гашеной извести с едким натром), весы технические или электронные, сушильный шкаф.

Выполнение работы. Предварительно высушивают до постоянной массы и взвешивают бюкс с крышкой. Затем в него помещают гидратную известь с массой навески 10 г и сушат в сушильном шкафу при температуре 105–110°C. Также в сушильном шкафу должен находиться бюкс с натронной известью для улавливания CO₂ воздуха. Во время сушки крышку бюкса приоткрывают. Через 2 ч бюкс плотно закрывают крышкой, извлекают из сушильного шкафа, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Высушивание повторяют до постоянной массы. Интервал контрольного высушивания 30 мин.

Влажность извести W в процентах вычисляют по формуле:

$$W = \frac{m - m_1}{m} \times 100, \quad (5.6)$$

где W — влажность, %;

m — масса пробы до высушивания, г;

m_1 — масса пробы после высушивания, г.

Влажность гидратной извести не должна быть более 5 % (ГОСТ 9179). Доля свободной воды в известковом тесте составляет от 45 % до 70 %.

Результаты испытаний записывают по форме (5.3) и дают заключение о качестве извести.

Таблица 5.3 – Определение влажности гидратной извести

Масса пробы гидратной извести m , г	
Масса пробы гидратной извести после высушивания m_1 , г	
Влажность гидратной извести W , %	

5.4. Определение плотности известкового теста

Плотность известкового теста определяют с помощью стандартного мерного цилиндра.

Материалы и оборудование: известковое тесто, технические или электронные весы, стандартный металлический мерный сосуд цилиндрической формы вместимостью 1 л.

Выполнение работы. Определяют массу полого стандартного цилиндрического сосуда, затем его заполняют известковым тестом вровень с краями и снова производят взвешивание. Плотность известкового теста определяют по формуле:

$$\rho_{\text{тест}} = \frac{m_2 - m_1}{V}. \quad (5.7)$$

где m_1 — масса сосуда, кг;

m_2 — масса сосуда с известковым тестом, кг;

V — вместимость сосуда, м³.

5.5. Определение скорости гашения извести

Скорость гидратации зависит от размеров кристаллов CaO , на величину которых, в свою очередь, влияет температура и продолжительность обжига. Так, при величине кристаллов до 5 мкм скорость гашения составляет 2...3 мин, а при величине кристаллов 50 мкм – 25...30 мин. Скорость гашения регулируют с помощью добавок: увеличивают (вводя $CaCl_2$, $NaCl$) или замедляют ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$; ЛСТ). При низких температурах (в зимних условиях) большое тепловыделение является положительным свойством гидратации извести.

Скорость гашения характеризуется временем от момента добавления к извести воды до начала падения температуры теста.

По срокам гашения известь подразделяется на виды:

- 1) быстрогасящаяся – время гашения до 8 мин;
- 2) среднегасящаяся – время гашения от 8 до 25 мин;
- 3) медленногасящаяся – время гашения более 25 мин.

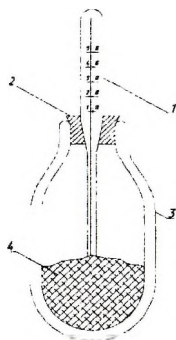
Материалы и оборудование: проба извести, технические весы, вода, термосная колба (сосуд Дьюара), деревянная отполированная палочка, термометр на $100^\circ C$, секундомер, мерный цилиндр.

Выполнение работы. Масса навески извести (m) зависит от её активности и рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{1000}{A}, \quad (5.8)$$

где A – содержание активных $CaO + MgO$ в извести, %.

Навеску извести помещают в термосную колбу (рисунок 18), заливают 25 мл воды, имеющей температуру $20^\circ C$, и быстро перемешивают деревянной отполированной палочкой. Затем колбу плотно закрывают пробкой со вставленным термометром и оставляют в покое. Ртутный шарик термометра должен быть полностью погружен в реагирующую смесь. Отсчёт температуры ведётся через каждую минуту, начиная с момента добавления воды. Определение считается законченным, если в течение 4 мин температура не повысится более чем на $1^\circ C$. За время гашения принимается время с момента добавления воды до начала периода, когда рост температуры не превышает $0.25^\circ C$ в минуту.



- 1 – термометр; 2 – пробка;
- 3 – термосная колба (сосуд Дьюара);
- 4 – известь

Рисунок 18 – Термосная колба для определения скорости гашения извести

Результаты испытаний записывают по форме в таблице 5.3 и дают заключение о качестве извести.

Таблица 5.4 – Определение скорости гашения извести

Время от начала опыта, мин.	Температура, °С

На основании полученных данных строится графическая зависимость $f=t(\tau)$. На оси абсцисс откладывают время от начала опыта, а на оси ординат – температуру; по максимуму устанавливают скорость гашения и определяют вид извести по скорости гашения.

Контрольные вопросы и задания:

1. Какая известь называется кальциевой?
2. Как определяется содержание активных оксидов в воздушной извести?
3. Что такое известь-«пушонка»?
4. Как определить скорость гашения извести? Какой прибор используется?
5. Как определить сорт воздушной извести?
6. Определить количество негашеной (комовой) извести, получаемой при полном обжиге 10 т чистого известняка с влажностью 10%.

Лабораторная работа №6

ГИПС СТРОИТЕЛЬНЫЙ

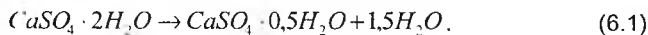
Вопросы допущения к выполнению лабораторной работы:

1. Классификация неорганических вяжущих.
2. Чем отличаются низкообжиговые и высокообжиговые гипсовые вяжущие?
3. Какое сырье применяется для получения строительного гипса?

Цель работы – ознакомиться с оборудованием и методикой определения основных свойств строительного гипса.

Гипсовые вяжущие – воздушные вяжущие вещества, состоящие из полугидрата сульфата кальция ($CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$) или сульфата кальция ($CaSO_4$) и получаемые путем термической обработки гипсового сырья и его помолом. В качестве сырья используют чаще всего горную породу осадочного происхождения – гипсовый камень ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), соответствующий требованиям ГОСТ 4013 или других ТНПА, и фосфогипс (по ТНПА). Применяют гипсовые вяжущие для изготовления строительных изделий всех видов, при производстве строительных работ, а также для изготовления форм и моделей в фарфоро-фаянсовой, керамической и других отраслях промышленности.

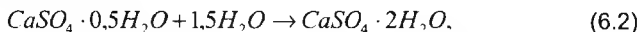
В зависимости от температуры тепловой обработки различают: низкообжиговые (собственно гипсовые) и высокообжиговые (ангидритовые) вяжущие. Первые получают тепловой обработкой природного гипса при низких температурах (110–180°C), при этом происходит частичная дегидратация сырья:



Низкообжиговые гипсовые вяжущие состоят в основном из полуводного гипса $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ и характеризуются быстрым твердением. К низкообжиговым вяжущим относятся: строительный гипс, формовочный гипс, высокопрочный (технический гипс).

Вторые получают обжигом сырья при высоких температурах (600–950°C). Они преимущественно состоят из безводного гипса (ангидрита) $CaSO_4$, который частично диссоциирует с образованием CaO , и отличаются медленным твердением. К высокообжиговым относятся: ангидритовые вяжущие (ангидритовый цемент), высокообжиговый гипс (эстрих-гипс).

Строительный гипс – воздушное вяжущее, получаемое низкотемпературным обжигом гипсового камня в варочных котлах или печах. В условиях тепловой обработки кристаллизационная вода выделяется из двухводного гипса в основном в виде пара, что приводит к образованию мелких кристаллов β -модификации $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$. Кроме того, строительный гипс содержит небольшое количество ангидрита и частицы неразложившегося природного гипса. Такой гипс имеет повышенную водопотребность, низкую водостойкость, не очень высокую прочность, склонен к ползучести под нагрузкой. Процесс твердения гипса протекает по реакции:



в результате которой образуется двухводный гипс, аналогичный исходному материалу. Особенностью гипса является его способность расширяться при твердении, увеличиваясь в объеме. Это позволяет применять гипс, в отличие от других вяжущих, без заполнителей.

