

ФГБОУ ВПО СТАВРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Е.В.Зубенко, И.Н.Кравченко**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

Учебно-методическое пособие  
(Лабораторный практикум)  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся по  
направлению: 21.03.02 – «Землеустройство и кадастры»

Ставрополь  
«АГРУС»  
2022

УДК 620.22 (026)  
ББК 30.3 я73

**Составители:**

*Е.В.Зубенко, И.Н.Кравченко*

**Рецензент**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Процессы и машины в агробизнесе» Л.И. Высочкина

3911 Материаловедение : Учебно-методическое пособие / сост.  
Е.В.Зубенко, И.Н.Кравченко. -Ставрополь: АГРУС  
Ставропольского гос.аграрного ун-та,2022.-83с.

В учебно-методическом пособии рассматриваются основные методы определения свойств строительных материалов, испытаний керамических изделий, теплоизоляционных материалов, битумных вяжущих материалов, оценка прочности клеевых соединений, методика определения прочности бетонов механическими методами, изучаются процессы кристаллизации.

Предназначены для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению: 120700.62 – «Землеустройство и кадастры»

УДК 620.22 (026)  
ББК 30.3 я73

*Одобрено и рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией факультета механизации сельского хозяйства Ставропольского государственного аграрного университета (протокол № 2 от 09.09.2022г.)*

Составители, 2022  
ФГБОУ ВПО Ставропольский  
государственный аграрный  
университет  
**Ставрополь**  
**2022**

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	4
<b>ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ</b>	7
<b>1 ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b>	
1.1 <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1</b>	8
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
1.1.1 Определение плотности	8
1.1.2 Определение средней плотности	10
1.1.3 Определение пористости	13
1.2 <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2</b>	15
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ и ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
1.2.1 Определение водопоглощения	15
1.2.2 Определение коэффициента размягчения	16
1.2.3 Теплофизические свойства	20
1.3 <b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3</b>	26
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<b>2 ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>	
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4</b>	31
ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ	
<b>3 КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ</b>	
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5</b>	37
ИСПЫТАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА	
3.1 Оценка дефектов кирпич	38
3.2 Определение водопоглощения	38
3.3 Определение марки кирпича	39
<b>4 ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>	
<b>4.1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6</b>	43
МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
4.1.1 Минеральная вата	43
4.1.2 Вспученный вермикулит	48
4.1.3 Пенополистинол	50
<b>5 БИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ</b>	
5.1 МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ	53

МАТЕРИАЛОВ	
5.1.1 Нефтяные битумы	53
5.1.2 Асфальтобетон	60
<b>6 СКЛЕИВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ</b>	
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7</b>	64
6.1 ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ	
<b>7 БЕТОНЫ</b>	
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8</b>	67
7.1 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА МЕХАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	
<b>8 КРИСТАЛИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ</b>	
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9</b>	78
8.1 ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b>	83

## ВВЕДЕНИЕ

Свойства строительных материалов определяют области их применения. Только при правильной оценке качества материалов, т. е. их важнейших свойств, могут быть получены прочные и долговечные строительные конструкции зданий и сооружений высокой технико-экономической эффективности.

*Свойствами* называют способность материалов определенным образом реагировать на воздействие отдельных или совокупных внешних или внутренних силовых, усадочных, тепловых и других факторов.

Свойства материалов всегда оценивают числовыми показателями, которые устанавливают путем испытаний. Все требования, предъявляемые к строительным материалам, оговорены в соответствующих государственных стандартах (ГОСТ). Наиболее распространенными из них являются стандарты: технических условий, технических требований; типов изделий и их основных параметров; методов испытаний; правил приемки, маркировки, упаковки, транспортирования и хранения. В стандартах на технические условия и технические требования приводятся показатели нормируемых свойств каждого строительного материала. В стандартах на методы испытаний описаны все методики, по которым проводится определение того или иного свойства материала. Здесь детально оговорены приборы и инструменты, с помощью которых испытываются материалы; последовательность и условия испытаний. Это осуществляется для получения сопоставимых данных по одному материалу при испытании в различных лабораториях. Таким образом, на каждый строительный материал существуют два стандарта: на технические требования и на методы испытаний.

Настоящие методические указания предназначены для проведения учебных лабораторных работ по курсу "Технология изоляционных материалов" и ознакомления с нормативно-технической литературой на исследуемые материалы.

При выполнении лабораторных работ студенты должны освоить современные методы испытаний и принципы классификации качества основных изоляционных материалов, а также научиться правильно назначать область использования этих материалов в строительстве.

Методические указания содержат:

- цели и задачи работы;
- общие положения;
- порядок выполнения;
- описание методов исследования материалов;

– указания по составлению выводов и заключений по проделанной работе.

Предлагаемые указания к лабораторным работам могут быть использованы в качестве вспомогательного материала при выполнении курсовых работ по данному курсу, а также представляют собой один из видов контроля знаний лекционного материала в течение семестра.

## **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ**

Перед началом лабораторных работ преподаватель проводит общий инструктаж по технике безопасного выполнения работ в лаборатории. Студенты, получившие инструктаж должны расписаться в специальном журнале.

Подпись студента означает, что он обязуется выполнять следующие основные правила: перед началом работы необходимо внимательно ознакомиться с заданием, оборудованием, инструментом и материалами, получить инструктаж правил безопасного проведения испытаний на рабочем месте; немедленно сообщить преподавателю или лаборанту о замеченных неисправностях приборов и нарушениях техники безопасности; не трогать, не включать, и не выключать без разрешения преподавателя или лаборанта рубильники, пускатели и другие электрические приборы и оборудование; при выполнении работ использовать защитную одежду; выполнять в лаборатории только ту работу, которая поручена, не загромождая своего рабочего места оборудованием и материалами, не относящимися к выполняемой работе; если произошел несчастный случай, немедленно сообщить об этом преподавателю или лаборанту для оказания первой помощи и составления акта.