Качество гипса контролируют согласно ГОСТ 125 по следующим показателям: тонкости помола, водопотребности, срокам схватывания, пределу прочности на изгиб и сжатие.

6.1. Определение нормальной густоты (стандартной консистенции) гипсового теста

Нормальная густота (стандартная консистенция) гипсового теста характеризует водопотребность гипса, т.е. выражает процентное содержание воды по отношению к гипсу, необходимое для получения теста определенной пластичности. Нормальная густота строительного гипса составляет 50...70%. Для химической реакции необходимо около 19% воды, остальная вода требуется для получения пластичного теста. В процессе твердения избыточная вода испаряется, и затвердевший материал отличается повышенной пористостью, низкими теплопроводностью, звукопоглощением, но имеет не очень высокую прочность. В целях снижения водопотребности и повышения прочности в гипсовое тесто вводят пластифицирующие добавки.

Нормальную густоту гипсового теста оценивают диаметром расплыва теста, вытекающего из цилиндра при его поднятии. Диаметр расплыва должен быть равен 180 ± 5 мм. На тесте нормальной густоты определяют сроки схватывания и прочность гипса.

Материалы и оборудование: проба гипса, весы технические, вода, мерный цилиндр, чаша для затворения, ручная мешалка, линейка, полый латунный цилиндр, стекло, бумага, секундомер.

Выполнение работы. Определение производят на приборе, состоящем из латунного полого цилиндра высотой 100 мм, внутренним диаметром 50 мм. На стекле или на специальной бумаге диаметром более 240 мм, которая будет находиться под стеклом, наносят концентрические окружности через каждый сантиметр (рисунок 19): Перед испытанием внутреннюю поверхность цилиндра и стекло протирают влажной тканью. На технических весах взвешивают 300 г гипса с точностью до 1 г и цилиндром отмеряют воду (50...70% от массы гипса). Воду выливают в чистую чашу для затворения, затем в нее всыпают в течение 2...5 с отмеренный гипс. Массу перемешивают ручной мешалкой, имеющей не менее 3 петель, в течение 30 с, начиная отсчет времени от начала засыпания гипса в воду. После окончания перемешивания цилиндр, установленный в центре стекла, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают линейкой. Через 45 с, считая от начала засыпания гипса в воду, или через 15 с после окончания перемешивания, цилиндр очень быстро поднимают вертикально вверх на высоту 15...20 мм и отводят в сторону. Диаметр расплыва измеряют линейкой непосредственно после поднятия цилиндра в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычисляют среднее арифметическое значение. Если диаметр расплыва не соответствует 180 ± 5 мм, испытание проводят с измененной массой воды. Результаты испытаний записывают в таблицу 6.1.



Рисунок 19 – Определение нормальной густоты гипса

Таблица 6.1 – Определение нормальной густоты гипсового теста

Показатель	Данные испытаний			
	1	2	3	4
Масса взятого для испытания гипса, г				
Количество воды от массы гипса, %				
Количество воды, г (мл)				
Диаметр растекшейся лепешки, мм				
Нормальная густота гипсового теста, %				

6.2. Определение сроков схватывания гипсового теста

Сроки схватывания характеризуются периодами времени, в течение которых гипсовое тесто утрачивает пластичность (начало схватывания) и превращается в камневидное тело (конец схватывания). Сроки схватывания зависят от состава вяжущего, количества и температуры воды затворения. По срокам схватывания гипсовые вяжущие разделяют на 3 вида (таблица 6.2).

Таблица 6.2 – Сроки схватывания гипсовых вяжущих

Вид вяжущего	Индекс сроков твердения	Сроки схватывания, мин	
		начало, не ранее	конец, не позднее
Быстротвердеющий	А	2	15
Нормальнотвердеющий	Б	6	30
Медленнотвердеющий	В	20	не нормируется

Для регулирования сроков схватывания в производственных условиях применяют добавки. В качестве замедлителей схватывания используют керамативный замедлитель, известково-костный клей, ЛСТ и др. Они или понижают растворимость полуводного гипса, или, обволакивая его частички, затрудняют доступ воды к ним. Для ускорения сроков схватывания используют молотый гипсовый камень, поваренную соль и другие добавки, которые повышают растворимость полуводного гипса. Сроки схватывания определяют с использованием гипсового теста нормальной густоты.

Материалы и оборудование: проба гипса, вода, мерный цилиндр, чаша для затворения, ручная мешалка, прибор Вика с иглой, технические весы, минеральное масло, часы, нож.

Выполнение работы. Для определения сроков схватывания используют прибор Вика (рисунок 20), на нижней части подвижного стержня которого закреплена стальная игла диаметром $1,1 \pm 0,02$ мм. Масса стержня с иглой составляет 300 ± 2 г. Перед началом испытания проверяют, свободно ли опускается стержень прибора Вика, чистоту иглы, а также нулевое положение подвижной части. Кольцо и пластинку предварительно смазывают минеральным маслом. Затем готовят гипсовое тесто нормальной густоты: для этого берут 200...300 г гипса и соответствующее количество воды (см. п. 6.1). Гипс всыпают в воду и перемешивают в течение 1 минуты. Затем готовое тесто укладывают в кольцо прибора. Для удаления попавшего в форму воздуха, кольцо с пластинкой осторожно встряхивают 4...5 раз, приподнимая сторону пластинки приблизи-

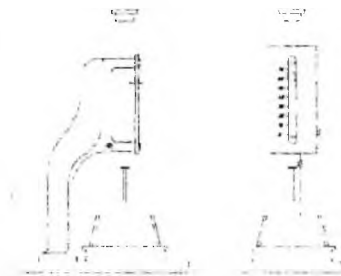


Рисунок 20 – Прибор Вика

тельно на 10 мм. После этого избыток теста срезают, заглаживают и кольцо помещают под иглу прибора Вика. Подвижную часть прибора с иглой устанавливают в такое положение, при котором конец иглы касается поверхности гипсового теста, а затем иглу свободно опускают в кольцо с тестом. Погружение производят через каждые 30 с. После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластинку вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла при новом погружении попала в другое место поверхности теста.

За начало схватывания принимают время (в минутах) от момента добавления гипса к воде до момента, когда свободно опущенная игла прибора Вика после погружения в тесто, первый раз не доходит до поверхности пластины.

За конец схватывания принимают время (в минутах) от момента добавления гипса к воде до момента, когда свободно опущенная игла прибора Вика погружается на глубину не более чем на 1 мм.

Результаты испытания записывают в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Определение сроков схватывания гипсового теста

№мер опыта	Отсчёт по прибору Вика	Время		
		час	мин	
				начало затворения гипса водой
				когда игла первый раз не дошла до пластины
				когда игла погрузилась в гипсовое тесто на глубину не более 1мм

Начало схватывания, мин _____

Конец схватывания, мин _____

Вид гипса по срокам схватывания _____

6.3. Определение тонкости помола гипса

Тонкость помола определяется результатом просеивания через сита с отверстиями определенного размера.

С повышением тонкости помола возрастает удельная поверхность зерен, а следовательно, и реакционная способность, т.е. качество вяжущего улучшается. По тонкости помола гипсовые вяжущие разделяют на 3 группы (таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Тонкость помола гипсовых вяжущих

Вид вяжущего	Индекс степени помола	Максимальный остаток на сите с размером ячеек в свету 0.2 мм, не более, %
Грубого помола	I	23
Среднего помола	II	14
Тонкого помола	III	2

Материалы и оборудование: проба гипса, весы технические, часы, сито №02.

Выполнение работы. Тонкость помола гипса характеризуется остатком на сите №02 в процентах.

Сущность метода заключается в определении массы гипса, оставшегося при просеивании на сите с размером ячеек в свету 0.2 мм.

Для испытания отвешивают 50 г гипса с погрешностью не более 0.1 г, предварительно высушенного до постоянной массы в течение 1 часа при температуре $50 \pm 5^\circ\text{C}$. Высыпают навеску на сито №02 и производят просеивание вручную или механической установкой в течение 10...15 мин.

Просеивание считают законченным, если сквозь сито на отдельный листок бумаги в течение 1 минуты при ручном просеивании проходит не более 0.05 г гипса. Тонкость помола определяют в процентах по формуле:

$$Ocm = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (6.3)$$

где m_1 – масса гипса, оставшегося на сите после просеивания, г;
 m – первоначальная масса гипса, г.

За величину степени помола принимают среднее арифметическое результатов двух испытаний. Полученные данные записывают в таблицу 6.5.

Таблица 6.5 – Определение тонкости помола гипса

Показатель	Номер испытаний	
	1	2
Первоначальная масса гипса m , г		
Масса гипса, оставшегося на сите после просеивания m_1 г		
Остаток на сите №02 Ocm , %		
Тонкость помола, %		

Вид гипса по степени помола _____

6.4. Определение марки гипсовых вяжущих

Для гипсовых вяжущих стандартом установлены 12 марок (таблица 6.6), которые назначаются по наименьшему пределу прочности при сжатии и при изгибе.

Материалы и оборудование: пробы гипса, вода, мерный цилиндр, чаша для затворения, ручная мешалка, технические весы, секундомер, формы балочек размером 40×40×160 мм, минеральное масло, нож, стальные пластинки для передачи нагрузки площадью 25 см², испытательная машина МИИ-100, гидравлический пресс мощностью 5 (10) т.

Таблица 6.6 – Прочность гипсовых вяжущих

Марка вяжущего	Предел прочности образцов-балочек размерами 40×40×160 мм в возрасте 2 часов, МПа, не менее	
	при сжатии, МПа	при изгибе, МПа
1	2	3
Г-2	2	1,2
Г-3	3	1,8
Г-4	4	2,0
Г-5	5	2,5
Г-6	6	3,0
Г-7	7	3,5
Г-10	10	4,5
Г-13	13	5,5
Г-16	16	6,0
Г-19	19	6,5
Г-22	22	7,0
Г-25	25	8,0

Выполнение работы. Для изготовления образцов берут 1000 г гипса и в течение 5...20 с засыпают в чашку с водой, взятой в количестве, необходимом для получения теста нормальной густоты, и затем интенсивно перемешивают

в течение 60 с. Внутреннюю поверхность предварительно подготовленной формы слегка смазывают минеральным маслом. Отсеки формы наполняют одновременно, для чего чашку с гипсовым тестом равномерно передвигают над формой. Для удаления вовлеченного воздуха после заливки форму встряхивают за торцевую сторону на высоту 8...10 мм пять раз. Излишки гипсового теста снимают. Через 15 ± 5 мин после конца схватывания образцы извлекают из формы и хранят в помещении для испытаний.

Определение прочности образцов, изготовленных из гипсового теста нормальной густоты, проводят через 2 часа после затворения гипса водой.

Испытание прочности на изгиб производят на приборе МИИ-100 трех образцов-балочек. Образец устанавливают на опоры прибора (рисунок 21) таким образом, чтобы те его грани, которые были горизонтальными, находились в вертикальном положении. На шкале прибора фиксируют значение предела прочности на изгиб в кгс/см^2 .

Результаты испытаний записывают в таблице 6.7.

Таблица 6.7 – Результаты испытания образцов на изгиб

Показатель	Номер образца		
	1	2	3
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа			
Среднее значение предела прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа			

Испытание прочности на сжатие производят на шести половинках балочек, полученных при определении прочности на изгиб. Половинки помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани находились на плоскостях пластин, а упоры плотно прилегали к торцевой, гладкой стенке образца (рисунок 21).

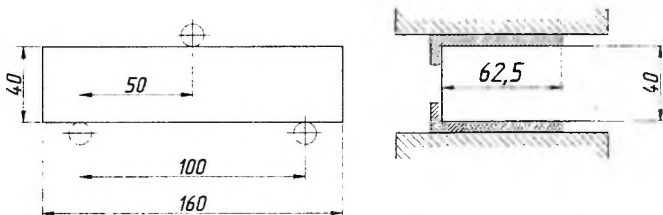


Рисунок 21 – Определение предела прочности образцов гипса на изгиб и на сжатие

Образец вместе с пластинками устанавливают в центре нижней плиты пресса. Скорость нарастания нагрузки должна составлять 2 ± 0.5 МПа/с. В момент разрушения по манометру снимают отсчёт.

Расчёт предела прочности на сжатие производят по формуле:

$$R_{сж} = \frac{F}{A}, \quad (6.4)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь пластинки, $25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Предел прочности на сжатие вычисляют как среднее арифметическое четырёх наилучших результатов испытаний.

Таблица 6.8 – Результаты испытания образцов на сжатие

Показатель	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Разрушающая нагрузка F , Н						
Площадь сжатия (пластинки) A , м ²						
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа						
Среднее значение предела прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа						

После выполнения всей серии опытов, предусмотренных ГОСТ 125, определяют марку, вид гипсового вяжущего и область его применения (таблица 6.9).

Таблица 6.9 – Применение гипсовых вяжущих

Области применения гипсовых вяжущих	Рекомендуемые марки и виды
Изготовление гипсовых строительных изделий всех видов	Г-2 ÷ Г-7, всех видов твердения и степеней помола
Изготовление тонкостенных строительных материалов и декоративных деталей	Г-2 ÷ Г-7, тонкого и среднего помола, быстрого и нормального твердения
Производство штукатурных работ, заделка швов и специальные цели	Г-2 ÷ Г-25, нормального и медленного твердения, среднего и тонкого помола
Изготовление форм и моделей в фарфоро-фаянсовой, керамической, машиностроительной и других отраслях промышленности, а также в медицине	Г-5 ÷ Г-25, тонкого помола с нормальными сроками схватывания

Марка гипса по прочности _____

Применение гипса _____

Контрольные вопросы и задания:

1. Что такое нормальная густота (стандартная консистенция) гипсового теста?
2. На каком приборе определяют водопотребность гипсовых вяжущих?
3. Какие сроки схватывания у гипсовых вяжущих?
4. Как влияет влажность на прочность гипсовых изделий?
5. Как определить марку строительного гипса?
6. Рассчитать предел прочности гипса, если при испытании образца на сжатие разрушающее усилие составило 17,5 кН.

Лабораторная работа №7

ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Вопросы допуска к выполнению лабораторной работы.

1. Какие вяжущие называются гидравлическими?
2. Приведите примеры гидравлических вяжущих.
3. Из каких сырьевых материалов получают портландцемент?

Цель работы – ознакомиться со стандартными методами определения основных свойств цемента.

В современном строительстве основным минеральным вяжущим является портландцемент. Портландцемент – это гидравлическое вяжущее, получаемое совместным тонким помолом клинкера и гипса. Клинкер портландцемента получают в виде спекшихся гранул размером 10...60 мм, путём обжига до спекания сырьевой смеси, состоящей из известняка или мела с глиной, или их природных смесей – мергелей, в соотношении, примерно равным 3:1. Гипс вводят в состав портландцемента для регулирования сроков схватывания.

Качество клинкера зависит от его химического и минералогического состава. Химический состав характеризуется содержанием различных оксидов, основными из которых являются CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Эти оксиды взаимодействуют в процессе обжига, образуя клинкерные минералы. Минералогический состав характеризуется количественным соотношением основных клинкерных минералов.

- Алит – важнейший минерал клинкера, состоящий в основном из трехкальциевого силиката $3CaO \cdot SiO_2$ (C_3S), определяет быстроту твердения, прочность и др.
- Белит – второй по значению клинкерный минерал, состоит из β -модификации двухкальциевого силиката $2CaO \cdot SiO_2$ (C_2S); отличается медленным твердением, но при длительном твердении обеспечивает высокую прочность. Цементы, содержащие повышенное количество C_2S , более стойкие к действию природных вод и морозостойки.
- Трехкальциевый алюминат $3CaO \cdot Al_2O_3$ (C_3A) отличается очень быстрым схватыванием и твердением, но даёт низкие прочность, морозостойкость, коррозионную стойкость, долговечность.
- Четырёхкальциевый алюмоферрит $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ (C_4AF) – по скорости твердения занимает промежуточное положение между алитом и белитом, прочность его незначительна.