## **ОТЧЕТ**

После выполнения лабораторной работы каждый студент в специальном журнале составляет индивидуальный отчет. В отчет включается: наименование и цель лабораторной работы; краткие общие сведения об испытуемом материале; краткое описание выполняемой работы, используемых приборов и оборудования, методов испытаний; результаты исследований, полученные отдельными звеньями и всей группой в виде таблиц и графиков; анализ результатов работы с частными и общими выводами и заключениями.

Защита отчетов осуществляется по мере завершения работ.

# 1 ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Все свойства строительных материалов по совокупности признаков подразделяют на **физические, гидрофизические, теплофизические, механические и технологические.**

## 1.1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К физическим свойствам относятся истинная плотность, средняя плотность, средняя насыпная плотность, пористость, пустотность.

### 1.1.1 Определение плотности

Плотность материала - отношение массы вещества материала к занимаемому им объему без учета пустот и пор. Это свойство материала называют еще истинной плотностью.

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ (г/см}^3\text{, кг/м}^3\text{)}, \quad (1.1)$$

где  $m$  - масса материала (г, кг),  
 $V$  - объем материала (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>).

Для определения плотности материала из отобранной и тщательно перемешанной средней пробы отвешивают 200-220 г, высушивают его при температуре  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постоянной массы, затем тонко измельчают в агатовой или фарфоровой ступке. Полученный порошок просеивают через сито с сеткой № 02 размер ячейки в свету 0,2 x 0,2 мм, и берут навеску около 180 г. просеянного порошка.

Плотность определяют с помощью прибора объемомера Ле-Шателье, представляющего колбу с расширением в цилиндрической части (рисунок 1.1), имеющим деления в нижней и верхней частях.

Объем этого расширения составляет порядка 20 см<sup>3</sup>. Объемомер наполняют до нижнего нулевого или любого другого деления жидкостью, инертной к испытываемому материалу (водой, безводным керосином или спиртом). Тщательно протирают тампоном или фильтровальной бумагой свободную от жидкости часть объемомера и помещают его в стеклянный сосуд с водой, имеющей температуру  $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ .



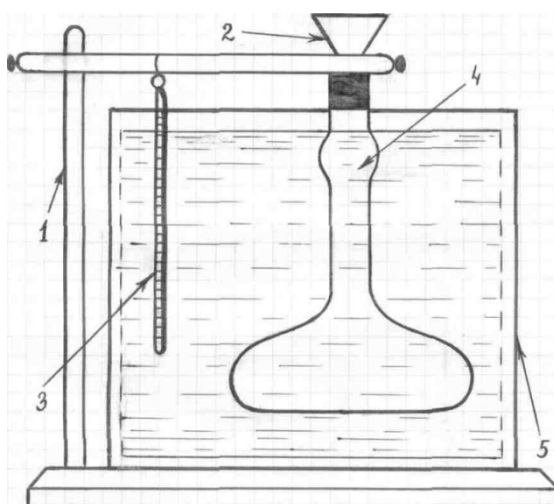


Рисунок 1.1 - Прибор Ле-Шателье для определения плотности материала: 1- штатив; 2-воронка; 3-термометр; 4-объемомер; 5-сосуд с водой.

Через 5 мин. после помещения объемомера в воду, отмечают уровень жидкости, пользуясь делениями в нижней части шкалы прибора. Затем от подготовленной пробы порошка материала отвешивают с точностью до 0,01г. на технических весах навеску 80 г. и через воронку высыплют материал в объемомер порциями до тех пор, пока уровень жидкости в нем не поднимется до одного из делений в верхней части шкалы прибора. Разность между конечным и начальным уровнями жидкости в объемомере показывает объем порошка  $V$ , высыпаемого в прибор. Остаток порошка взвешивают и по разности между начальной навеской  $m$  и остатком  $m_1$  определяют массу высыпаемого порошка в объемомер.

Плотность материала в  $\text{г/см}^3$  равна:

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

где  $m$  - первоначальная навеска материала, г,;

$m_1$  - остаток от навески, г;

$V$  - объем жидкости, вытесненной засыпанным порошком в прибор,  $\text{см}^3$ .

Плотность материала определяют с точностью до  $0,01 \text{ г/см}^3$ , как среднее арифметическое двух отдельных определений на разных навесках.

Для ориентировочного определения плотности материала можно воспользоваться мерным цилиндром емкостью от 100 до 250  $\text{см}^3$  с ценой деления 1 или 2  $\text{см}^3$ . В этом случае в цилиндр наливают

жидкость на 1/3 его объема, отмечают уровень по нижнему мениску жидкости, затем осторожно высыпаят в него навеску порошка материала массой 50 – 100 г. и вновь отмечают уровень жидкости. По разности конечного и начального уровней определяют объем высыпанного в цилиндр порошка. Затем по выше приведенной формуле определяют плотность материала.

### 1.1.2 Определение средней плотности

Средняя плотность (в последующем **изложении**—плотность) – отношение массы материала (г.) к его объему (см<sup>3</sup>) в естественном состоянии вместе с пустотами и порами:

$$\rho_0 = \frac{m}{V_1}, \quad (1.3)$$

где  $m$  - масса образца материала (г, кг);

$V_1$  - объем образца (см<sup>3</sup>, м<sup>3</sup>).

Плотность материалов обычно измеряется в кг/м<sup>3</sup> или в г/см<sup>3</sup>.

Большинство строительных материалов имеют поры. Чем их больше в материале, тем меньше его плотность.

При определении плотности материала можно использовать образцы как правильной, так и неправильной геометрической формы. От формы образца зависит метод определения плотности материала.

#### Определение плотности образцов правильной формы

Для определения плотности материала готовят образцы в форме куба, параллелепипеда или цилиндра. Берут три образца и высушивают их в шкафу при температуре  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ , охлаждают в эксикаторе и хранят в нем до момента испытания.