Регулируя содержание основных минералов, тонкость помола, а также применяя минеральные и органические добавки, можно регулировать свойства портландцемента и получать его разновидности с заданными специальными свойствами (пуццолановый, шлакопортландцемент, быстротвердеющий, сульфатостойкий и др. цементы).

Качество цемента оценивают по комплексу таких показателей, как тонкость помола, насыпная плотность, нормальная густота, сроки схватывания, равномерность изменения в объёме цементного камня, активность цемента. При соответствии всех показателей требованиям цементу присваивают марку (ГОСТ 10178) или класс (ГОСТ 30515, ГОСТ 31108, СТБ ЕН 197-1-2007).

7.1. Определение нормальной густоты цементного теста

Нормальная густота цементного теста выражает процентное содержание воды по отношению к цементу, необходимое для придания тесту определенной степени пластичности.

Водопотребность цемента зависит от тонкости помола, минералогического состава и др. Для полной гидратации минералов портландцемента необходимо около 22% воды от массы цемента. Нормальная густота цементного теста находится в пределах 22...28%. Уменьшение водопотребности цемента улучшает его качество.

Материалы и оборудование: проба цемента, вода, прибор Вика, чаша для затворения, стандартная лопатка, мерный цилиндр, технические весы, секундомер.

Выполнение работы. Нормальную густоту цементного теста определяют с помощью прибора Вика. Для этого иглу прибора заменяют пестиком. Масса подвижного стержня с пестиком должна составлять 300 ± 2 г. Диаметр пестика 10 мм.

Взвешивают 400 г цемента (просеянного через сито №09) с точностью до 1 г и высыпают его в сферическую металлическую чашу для затворения, предварительно протёртую влажной тканью. В цементе делают углубление, в которое вливают воду в один прием в количестве 23...28% от массы цемента. Через 30 с массу осторожно перемешивают, а затем энергично растирают лопаткой в течение 5 мин с момента затворения водой. Перед испытанием проливают, свободно ли двигается стержень с пестиком, нулевое положение подвижной части. После перемешивания цементное тесто в один приём укладывают в коническое кольцо прибора Вика, постукиванием (5...6 раз) уплотняют его и срезают излишки ножом. Кольцо устанавливают в прибор, приводя пестик в соприкосновение с поверхностью теста. Через 30 с фиксируют по шкале прибора глубину погружения пестика. Густота теста считается нормальной, если пестик не доходит до дна 5–7 мм. Если пестик остановится выше отметки 5–7 мм, то опыт повторяют с большим количеством воды, если ниже – то с меньшим. Нормальную густоту теста выражают количеством воды в процентах от массы цемента и определяют с точностью до 0,25%.

Полученные данные записывают в таблицу 7.1 и используют затем при определении сроков схватывания и равномерности изменения объёма.

Таблица 7.1 – Результаты определения нормальной густоты цементного теста

Номер опыта	Масса цемента, г	Количество воды		Глубина погружения пестика, мм
		мл	%	

Нормальная густота, % _____

7.2. Определение тонкости помола цемента

При производстве портландцемента клинкер измельчают до частиц размером 10...20 мкм. От тонкости помола зависит прочность, сроки схватывания и интенсивность твердения. Тонкий помол цементов улучшает их качество, однако слишком тонкий помол может привести к отрицательным воздействиям (возрастает водопотребность и усадка, снижается прочность). Для качественных цементов остаток на сите №008 должен быть не более 15%.

Материалы и оборудование: проба цемента, технические весы, сито №008 с доньшком и крышкой, лист белой бумаги.

Выполнение работы. Тонкость помола определяется ситовым анализом. Для этого отвешивают 50 г цемента, предварительно высушенного до постоянной массы в течение 1 часа в сушильном шкафу при температуре 110 ± 5 °С, и высыпают его на сито № 008. Закрыв сито крышкой, устанавливают его в прибор для механического просеивания. При отсутствии прибора просеивание выполняют вручную. Испытание производят в течение 5-10 мин. Просеивание считается законченным, если при контрольном просеивании на лист белой бумаги в течение 1 мин сквозь сито проходит не более 0,05 г цемента. Тонкость помола вычисляют с точностью до 0,1% как остаток на сите №008 по формуле:

$$T.П. = \frac{m_1}{m} \cdot 100, \quad (7.1)$$

где m_1 – масса цемента, оставшегося на сите, после просеивания, г;

m – первоначальная масса цемента, г.

Результаты испытаний записывают в таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Результаты определения тонкости помола

Показатель	Результат
Первоначальная масса цемента m , г	
Масса цемента, оставшегося на сите №008 после просеивания m_1 , г	
Тонкость помола $T.П.$, %	
Заключение о качестве цемента	

7.3. Определение сроков схватывания цементного теста

Сроки схватывания отражают процесс гидратации цементного теста и характеризуют период формирования структуры. Скорость схватывания цемента зависит от минерального состава, тонкости помола, количества воды затворения, температуры. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 45 мин, а конец схватывания – не позднее 10 часов. В производственных условиях, при необходимости сокращения сроков схватывания цементов, вводят добавки-ускорители схватывания ($CaCl_2$, Na_2SO_4 , ННК) или добавки-замедлители (ЛСТ, мылонафт, $NaCl$), замедляющие реакции гидратации цемента.

Материалы и оборудование: проба цемента, вода, прибор Вика с иглой, чаша для затворения, стандартная лопатка, мерный цилиндр, секундомер, технические весы, машинное масло, часы.

Выполнение работы. Проверяют соответствие массы подвижного стержня прибора Вика с иглой 300 г. Устанавливают прибор на нулевое показание. Смазывают машинным маслом кольцо и пластину прибора Вика. Приготавливают цементное тесто нормальной густоты в соответствии с п.7.1. Время начала затворения (момент приливания воды к цементу) записывают. Иглу погружают в тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы игла не попадала в прежнее место. В начале испытания, пока тесто находится в пластическом состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку допускается слегка её задерживать при погружении в тесто.

Началом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения до момента, когда игла не дойдёт до пластинки на 2-4 мм.

Концом схватывания цементного теста считают время, прошедшее от начала затворения, до момента, когда игла погружается в тесто не более чем на 1–2 мм.

Время затворения, мин _____

Начало схватывания, мин _____

Конец схватывания, мин _____

7.4. Определение равномерности изменения объема цемента

Содержание свободных CaO и MgO в цементе не должно превышать 1 и 5% соответственно.

Если в составе цемента содержатся свободные оксиды кальция и магния сверх нормы, то такие цементы неравномерно изменяют объем при твердении, так как при взаимодействии с водой происходит образование гидратов $Ca(OH)_2$ и $Mg(OH)_2$, сопровождающееся увеличением объема, что вызывает коробление или растрескивание изделий.

Материалы и оборудование: проба цемента, вода, машинное масло, чаша для затворения, стандартная лопатка, мерный цилиндр, ванна с гидравлическим затвором, пропарочный бачок, нагревательный прибор, термометр, стеклянные пластинки, нож, линейка, часы.

Выполнение работы. Из цементного теста нормальной густоты (приготовленного в соответствии с п. 7.1) отвешивают четыре навески по 75 г. Из каждой навески теста вручную изготавливают шарик. Затем помещают шарики на стеклянную пластинку, протёртую машинным маслом, и встряхивают на стекле до момента расплыва шариков в лепешки диаметром 7–8 см и толщиной в середине 1 см каждая. Ножом, смоченным в воде, сглаживают лепешки от краев к центру так, чтобы они имели закругленную гладкую поверхность и острые края. Приготовленные лепешки хранят в ванне с гидравлическим затвором в течение 24 ± 2 час с момента их изготовления при температуре $20 \pm 5^\circ C$.