Штангельциркулем измеряют образцы с точностью до 0,1 мм как это показано на рисунке 1.2.

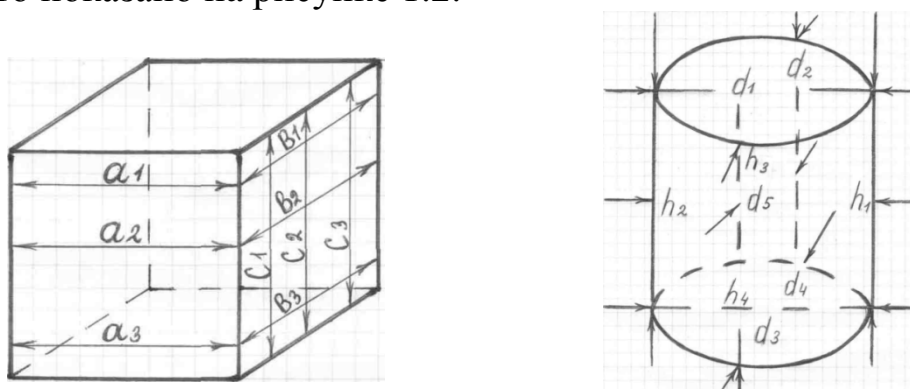


Рисунок 1.2 - Схема измерения объема образцов

За окончательный результат принимают среднее арифметическое трех измерений каждой грани куба или

параллелепипеда. На каждой из параллельных плоскостей образца цилиндрической формы проводят два взаимно перпендикулярных диаметра ( $d_1, d_2, d_3, d_4$ ) и измеряют их длину; кроме того, измеряют диаметры средней части цилиндра ( $d_5, d_6$ ) в середине его высоты. За окончательный результат принимают среднее арифметическое шести измерений диаметра. Высоту цилиндра определяют в четырех местах по образующим в двух взаимно перпендикулярных направлениях и за окончательный результат принимают среднее арифметическое четырех измерений.

Объем образца ( $\text{см}^3$ ), имеющего форму куба или параллелепипеда:

$$V_0 = a_{\text{cp}} * b_{\text{cp}} * c_{\text{cp}} \quad (1.4)$$

где  $a_{\text{cp}}, b_{\text{cp}}, c_{\text{cp}}$  - средние значения размеров граней образца, см.

Объем образца цилиндрической формы ( $\text{см}^3$ ):

$$V_0 = \frac{\pi d_{\text{cp}}^2}{4} * h_{\text{cp}}, \quad (1.5)$$

где  $d_{\text{cp}}$  - средний диаметр цилиндра, см;

$h_{\text{cp}}$  - средняя высота цилиндра, см.

Затем каждый образец взвешивают с точностью до 0,1 г. при массе образца до 500 г. и до 1 г., если масса образца более 50 г. Зная массу и объем образца, вычисляют его плотность ( $\text{г}/\text{см}^3$ ) по формуле (1.3).

Определение плотности материала производят на 3-5 образцах.

### **Определение плотности образцов неправильной геометрической формы**

При определении плотности образца применяют метод, основанный на вытеснении образцом из сосуда жидкости, в которую его погружают, для чего используют объеммер и гидростатические весы.

*Определение плотности материала с помощью объеммера*

Для определения плотности используют прибор объеммер (рисунок 1.3), представляющий собой металлический или стеклянный цилиндр (1) диаметром 150 и высотой 350 мм со впаянной на высоте 250 мм трубкой (2) диаметром 8-10 мм с загнутым вниз концом.

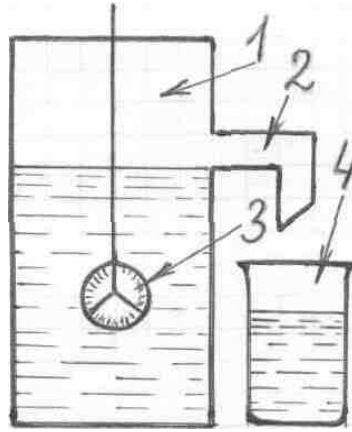


Рисунок 1.3 - Объемомер.

Объемомер наполняют водой несколько выше трубки и ждут, пока избыток воды стечет, затем под трубку подставляют взвешенный стакан (4). Каждый образец (3) высушивают, взвешивают, а затем парафинируют, и снова взвешивают. При погружении испытуемого парафинированного образца в объемомер, вытесняемая вода будет вытекать через трубку в стакан, который вместе с водой взвешивают и определяют массу вытесненной воды.

Плотность образца вычисляют следующим образом. Вначале определяют объем парафина ( $\text{см}^3$ ), затраченного на покрытие образца:

$$V_n = \frac{m_2 - m_1}{\rho_n}, \quad (1.6)$$

где  $m_1$  - масса сухого образца, г;

$m_2$  - масса парафинированного образца, г;

$\rho_n$  - плотность парафина, равная  $0,93 \text{ г/см}^3$ .

Затем вычисляют плотность образца ( $\text{г/см}^3$ ):

$$\rho_0 = \frac{m_1}{V_{on} - V_n}, \quad (1.7)$$

где:  $m_1$  - масса сухого образца, г;

$V_{on}$  - объем образца с парафином, ( $\text{см}^3$ );

$V_n$  - объем парафина,  $\text{см}^3$ .

В качестве объемомера допускается использовать мерные цилиндры объемом  $100-500 \text{ см}^3$  в зависимости от размера испытуемого образца.

*Определение плотности материалов методом гидростатического взвешивания.*

Образец неправильной геометрической формы высушивают до постоянной массы, взвешивают на технических весах, затем

парафинируют и снова взвешивают. Затем его подвешивают на тонкой нити к крючку приспособления, закрепленного на левом конце коромысла гидростатических весов (рисунок 1.4).