Затем лепешки снимают с пластинки, вынимают из ванны и помещают на решетчатую полку пропарочного бачка. Уровень воды в бачке должен быть выше на 4–6 см верха лепешек. Воду в бачке доводят до кипения на нагревательном приборе и кипятят в течение 3 часов.

После этого лепешки охлаждают в бачке, достают из воды и сразу же осматривают. Цемент выдержал испытание и соответствует ГОСТ 10178 на равномерность изменения объема, если на лицевой стороне испытанных лепешек не будет радиальных, доходящих до краев трещин или сетки мелких трещин, видимых невооружённым глазом или в лупу, а также каких-либо искривлений и увеличения в объеме (рисунок 22).



Рисунок 22 – Неравномерность изменения объема цементного теста

Результаты испытаний записывают в таблицу 7.3

Таблица 7.3 – Результаты испытания на равномерность и изменения объема

Показатель	Результат	Вид образцов лешечек
Масса цемента, г		
Содержание воды от массы цемента, %		
Наличие дефектов на образцах – лешечках		

Заключение о качестве цемента

7.5. Определение предела прочности при изгибе и сжатии

Прочность – основное свойство, характеризующее качество любого цемента. По результатам испытания цементных образцов определяют марку или класс цемента по прочности. При определении марки учитывают предел прочности при сжатии и при изгибе. Согласно ГОСТ 10178 портландцемент подразделяется на марки 400, 500, 550, 600 (таблица 7.4), допускается выпускать марку 300. Фактическая прочность образцов из стандартного цементного раствора, изготовленных и испытанных в стандартных условиях (в возрасте 28 сут), называется **активностью** цемента.

Согласно ГОСТ 10178 марка цемента определяется пределом прочности при изгибе образцов-балочек 40×40×160 мм и сжатии их половинок из раствора состава 1:3 по массе с нормальным песком, изготовленных и твердевших в соответствии с нормативными требованиями и испытанных через 28 сут с момента изготовления. Образцы балочек и их половинки должны иметь предел прочности при изгибе и сжатии не ниже величин, указанных в таблице 7.4.

Таблица 7.4 –Марки портландцемента

Марка портланд-цемент	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут., МПа (кгс/см ²)	Предел прочности при изгибе в возрасте 28 сут., МПа (кгс/см ²)
400	39,2 (400)	5,4 (55)
500	49,0 (500)	5,9 (60)
550	53,9 (550)	6,1 (62)
600	58,8 (600)	6,4 (65)

Согласно ГОСТ 30515, ГОСТ 31108 по прочности на сжатие цементы подразделяют на классы: 22,5; 32,5; 42,5; 52,5. **Класс по прочности цемента** – условное обозначение одного из значений параметрического ряда по прочности в максимальные сроки, установленные ТНПА. Согласно ГОСТ 31108 по прочности на сжатие в возрасте 2 (7) сут (скорости твердения) каждый класс цементов, кроме класса 22,5, подразделяют на два подкласса: *Н* (нормальнотвердеющий) и *Б* (быстротвердеющий). По СТБ ЕН 197-1-2007 приняты следующие классы по прочности: 32,5; 42,5; 52,5. Для каждого класса стандартной прочности определены два класса прочности в раннем возрасте: класс с обычной прочностью в раннем возрасте, обозначенный *N*, и класс с высокой прочностью в раннем возрасте, обозначенный *R*.

Материалы и оборудование: проба цемента, вода, технические весы, песок, чаша для затворения, стандартная лопатка, мерный цилиндр, встряхивающий столик, форма для изготовления образцов – балочек, виброплощадка, ванна с гидравлическим затвором, машинное масло, испытательная машина МИИ-100, стальные пластинки для передачи нагрузки, гидравлический пресс.

Выполнение работы. Взвешивают 1500 г песка и 500 г цемента, высыпая их в увлажненную сферическую чашу и перемешивают лопаткой в течение 1 минуты. В центре сухой смеси делают лунку и вливают в нее 200 г воды, что соответствует В/Ц=0.4. Когда вода впитается (30 с), смесь снова перемешивают в течение 1 мин, переносят её в механическую мешалку, перемешивают в течение 2,5 мин (20 оборотов чаши мешалки).

После этого определяют консистенцию раствора. Для этого растворную смесь в два приёма слоями равной толщины укладывают в установленную на встряхивающем столике форму-конус. И стеклянный диск, и форму-конус предварительно протирают влажной тканью. Каждый слой уплотняют металлической штыковкой, нижний слой штыкуют 15 раз, а верхний – 10 раз. Излишки раствора срезают ножом и форму-конус осторожно снимают вверх. Вращая ручку маховика, встряхивают столик 30 раз в течение 30 с. При этом конус из цементного раствора расплывается по площадке столика. Линейкой измеряют расплыв конуса по нижнему основанию в двух перпендикулярных направлениях. Если диаметр расплыва конуса окажется меньше 106 или больше 115 мм, то приготавливают новый раствор с большим или меньшим количеством воды, чтобы получить расплыв конуса в пределах 106–115 мм. Водопотребность растворной смеси выражается в виде водоцементного отношения (В/Ц).

После этого изготавливают три образца-балочки в трехсекционной форме, установленной и закрепленной на лабораторной виброплощадке, которая создает вертикальные колебания с амплитудой 0,35 мм и частотой 2800–3000 колебаний в 1 мин. Все три секции формы наполняют раствором примерно на 1 см по высоте и включают виброплощадку. После 2 мин. вибрирования все секции формы равномерно небольшими порциями полностью заполняют раствором. По истечении 3 мин от начала вибрации виброплощадку выключают, снимают с неё форму, срезают излишки раствора ножом, образцы маркируют и форму с образцами помещают в ванну с гидравлическим затвором на 24 ± 2 часа ($t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 90\%$). После суточного хранения образцы осторожно извлекают из форм и в горизонтальном положении помещают на 27 суток в ванну с водой так, чтобы они не соприкасались друг с другом. Слой воды над образцами должен быть не менее 2 см. Через 14 сут. воду меняют. Температуру воды поддерживают все 27 суток в пределах $20 \pm 2^\circ\text{C}$. После 28 суток хранения образцы извлекают из воды, насухо вытирают и не позднее чем через 30 мин подвергают испытанию на изгиб и сжатие.

Предел прочности образцов-балочек при изгибе определяют на приборе МИИ-100 и вычисляют как среднее арифметическое двух наибольших результатов испытаний трех образцов.

Полученные после испытаний на изгиб шесть половинок балочек сразу же испытывают на сжатие на гидравлическом прессе. Для передачи нагрузки каждую половинку балочки устанавливают в специальные пластины размера-ми $40 \times 62,5$ мм (площадь 25 см^2). Пластины накладывают на плоскости боло-

чек, которые при изготовлении были вертикальными. Скорость нагрузки при испытании должна составлять $2 \pm 0,5$ Мпа/с. Предел прочности при сжатии:

$$R_{сж} = \frac{F}{A} \quad (7.2)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н;

A – площадь пластинки, м^2 .

Средний предел прочности определяют как среднее арифметическое четырех наибольших результатов испытаний шести половинок балочек с точностью до 0,1 МПа.

На основании выполненных определений делается заключение о марке цемента и соответствии полученных свойств цемента требованиям ГОСТ 10187. В заключении также указывается область рационального применения цемента. Результаты записывают в форме таблиц 7.5 и 7.6.

Таблица 7.5 – Результаты испытания образцов на изгиб

Показатель	Номер образца		
	1	2	3
Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа			
Среднее значение предела прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа			

Таблица 7.6 – Результаты испытания образцов на сжатие

Показатель	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Разрушающая нагрузка F , Н						
Площадь сжатия (пластинки) A , м^2						
Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа						
Среднее значение предела прочности при сжатии из четырех значений $R_{сж}$, МПа						

Марка цемента по прочности _____

Контрольные вопросы и задания:

1. Какие стадии обжига проходит сырье при получении портландцемента?
2. Для чего при помолу клинкера вводят гипс?
3. Назовите химический и минералогический состав портландцементного клинкера.
4. Как определяют тонкость помола клинкера?
5. Как определяют равномерность изменения объема?
6. Что такое активность портландцемента?
7. Каковы основные правила хранения образцов до испытания на прочность?
8. Определите марку цемента, если при испытании цементных образцов-балочек размером $40 \times 40 \times 160$ мм в возрасте 7 сут. показатели предела прочности при изгибе составили 3,6 МПа, 3,0 МПа и 3,3 МПа. Среднее значение предела прочности при сжатии составило 30 МПа.
9. Назовите цементы с минеральными и органическими добавками.
10. Какие знаете специальные виды цемента?