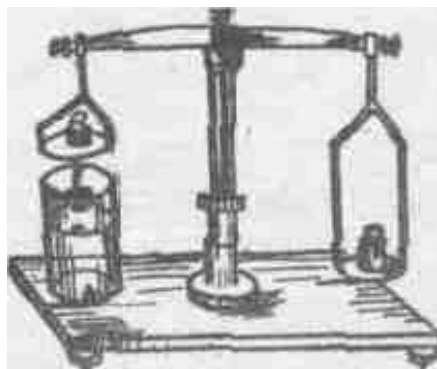


Рисунок 1.4 - Гидростатические весы

Массу образца уравнивают гирями, устанавливая их на правую чашу. Образец погружают в стакан с водой так, чтобы он не касался стенок и дна, при этом равновесие весов нарушается, весы снова уравнивают, сняв с правой чаши часть гирь и определяют массу образца в воде. Разность масс парафинированного образца в воздухе и в воде численно равна объему парафинированного образца. Далее по формуле (1.8) определяют плотность образца.

Плотность материала вычисляют как среднее арифметическое определений 3-5 образцов.

Плотность также можно определить без парафинирования образцов, насыщая их водой. Ход определения: взвешивают сухой образец ( $m_1$ ), затем насыщают его водой до постоянной массы и вновь взвешивают ( $m_2$ ), после чего взвешивают насыщенный образец в воде ( $m_3$ ).

Плотность образца определяют:

$$\rho_0 = \frac{m_1}{m_2 - m_3} * \rho_в, \quad (1.8)$$

Результаты определений заносят в лабораторный журнал в таблице 4.

### 1.1.3 Определение пористости

Пористость материала характеризуется степенью заполнения его объема порами и численно равна отношению объема пор к внешнему объему образца материала.

$$P = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right) * 100, \quad (1.9)$$

где  $P$  - пористость, %;  
 $\rho_0$  - объемная масса образца, г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho$  - плотность образца, г/см<sup>3</sup>.

Пористость в значительной степени определяет эксплуатационные свойства материалов: водопоглощение, водопроницаемость, морозостойкость, теплопроводность, плотность и др.

*Пустотность* - это отношение суммарного объема пустот в зернистом материале ко всему объему, занимаемому этим материалом. Пустотами называют заполненное воздухом пространство между частицами зернистого материала, находящегося в рыхлом или уплотненном состоянии.

$$P_{уст} = \frac{\rho_0 - \rho_0^H}{\rho_0} \cdot 100\%, \quad (1.10)$$

где  $\rho_0$  - средняя плотность в зерне, г/см<sup>3</sup>;  
 $\rho_0^H$  - насыпная плотность зернистого материала, г/см<sup>3</sup>

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Перечислите физические свойства строительных материалов;
2. Что такое плотность материала?
3. Как определяют плотность материала?
4. Что такое объемометр?
5. Как влияют поры на плотность материала?
6. Сколько образцов материала используется для определения плотности?
7. Как производится определение плотности образцов правильной формы?
8. Что такое метод гидростатического взвешивания?
9. Чем характеризуется пористость материала?
10. Какое свойство определяет эксплуатационные свойства материалов?
11. Что такое пустотность?
12. Формула для определения пористости материала.
13. Формула для определения пустотности материала.
14. Формула для определения плотности материала.

## 1.2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ и ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Цель работы:** изучить гидрофизические и теплофизические свойства строительных материалов и методы их исследования.

**Оборудование и материалы:** Образцы строительных материалов (3 шт.), электро печь, весы, сосуд с водой, сушильный шкаф, ветошь.

**Основные положения:**

К основным гидрофизическим свойствам относятся *водопоглощение, влажность, водопроницаемость, морозостойкость.*

### 1.2.1 Определение водопоглощения

Водопоглощение - способность материала поглощать и удерживать в порах воду. По водопоглощению можно приблизительно характеризовать пористость материала, так как часть мелких и замкнутых пор водой не насыщается.

Водопоглощение характеризуют по массе и объему.

Водопоглощение по массе (%) равно отношению массы воды, поглощенной образцом при насыщении, к массе сухого образца:

$$B_{\text{мас}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100, \quad (1.11)$$

где  $m_1$  - масса сухого образца, г;

$m_2$  - масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение по объему равно отношению массы поглощенной образцом воды при его насыщении к объему образца (вместе с порами и пустотами):

$$B_{\text{об}} = \frac{m_2 - m_1}{V_0}, \quad (1.12)$$

где  $B_{\text{об}}$  - водопоглощение по объему, г/; см<sup>3</sup>

$V_0$  - объем образца, см<sup>3</sup>.

Отношение водопоглощения по объему и массе равно плотности материала:

$$\frac{B_{\text{об}}}{B_{\text{мас}}} = \frac{m_2 - m_1}{V_0} / \frac{m_2 - m_1}{m_1} = \frac{m_1}{V_0} = \rho_0. \quad (1.13)$$

Ниже приводится методика определения водопоглощения каменных материалов.

Образцы в количестве 3 шт. высушивают при температуре (110

$\pm 5$ ) °C до постоянной массы, затем взвешивают после их остывания на воздухе. После сушки образцы укладывают в сосуд с водой температурой 15-20 °C на решетку так, чтобы уровень воды в нем был выше верха образцов на 2-10 см. Образцы плотностью менее 1000 кг/м<sup>3</sup> пригружают, чтобы они не всплывали. Через 48 ч. выдерживания в воде образцы извлекают из сосуда, обтирают влажной тканью и немедленно взвешивают. Массу воды, вытекшей из образца на чашу весов, включают в массу насыщенного водой образца.

Водопоглощение по массе и объему вычисляют по формулам 1.12 и 1.13 как среднее арифметическое испытаний трех образцов горных пород.

Для ускоренного определения водопоглощения каменных материалов применяют способ кипячения. Высушенные до постоянной массы образцы погружают в сосуд с водой и кипятят в течении 4 ч, после чего их охлаждают до температуры 20-30 °C путем доливания в сосуд холодной воды. Затем образцы вынимают из сосуда, обтирают влажной тканью, сразу взвешивают и вычисляют водопоглощение. Водопоглощение по массе гранита, габбро, кварцита и др. плотных горных пород составляет 0,1-1%; известняка колеблется в широких пределах - от 0,5 до 2,5%. или 25.

### 1.2.2 Определение коэффициента размягчения

Коэффициент размягчения - отношение прочности водонасыщенного образца материала к прочности сухого. Коэффициент размягчения характеризует водостойкость строительных материалов. При коэффициенте размягчения 0,8 и выше материал считается водостойким, менее 0,8 - неводостойким.

**Влажность** — это количество воды, содержащееся в материале в естественном состоянии. В зависимости от способа подсчета различают влажность относительную и абсолютную.

$$W_{отн} = \frac{m_2 - m}{m_2} \cdot 100, \quad (1.14)$$

$$W_{абс} = \frac{m_2 - m}{m} \cdot 100\%, \quad (1.15)$$

где  $m_2$  - масса образца в естественном состоянии, г;

$m$  - масса сухого образца, г.

Влажность может быть капиллярной, адсорбционной, гидратной (кристаллизационной), водой затворения и водой набухания.

Капиллярная влага заполняет капилляры, субкапилляры и



мелкие поры материала и удерживается в них капиллярными силами.

Влага, поглощаемая из воздуха поверхностью частиц строительного материала, называется адсорбционной. Количество ее зависит от влажности воздуха, степени дисперсности материала и адсорбционных свойств.

Гидратной или кристаллизационной влагой называется вода, которая входит в состав кристаллов, например,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  и т. д.

С удалением кристаллизационной воды кристалл разрушается (при определенной температуре для каждого отдельного кристалла).

*Водой затворения* называют то количество ее, которое вводится из технических соображений в состав сырьевых бетонных и растворных смесей, керамических масс для придания им соответствующей подвижности, пластичности, удобоукладываемости, связанности и т. д.

Для определения влажности образцы любой формы взвешивают с точностью до 1 ч, затем высушивают в сушильном шкафу до постоянной массы при температуре  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Чтобы установить в процессе высушивания достижение образцами постоянной массы, необходимо производить взвешивание через каждые 1-2 ч. Одинаковые результаты двух последующих взвешиваний свидетельствует о том, что образец приобрел постоянную массу.

Влажность образца (%) определяют по формуле (1.15). Влажность испытываемого материала - среднее арифметическое из определения влажности трех образцов.

**Водопроницаемостью** называют способность материала пропускать воду под давлением. Степень водопроницаемости материалов зависит от их плотности и строения. Особо плотные материалы (стекло, битум, сталь) водонепроницаемы, материалы с замкнутыми мелкими порами также водонепроницаемы.

Водопроницаемость выражают количеством воды в граммах, прошедшей за 1 час через  $1 \text{ см}^2$  поверхности материала при постоянном давлении.

Водопроницаемость гидроизоляционных и кровельных материалов - один из важнейших показателей их качества.

**Морозостойкостью** называют способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения и без значительного понижения прочности.

Некоторые строительные материалы, соприкасавшиеся с наружным воздухом и водой, разрушаются. Разрушение вызывается

тем, что материал полностью насыщается водой, которая при температуре меньше 0°C замерзает в порах, увеличиваясь в объеме примерно на 9 %. Лед, образующийся в порах материала, давит на стенки пор и может их частично разрушать, вследствие чего прочность материала понижается. Плотные материалы без пор или с незначительной открытой пористостью практически морозостойки. Пористые же материалы обладают удовлетворительной морозостойкостью только в случае, если вода заполняет до 80 - 85 % доступных пор.

Испытание заключается в многократном от 10 до 200 раз (в зависимости от условий работы сооружений) замораживании образца, насыщенного водой, с оттаиванием его в воде комнатной температуры после каждого замораживания. Температура замораживания должна быть не выше -17°C, т. к. в тончайших порах вода замерзает только при указанной температуре.

Материал считают морозостойким, если после установленного числа циклов замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии прочность его снизилась не более чем на 15 - 25%, а потери в массе в результате выкрашивания не превышали 5 %.

По числу выдерживаемых циклов попеременного замораживания и оттаивания материалы подразделяют на марки Мрз 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 и более.

В лабораторных условиях замораживание образцов производят в холодильных камерах. Один-два цикла замораживания в камере дают эффект, близкий к 3 - 5 - годовому действию атмосферы. Существует также ускоренный метод испытания, по которому образцы погружают в насыщенный раствор сернокислого натрия и затем высушивают при температуре 100 - 110°C. Образующиеся при этом в порах камня кристаллы десятиводного сульфата натрия (со значительным увеличением объема) давят на стены пор еще сильнее, чем вода при замерзании. Такое испытание является особо жестким (ранее его называли пробой на сохранность). Один цикл испытания в растворе сернокислого натрия приравнивается к 5 - 10 и даже 20 циклам прямых испытаний замораживанием.

При испытании на морозостойкость (по ГОСТ 9479 - 2000) образцы испытуемого природного каменного материала в виде цилиндров диаметром 40 - 50 мм и кубиков с ребром размером 40-50 мм в количестве пяти для каждого испытания обмеряют и взвешивают в сухом состоянии. Затем их помещают в ванну с водой и выдерживают до полного насыщения (до постоянной массы), фиксируя массу каждого образца. После этого образцы помещают в

морозильную камеру не ближе чем на 20 мм друг от друга для лучшей циркуляции охлаждающего воздуха.

Образцы выдерживают в камере при температуре (-17 - 25)°С до полного промораживания. Продолжительность одного замораживания при установившейся температуре воздуха в камере минус 17 - 25°С должна составлять 4 ч.