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Вопросы допуска к выполнению лабораторной работы:

1. Какие металлы и сплавы относятся к черным?
2. Где в строительстве применяются металлы и сплавы?
3. Что такое сталь? Чем сталь отличается от чугуна?
4. Какие вредные примеси могут содержаться в стали?

Цель работы – определить твердость стали разными методами, изучить микроструктуру стали.

Металлы, как строительные материалы, обладают целым комплексом ценных свойств – большой прочностью, пластичностью, свариваемостью, выносливостью; способностью упрочняться и улучшать другие свойства при термомеханических и химических воздействиях. В чистом виде металлы, вследствие недостаточной прочности, твердости и высокой пластичности, применяются редко. **Сплавами** называют вещества, полученные преимущественно сплавлением нескольких металлов или металлов с неметаллами. **Сталь** – сплав железа с углеродом, наиболее часто применяется в строительстве: стержневая арматура и проволока для железобетонных конструкций, профили для металлических конструкций, трубы, заклепки, гвозди, каналы и другие изделия.

8.1. Определение твёрдости и прочности стали

Твёрдость является одним из основных механических свойств любого конструкционного материала. Под твердостью понимают способность материала сопротивляться внедрению в его поверхность твердого тела — индентора. Испытание металлов на твёрдость получило широкое распространение в промышленности. По значению твёрдости можно судить о механической прочности и износостойкости металлов и сплавов. Кроме того, твёрдость имеет самостоятельное значение как показатель обрабатываемости металла. В качестве индентора при испытании на твердость металла используют закаленный стальной шарик или алмазный наконечник в виде конуса или пирамиды. При вдавливании поверхностные слои материала испытывают значительную пластическую деформацию. После снятия нагрузки на поверхности остается отпечаток. Твердость характеризует сопротивление материала пластической деформации, такое же сопротивление оценивает и предел прочности. Поэтому для целого ряда материалов численные значения твердости и временного сопротивления пропорциональны. Для измерения твердости металлов наиболее часто применяются методы Бринелля, Виккерса и Роквелла.

Материалы и оборудование: твердомер ТШ (метод Бринелля), твердомер ТК (метод Роквелла), микроскоп, образцы сталей.

Выполнение работы.

Твердость по Бринеллю

При стандартном методе измерения твердости (ГОСТ 9012) в поверхность материала вдавливают закаленный стальной шарик диаметром 2,5; 5

или 10 мм. Нагрузка на шарик при испытании должна быть в пределах от 625 до 29430 Н) и определяется ожидаемой твёрдостью образца и диаметром применяемого шарика. Она вычисляется по формуле:

$$F = KD^2, \quad (8.1)$$

где F – нагрузка, Н;

K – коэффициент;

D – диаметр шарика, мм.

Коэффициент K берётся равным от 25 до 300 в зависимости от твёрдости металлов. Выбор размера шарика определяется толщиной испытуемого образца и его ожидаемой твёрдостью. Для чёрных металлов диаметр шарика выбирают в пределах от 5 до 10 мм, а коэффициент K равным 300.

Поверхность образца должна быть ровной, гладкой и свободной от оксидной пленки. Образец во время испытаний не должен прогибаться и смещаться. Толщина образца выбирается так, чтобы на поверхности, противоположной испытательной не было следов деформаций. Подготовленный образец закрепляют на столике, прижимая к шариковому наконечнику с усилием 1 кН. Затем включают прибор и плавно увеличивают усилие до максимального значения. Продолжительность выдержки под нагрузкой составляет 10...15 с (для черных металлов и сплавов). После снятия нагрузки на поверхности остается отпечаток в виде сферической лунки диаметром d (рисунок 23).

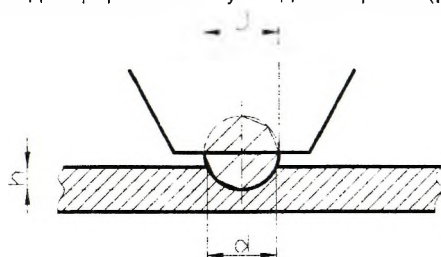


Рисунок 23 – Определение твердости по Бринеллю

Диаметр лунки измеряют лупой, на окуляре которой нанесена шкала с делениями, или отсчетным микроскопом с ценой деления 0.05 мм. Число твердости по Бринеллю HB определяют путем деления нагрузки F на площадь поверхности сферического отпечатка:

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (8.2)$$

где F – нагрузка, Н;

S – площадь отпечатка, мм²;

b – диаметр отпечатка, мм;

D – диаметр вдавливаемого шарика, мм.

Число твердости по Бринеллю записывают без единиц измерения.

Между числом твёрдости по Бринеллю HB и временным сопротивлением σ_B существует приближённая зависимость:

$$\sigma_B = RHB, \quad (8.3)$$

где R для стали с $HB < 175$ составляет 0,34, а для стали с $HB > 175$ – 0,36. Наличие этой зависимости позволяет в ряде случаев использовать метод Бринелля для приближённого определения предела прочности металлов, не прибегая к сложным испытаниям на растяжение. На практике при измерении твердости расчет по указанной выше формуле не производят, а используют заранее составленные таблицы, указывающие значение HB в зависимости от диаметра отпечатка и выбранной нагрузки. Чем меньше диаметр отпечатка, тем выше твердость материала.

Способ измерения по Бринеллю не является универсальным. Его используют для материалов малой и средней твердости: сталей с твердостью $HB \leq 450$, цветных металлов с твердостью $HB \leq 200$ и т.п.

Твердость по Виккерсу

При стандартном методе измерения твердости (ГОСТ 2999) в поверхность образца вдавливают четырехгранную алмазную пирамиду с углом при вершине 136° . Отпечаток получается в виде квадрата, диагональ которого d измеряют после снятия нагрузки, число твердости вычисляют по формуле:

$$HV = 0,1854 \frac{F}{d^2}, \quad (8.4)$$

где F – усилие, Н;

d – диагональ отпечатка, мм.

На практике число твердости определяют по специальным таблицам по значению диагонали отпечатка при выбранной нагрузке.

Метод Виккерса применяют главным образом для материалов, имеющих высокую твердость, а также для испытания на твердость деталей малых сечений или тонких поверхностных слоев, чем тоньше сечение детали или исследуемый слой, тем меньше выбирают нагрузку. Числа твердости по Бринеллю и Виккерсу для материалов, имеющих твердость до 450 HB , практически совпадают.

Твердость по Роквеллу

Этот метод измерения твердости (ГОСТ 9013) наиболее универсален и наименее трудоемок. Значение твердости по Роквеллу фиксируется непосредственно стрелкой индикатора по шкале твердомера, при этом отпадает необходимость в оптическом измерении размеров отпечатка. Число твердости зависит от глубины вдавливания наконечника. В качестве индентора используют алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной шарик диаметром 1.5888 мм. Нагрузку выбирают в зависимости от материала наконечника. Для различных комбинаций нагрузок и наконечников прибор Роквелла имеет три измерительные шкалы: А, В, С.

Внутренняя, красного цвета шкала В используется при испытании шариком, а величина твердости обозначается индексом HRB . Наружная чёрного цвета шкала С совмещена со шкалой А, и обе они используются при испытании алмазным конусом. Величина твердости обозначается HRC и HRA соответственно.

Твёрдость по Роквеллу измеряется в условных единицах, и число твёрдости является отвлечённым. За единицу твёрдости принято внедрение в испытуемый образец алмазного конуса или шарика на глубину 0,002 мм.