Замороженные образцы вынимают из камеры и помещают для полного оттаивания, но не менее чем на 2 часа, в ванну с водой, имеющей температуру (20±5)°С. На этом заканчивается один цикл. Через каждые пять циклов замораживания - оттаивание образцы осматривают, взвешивают и по достижении определенного количества циклов испытывают на сжатие. Испытанию на сжатие подвергают также контрольные образцы, насыщенные водой, в течение 48 часов.

Потерю прочности образцов  $\Delta R$  в процентах вычисляют по формуле:

$$\Delta R = \frac{R_{сж} - R_{сж}^{нас}}{R_{сж}} \cdot 100\%, \quad (1.16)$$

где  $R_{сж}$  - среднее арифметическое значение прочности на сжатие пяти образцов в насыщенном водой состоянии, МПа (кгс/см<sup>2</sup>);

$R_{сж}^{нас}$  - среднее арифметическое значение прочности на сжатие пяти образцов после испытания их на морозостойкость, МПа (кгс/см<sup>2</sup>).

Если среднее значение потери прочности пяти образцов при сжатии после попеременного их замораживания и оттаивания не превышает 20 % при установленном числе циклов, то горная порода отвечает соответствующей марке по морозостойкости.

Если величину морозостойкости материала необходимо получить в короткие сроки (обычно для дорожного строительства), испытания производят ускоренным методом, который состоит в следующем. Готовят насыщенный раствор сернокислого натрия путем растворения в 1 л подогретой до 30°С дистиллированной воды 250 - 300г безводного сернокислого натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> или 700 -1000 г кристаллического сернокислого натрия: Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> • 10H<sub>2</sub>O. Образцы высушивают до постоянной массы и погружают в указанный раствор с температурой 15 - 20°С на 20 ч. Затем их вынимают и высушивают при температуре 105 -110°С в течение 4 ч, после чего охлаждают до комнатной температуры и вновь погружают в раствор сернокислого натрия на 4 ч. Цикл испытаний (насыщение и высушивание)

повторяют пять раз. После этого образцы осматривают и отмечают появившиеся повреждения. Прошедшие испытания образцы промывают горячей водой до полного удаления сернистого натрия, высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Потеря в массе каждого образца (%)

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100\%, \quad (1.17)$$

где  $m_1$  - масса высушенного образца до испытания, г;  
 $m_2$  - то же, после испытания, г.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое из трех определений образцов. По результатам испытания на морозостойкость определяют марку морозостойкости испытываемого материала (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Морозостойкость каменных материалов

Марка по морозостойкости ГОСТ 8267	Метод определения			
	Непосредственно замораживание		В растворе сернистого натрия	
	Число циклов	Потери в массе после испытания, %, не более	Число циклов	Потери в массе после испытания, %, не более
Мрз 15	15	10	3	10
Мрз 25	25	10	5	10
Мрз 50	50	5	10	10
Мрз 100	100	5	10	5
Мрз 150	150	5	15	5
Мрз 200	200	5	15	3
Мрз 300	300	5	15	2

### 1.2.3 Теплофизические свойства

К основным теплофизическим свойствам относятся теплопроводность, теплоемкость, термическая стойкость, огнестойкость и огнеупорность.

*Теплопроводность* - это свойство материала пропускать тепло через свою толщину от одной своей поверхности к другой.

Теплопроводность материала оценивают количеством тепла, проходящим через образец материала толщиной 1 м, площадью 1 м за 1 час при разности температур на противоположных плоскопараллельных поверхностях образца в 1К. Характеристикой теплопроводности является коэффициент теплопроводности  $\lambda$ . Величина  $X$  имеет размерность в Вт/(М·К). Теплопроводность материала зависит от многих факторов: природы материала, его структуры, степени пористости, характера пор, влажности и средней температуры, при которой происходит передача тепла. Тепловой поток проходит через твердый "каркас" и воздушные ячейки пористого материала. Теплопроводность воздуха ( $X = 0,023$  Вт/(м·К)) меньше, чем твердого вещества, из которого состоит «каркас» материала. Поэтому увеличение пористости является основным способом уменьшения теплопроводности. В материале стремятся создать мелкие закрытые поры, чтобы снизить количество теплоты, передаваемой конвекцией и излучением.

Приближенно коэффициент теплопроводности  $X$  можно вычислить по формуле В. П. Некрасова:

$$\lambda = 1,16 \cdot \sqrt{0,0196 + 0,22d^2} - 0,16, \quad (1.18)$$

где  $d$  - относительная плотность материала.

Точное значение определяют экспериментально.

С повышением температуры теплопроводность большинства строительных материалов увеличивается:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + \beta \cdot t), \quad (1.19)$$

где  $\lambda_t$  - коэффициент теплопроводности при температуре  $t$ , Вт/(м·К);

$\lambda_0$  - коэффициент теплопроводности при температуре  $0^\circ\text{C}$ , Вт/(м·К);

$t$  - температура материала,  $^\circ\text{C}$ ;

$\beta$  - температурный коэффициент, который показывает величину приращения теплопроводности при повышении температуры на  $1^\circ\text{C}$ .

Эта формула справедлива при температурах не выше  $100^\circ\text{C}$ .

Влага, попадающая в поры материала, увеличивает его теплопроводность, так как теплопроводность воды ( $\lambda = 0,58$  Вт/(м·К)) в 25 раз больше теплопроводности воздуха. Замерзание воды в порах с образованием льда еще больше увеличивает теплопроводность, поскольку теплопроводность льда ( $\lambda = 2,3$  Вт/(м·К)) в 4 раза больше, чем воды.

Наименование материала	Вт/(м·К)	Наименование материала	К Вт/(м·К)
Сталь	58	Легкий бетон	0,35 -0,8
Гранит	2,9-3,3	Сосу. древесина	0,15 -0,2
Тяжелый бетон	1,0-1,6	Минерал, вата	0,06 -0,09
Известняк	0,8-1,0	Пеностекло	0,06 -0,08
Кирпич керам.	0,8 - 0,9	Мипора	0,04 -0,05
Кирпич силикат.	0,4 - 0,7	Воздух	0,023

Теплопроводность можно охарактеризовать также термическим сопротивлением  $R(\text{м}^2\text{К}/\text{Вт})$ .