8.2. Изучение микроструктуры стали

Методами исследования структуры металлов является макроскопический и микроскопический анализы. Макроскопический анализ представляет собой изучение структуры металла невооружённым глазом или с помощью лупы при увеличении до 30 раз. При микроскопическом анализе структура металла исследуется при больших увеличениях с помощью специальных металлографических микроскопов. Микроскоп позволяет рассматривать предмет в отражённом свете.

В микроскопе рассматриваются микрошлифы – специальные образцы металла, имеющие полированную поверхность, отражающую световые лучи.

Материалы и оборудование: станок для шлифовки и полировки шлифов, микроскопы МИМ-6, МКИ-2М-1, реактив для травления микрошлифов, образцы сталей.

Выполнение работы. Микроскопический анализ состоит из следующих операций: приготовление шлифов, травление шлифов, исследование структуры металлов и сплавов под микроскопом. Структура – взаимное расположение фаз в сплаве, их форма и размеры. Структурные составляющие сплава – обособленные части сплава, имеющие одинаковое строение и характерные свойства. Шлифование проводят последовательно шлифовальной бумагой с уменьшающимся размером зерна. Шлифование на взятой бумаге нужно проводить только в одном направлении. При переходе на бумагу другого номера шлифовать следует в направлении, перпендикулярном рискам, оставшимся после шлифования на предыдущей бумаге. На последнем номере бумаге необходимо полностью удалить видимые риски. Шлиф промыть водой. Для удаления мелких рисков образец после шлифования полируют на вращающемся круге с натянутым полировальным материалом (фетр, тонкое сукно и др.). Полировальный материал периодически поливают водой с абразивным веществом (окись алюминия, окись железа, окись хрома и др.). Полирование считается законченным, когда поверхность образца приобретает зеркальный блеск и под микроскопом не видны риски и царапины. Шлиф промывают водой и просушивают фильтровальной бумагой. Травление шлифов необходимо для выявления структуры металла. Нетравленный полированный шлиф металла под микроскопом имеет вид светлого круга. При травлении отдельные части зерна, различные структурные составляющие травятся по-разному. Те составляющие структуры, которые протравятся сильнее, образуют на поверхности шлифа впадины. При попадании луча на такую впадину, он отражается в сторону и не попадает в объектив и в глаз наблюдателя. Это место будет казаться тёмным пятном. Наиболее распространённым реактивом для травления углеродистых сталей и чугунов является 4%-ный раствор азотной кислоты в спирте. В этот раствор погружают отполированную поверхность микрошлиф на 4-6 секунд. Затем шлиф промывают водой, просушивают фильтровальной бумагой и просматривают под микроскопом. Если структура выявлена неотчётливо, шлиф травят дополнительно. В случае же если структура сильно затемнена, производят повторную полировку и травление.

Металлографический микроскоп МИМ-6 состоит из оптической, осветительной (с фотографической аппаратурой) и механической систем. Набор объективов и окуляров прибора даёт возможность получать общее увеличение до 1425^{\times} при визуальном наблюдении и до 1500^{\times} при фотографировании.

Микрошлиф устанавливают на предметный столик вниз поверхностью, подготовленной для исследования, и наводят на фокус для получения чёткого изображения.

Для изучения сплавов и последующего практического использования строят диаграммы состояния. На диаграмме состояния по вертикальной оси откладывают температуры, по горизонтальной оси – содержание компонентов.

Диаграммы дают в сжатой наглядной форме картину изменения строения и свойства сплавов при изменении температуры и концентрации. Основой для определения фаз и структурных составляющих железоуглеродистых сплавов в равновесном состоянии является диаграмма железо-углерод или железо-цементит (рисунок 24).

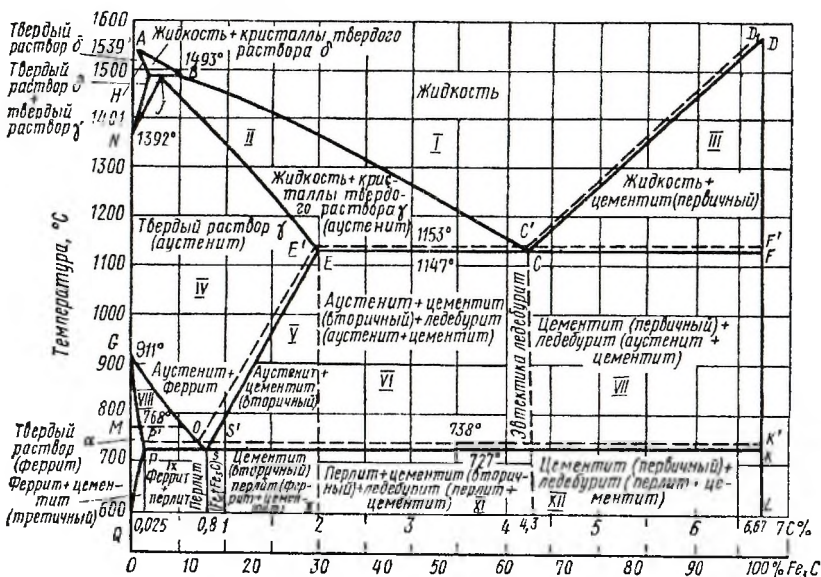


Рисунок 24 – Диаграмма железо-цементит

Структурными составляющими углеродистой стали после её полного отжига являются следующие структуры. В зависимости от содержания углерода и температуры в системе железо - углерод наблюдаются однофазные структуры образования - жидкий сплав углерода и железа, твердые растворы углерода в железе - феррит и аустенит, химическое соединение железа и углерода - цементит, структурно свободный углерод - графит, а также двухфазные структурные составляющие - перлит и ледебурит.

Феррит (Ф) – твердый раствор внедрения углерода в α-железе, имеет ОЦК решетку. Максимальная растворимость углерода в α-железе при температуре 727°C составляет 0,02%. Феррит магнитен на диаграмме состояния Fe-C (рисунок 24) занимает область GPQ. Он характеризуется низкой прочностью ($\sigma_b=250$ МПа, $\sigma_{0.2}=120$ МПа) и твердостью (80...100 НВ), высокой пластичностью ($\delta=50\%$, $\psi=80\%$).

Аустенит (А) – твердый раствор внедрения углерода в γ-железе, имеет ГЦК решетку. Предельная растворимость углерода в γ-железе при температуре 1147°C составляет 2,14%. Аустенит немагнитен на диаграмме состояния Fe-C занимает область AESG. Он имеет твердость 160 НВ при высокой пластичности ($\delta=40\text{...}50\%$), низкий предел текучести.

Цементит (Ц) – химическое соединение железа с углеродом (карбид железа Fe_3C), содержит 6,67% С. Цементит имеет сложную ромбическую решетку с плотной упаковкой атомов. Температура плавления цементита не установлена и принимается равной 1252°С. Цементит характеризуется высокой твердостью (>800НВ) и очень низкой пластичностью. Он является метастабильной фазой и при нагреве распадается с выделением свободного графита. В зависимости от условий образования различают цементит первичный (Ц_I), который образуется из жидкости при затвердевании расплава, вторичный (Ц_{II}) – образуется при распаде аустенита и третичный, (Ц_{III}) – образуется при выделении углерода из феррита.

Перлит (П) – двухфазная (эвтектоидная) механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,83% С, образуется при 727°С в результате распада аустенита в процессе его охлаждения. Перлит может быть пластинчатым (состоящим из чередующихся пластинок цементита и феррита) и зернистым, что определяет механические свойства перлита. При комнатной температуре зернистый перлит имеет прочность $\sigma_b=800$ МПа, пластичность $\delta=15\%$, твердость 160...200 НВ.

Ледебурит (Л) – двухфазная (эвтектическая) механическая смесь аустенита и цементита. Образуется в результате кристаллизации жидкого расплава, содержащего 4,3% С при температуре 1147°С. Твердость ледебурита 600...700 НВ. Он очень хрупок. Так как при температуре ниже эвтектоидной (727°С) аустенит превращается в перлит, то ледебурит ниже эвтектоидной прямой РК, состоит из цементита и перлита.