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (1.20)$$

где  $\delta$ - толщина слоя, м;

$\lambda$ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К).

Термическое сопротивление - важнейшая характеристика качества наружных ограждающих конструкций (стен, кровли и т. д.). От значения  $R$  зависит толщина наружных стен и расход топлива на отопление зданий.

*Теплоемкость* это способность материала поглощать при нагревании тепло и отдавать тепло при охлаждении. Характеризуется удельной теплоемкостью:

$$C = \frac{Q}{m \cdot (T_2 - T_1)}, \quad (1.21)$$

где  $C$  - удельная теплоемкость, Дж/(кг·К);

$Q$  - количество теплоты, затраченной на нагревание материала (выделяемого при охлаждении), Дж;

$m$  - масса материала, кг;

$T_2 - T_1$ - разность температур материала до и после нагрева (охлаждения), °С.

С повышением влажности материалов их теплоемкость возрастает.

Таблица 1.2 - Удельная теплоемкость некоторых строительных материалов

Наименование материала	Удельная теплоемкость $C, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$
Сталь	460
Каменные материалы	755-925
Тяжелый бетон	800 - 900
Древесноструж. плита	1340-1630

Лесные материалы	2380-2720
Вода	4190

Чем больше удельная теплоемкость материала, тем выше при всех прочих равных условиях теплоустойчивость зданий, т.е. способность ограждающих конструкций сохранять постоянство температурного режима внутри ограждаемого помещения, несмотря на колебания температуры наружного воздуха. Это особенно важно для зданий с постоянным температурным режимом (музеи, книгохранилища, картинные галереи и т. д.), а также при расчете подогрева материала для зимних бетонных работ, при расчете печей.

*Термическая стойкость* - это свойство материала не растрескиваться при резких и многократных изменениях температуры. Термическая стойкость зависит от степени однородности материала и от коэффициента температурного расширения. Наименее термостойки композиты, состоящие из разных материалов, имеющих различный коэффициент термического расширения. К ним можно отнести бетон, гранит. При сезонном изменении температуры окружающей среды на 50°С относительная температурная деформация достигает  $L = 0,5 - 1,0$  мм/м. Поэтому во избежание разрушения сооружений большой протяженности их разрезают деформационными швами.

*Огнестойкость* - свойство материала сопротивляться действию огня при пожаре без потери несущей способности (большого снижения прочности и значительных деформаций).

Строительные материалы по степени огнестойкости делят на негоряемые, трудно сгораемые и сгораемые. К негоряемым относят материалы, которые не горят и не тлеют под воздействием открытого источника огня. Несгораемые материалы - это бетон, железобетон, керамические материалы. Сталь не относится к огнестойким материалам, так как при температуре 600°С и выше конструкции из нее получают значительные деформации и теряют несущую способность.

*Трудносгораемые* - это материалы, которые горят или тлеют под воздействием открытого источника огня, но горение или тление прекращается после снятия воздействия источника огня. К таким материалам относятся асфальтобетон, гидроизол, фибролит, древесина, пропитанная огнезащитными составами - антипиренами. Сгораемые - это материалы, которые горят или тлеют под воздействием открытого источника огня, и горение или тление продолжается после снятия этого воздействия. К таким материалам относятся древесина, войлок, битум, смолы и т. д. Сгораемые

материалы необходимо защищать от возгорания. Широко используют конструктивные меры, исключая непосредственное воздействие огня на материал в условиях пожара.

*Огнеупорность* - свойство материала противостоять длительному воздействию высокой температуры без деформации и расплавления. Материалы по степени огнеупорности подразделяют на огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие. К огнеупорным относят материалы, имеющие температуру огнеупорности свыше 1580°C. Тугоплавкие имеют температуру огнеупорности от 1350 до 1580°C. Легкоплавкие - менее 1350 °C. Температура огнеупорности определяется с помощью стандартного конуса Зегера (рисунок 1.7). Образец материала помещают на подставке в печь и поднимают температуру. Температура, при которой образец коснется вершиной подставки, принимается за температуру огнеупорности.

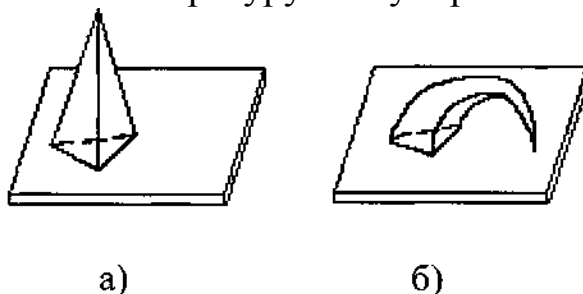


Рисунок 1.7 – Определение температуры огнеупорности

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Какие свойства относятся к гидрофизическим?
2. Что такое водопоглощение материала?
3. Как определяется водопоглощение по массе?
4. Как определяется водопоглощение по объему?
5. Методика определения водопоглощения.
6. Что такое коэффициент размягчения?
7. Что характеризует коэффициент размягчения?
8. Какой материал считается водостойким и какой - неводостойким?
9. Что такое влажность?
10. Формула для определения относительной влажности.
11. Формула для определения абсолютной влажности.
12. Что такое капиллярная влажность?
13. Что такое адсорбционная влажность?
14. От чего зависит адсорбционная влажность?
15. Что называется гидратной (кристаллизационной) влагой?
16. Что называют водой затворения?