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые сплавы делят на техническое железо (содержание углерода от 0 до 0,02%), стали (от 0,02 до 2,14%) и чугуны (от 2,14 до 6,67%). Стали, в свою очередь, делят на доэвтектоидные (С<0,8%), эвтектоидные (С=0,8%) и заэвтектоидные (С>0,8%). Доэвтектоидные стали используются преимущественно в качестве конструкционных, эвтектоидные и заэвтектоидные – в качестве инструментальных материалов. Структура доэвтектоидных сталей (рисунок 25) состоит из феррита (белые включения) и перлита (темные включения). С увеличением содержания углерода количество перлита увеличивается, а феррита - уменьшается. Структура эвтектоидной стали (рисунок 26) на 100% состоит из перлита, а заэвтектоидной (рисунок 27) - из перлита (темные участки) и цементита (светлые участки в виде сетки по границам зерен).

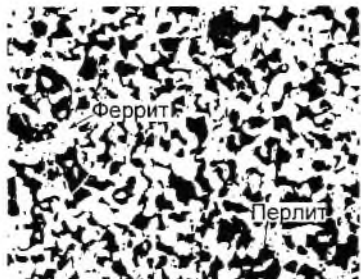


Рисунок 25 – Структура доэвтектоидной стали (0,3%С) (×200)



Рисунок 26 – Структура эвтектоидной стали с пластинчатым перлитом (×2000)



Рисунок 27 – Структура заэвтектоидной стали (1,2%С) (×200)

На диаграмме состояния представлены так называемые белые чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии в составе цемента. Эти чугуны в зависимости от содержания углерода и структуры классифицируют на доэвтектические (массовая доля углерода меньше 4,3%), эвтектические (массовая доля углерода равна 4,3%) и заэвтектические (массовая доля углерода 4,3...6,67%). Они практически не поддаются обработке резанием и используются для последующего передела в сталь или ковкий чугун.

Площадь, занимаемую той или иной структурой составляющей, можно с достаточной точностью определить на глаз. Поскольку в доэвтектоидных сталях углерод почти полностью входит в состав перлита, на основании найденной площади перлита можно вычислить содержание углерода в стали. Например, если площадь перлита занимает примерно 40% всей площади, то содержание углерода в стали может быть определено из пропорции:

$$\begin{aligned}
 &100\% \text{ перлита} - 0,8\% \text{ C}, \\
 &40\% \text{ перлита} - x\% \text{ C}, \\
 &\text{откуда } x = \frac{40 \times 0,8}{100} \approx 0,3\% \text{ C}.
 \end{aligned}$$

Порядок проведения исследования:

1. Определить твёрдость и прочность образцов из углеродистой стали.
2. Провести микроскопический анализ стали, зарисовать и описать микроструктуру. Определить содержание углерода и марку стали.
3. Вычертить часть диаграммы $Fe-Fe_3C$ и указать местоположение исследуемых сплавов.
4. Построить график зависимости твёрдости и прочности стали от содержания в ней углерода.

Контрольные вопросы и задания:

1. Какие механические характеристики определяют для строительных металлов и сплавов?
2. Какие существуют методы определения твердости металлов?
3. В чем сущность определения твердости по Бринеллю и по Роквеллу?
4. В каком порядке изготавливают микрошлифы?
5. Как разделяют стали по составу (по количеству углерода)?
6. Каков фазовый состав железоуглеродистых сплавов при комнатной температуре?
7. Что такое твердые растворы, механические смеси, химические соединения?
8. Каковы принципы маркировки сталей?
9. Приведите примеры маркировки углеродистых и легированных сталей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ЛИТЕРАТУРА

1. Горчаков, Г.И. Строительные материалы: учеб. для вузов / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
2. Строительное материаловедение: учебное пособие / под общей ред. В.А. Невского. – Изд. 2-е, доп. и перераб. Ростов н/Д: Феникс, 2009. – С. 588, ил.
3. Киреева, Ю.И. Строительные материалы и изделия / Ю.И. Киреева, О.В. Лазаренко. – Мн.: Дизайн ПРО, 2001. – 272 с.
4. Комар, А.Г. Технология производства строительных материалов / А.Г. Комар, Ю.М. Баженов, Л.М. Сулименко. – М.: Высшая школа, 1990. – 446 с.
5. Попов, К.Н. Физико-механические испытания строительных материалов: учеб. для подгот. рабочих на пр-ве / К.Н. Попов, И.К. Шмурнов. – М.: Высш. школа, 1989. – 239 с.
6. Попов, Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов: учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1984. – 168 с.
7. Общий курс строительных материалов: учеб. пособие для строит. спец. вузов / И.А. Рыбьев, Т.И. Арефьева, Н.С. Баскаков [и др.]; под ред. И.А. Рыбьева. – М.: Высш. школа, 1987. – 584 с.
8. Строительные материалы: учеб. для вузов / В.Г. Микульский, В.Н. Куприянов, Г.П. Сахаров [и др.]; под ред. В.Г. Микульского. – М.: Изд. АСВ, 2000. – 536 с.
9. Строительные материалы: справочник / Под общ. ред. Е.Н. Штанова. – Нижний Новгород: Изд. «Вента-2», 1995. – 230 с.
10. Чубуков, В.Н. Строительные материалы и изделия / В.Н. Чубуков, В.Н. Основин, Л.В. Шуляков. – Мн.: Дизайн ПРО, 2000. – 240 с.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АКТЫ ПО ИСПЫТАНИЮ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

- ГОСТ 125-79. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
- ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
- ГОСТ 22688-77. Известь строительная. Методы испытаний.
- ГОСТ 23789-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
- ГОСТ 30515-97. Цементы. Общие технические условия.
- ГОСТ 30629-2011. Материалы и изделия из горных пород. Методы испытаний.
- ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка.
- ГОСТ 310.1-76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения.
- ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола.
- ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема.
- ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.

- ГОСТ 310.5-88. Цементы. Методы определения тепловыделения.
- ГОСТ 310.6-85. Цементы. Метод определения водоотделения.
- ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия.
- ГОСТ 6139-2003. Песок для испытаний цемента. Технические условия.
- ГОСТ 7025-91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости.
- ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
- ГОСТ 9179-77. Известь строительная. Технические условия.
- СТБ 1160-99. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
- СТБ 1285-2001. Породы карбонатные для производства строительной извести. Технические условия.
- СТБ 4.206-94. Материалы стеновые каменные. Номенклатура показателей.
- СТБ 4.211-94. Система показателей качества продукции. Материалы строительные нерудные и заполнители для бетона пористые. Номенклатура показателей.
- СТБ ЕН 196. Методы испытания цемента. В 10-ти частях.
- СТБ ЕН 197. Цемент.
- СТБ ЕН 459. Известь строительная.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>ПРЕДИСЛОВИЕ</i>	3
Лабораторная работа №1 <i>ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</i>	8
Лабораторная работа №2 <i>ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</i>	14
Лабораторная работа №3 <i>ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</i>	20
Лабораторная работа №4 <i>ИСПЫТАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА</i>	29
Лабораторная работа №5 <i>ИСПЫТАНИЕ ИЗВЕСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ВОЗДУШНОЙ</i>	38
Лабораторная работа №6 <i>ГИПС СТРОИТЕЛЬНЫЙ</i>	44
Лабораторная работа №7 <i>ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ</i>	51
Лабораторная работа №8 <i>ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ</i>	58
<i>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</i>	65

Учебное издание

Составители:

Шалобыта Татьяна Петровна

Марчук Виталий Алексеевич

СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум

Часть 1

для студентов строительных специальностей

Ответственный за выпуск: **Шалобыта Т.П.**

Редактор: **Боровикова Е.А.**

Корректор: **Никитчик Е.В.**

Компьютерная вёрстка: **Романюк И.Н., Боровикова Е.А.**

Подписано к печати 23.09.2013 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Снегурочка».
Гарнитура Arial. Усл. п. л. 4,0. Уч. изд. л. 4,25. Тираж 75 экз. Заказ № 1004.
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267.