- 17.Методика определения влажности.
- 18.Из чего складывается влажность испытываемого материала?
- 19.Что такое водопроницаемость?
- 20.От чего зависит степень водопроницаемости материала?
- 21.Какие материалы являются водонепроницаемыми?
- 22.Какое свойство является один из важнейших показателей качества гидроизоляционных и кровельных материалов?
- 23.Что такое морозостойкость?
- 24.В чем заключается испытание на морозостойкость?
- 25.Какой материал считается морозостойким?
- 26.Что означает запись Мрз 15?
- 27.Методика определения морозостойкости.
- 28.Как определяют марку морозостойкости испытываемого материала?
- 29.Какие свойства относятся к теплофизическим?
- 30.Что такое теплопроводность?
- 31.Как оценивают теплопроводность материала?
- 32.Как влияет влага, попадающая в поры материала на теплопроводность?
- 33.Как влияет замерзание воды в порах материала на теплопроводность?
- 34.Чем характеризуется теплопроводность?
- 35.Что такое термическое сопротивление?
- 36.Что такое теплоемкость?
- 37.Чем характеризуется теплоемкость?
- 38.Что такое удельная теплоемкость?
- 39.Как влияет на теплоемкость материалов повышение влажности?
- 40.Что такое термическая стойкость?
- 41.От чего зависит термическая стойкость материала?
- 42.Что такое огнестойкость?
- 43.Как по степени огнестойкости делятся строительные материалы?
- 44.Что такое трудносгораемые и сгораемые материалы?
- 45.Что такое огнеупорность?
- 46.Какие материалы относят к огнеупорным ?
- 47.Какие материалы относят к тугоплавким и легкоплавким?

### 1.3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Цель работы:** изучить механические свойства строительных материалов и методы их исследования.

**Оборудование и материалы:** разрывная машина, гидравлический пресс, образцы для испытаний, круг истирания, кварцевый песок, порошкообразный наждак.

#### **Основные положения:**

Механические свойства характеризуются способностью материала сопротивляться всем видам внешних воздействий с приложением силы. К таким свойствам относят прочность, твердость, истираемость, сопротивление удару, упругость.

**Прочность** - это свойство материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих от приложения нагрузки.

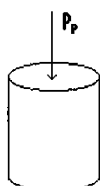
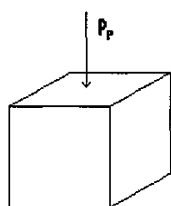
Материалы, находясь в сооружении, могут испытывать различные нагрузки.

Наиболее характерными для строительных конструкций являются сжатие, изгиб, растяжение. Прочность строительных материалов численно оценивается пределом прочности. Единицей измерения предела прочности является паскаль (Па) ( $\text{н/м}^2$ ) ИЛИ  $\text{КГС/СМ}^2$ . Поскольку паскаль сравнительно небольшая величина, то в практике используется МПа ( $10^6$  Па). Соотношение между мегапаскалем и  $\text{КГС/СМ}^2 = 1:10$ , то есть  $1 \text{ кгс/см}^2 = 0,1 \text{ МПа}$ . В общем случае предел прочности зависит от значения разрушающей нагрузки ( $P_p$ ) и сечения образца, по которому происходит разрушение ( $S$ ).

То есть

$$R = f(P_p; S). \quad (1.22)$$

Предел прочности при сжатии ( $R_{\text{сж}}$ ) определяется на образцах правильной геометрической формы - куба или цилиндра, у которого диаметр равен высоте. Размеры этих образцов зависят от однородности материала



а) куба;

б) цилиндра

Испытания проводят на гидравлическом прессе, доводя образец до разрушения. В момент разрушения фиксируется максимальная нагрузки ( $P_p$ ). Предел прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ) вычисляет по следующей формуле:

$$R_{сж} = \frac{P_p}{S}, \quad (1.23)$$

где  $S$  - Площадь разрушающей сечения образца, перпендикулярного направлению действия.

Предел прочности при изгибе определяется на образцах - балочках по следующей схеме. Образец устанавливают на две опоры и прикладывают нагрузку в середине пролета, доводя образец до разрушения (рисунок 1.8).

Предел прочности при изгибе вычисляют по следующей формуле:

де  
 $l$ -  
 рас

$$R_{изг} = \frac{3Ppl}{2bh^2}, \quad (1.24)$$

стояние между опорами, м (см);

$b$  - ширина поперечного сечения образца, м (см);

$h$  - высота поперечного сечения образца, м (см).

Предел прочности при растяжении определяется чаще всего на образцах-восьмерках, имеющих специально уменьшенное поперечное сечение в середине образца (рисунок 1.9).

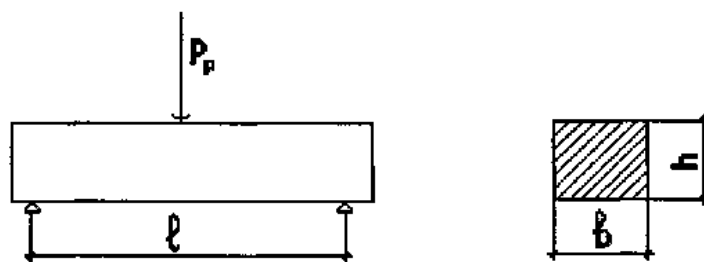


Рисунок 1.8 – Схема испытания на изгиб

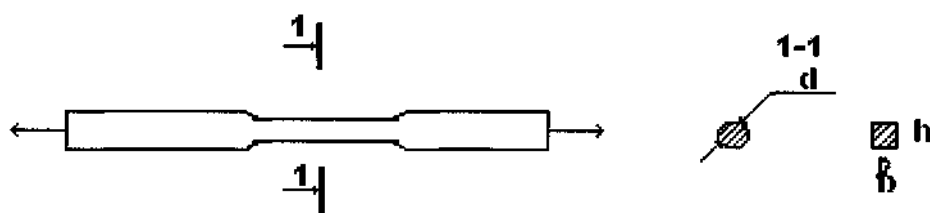


Рисунок 1.9 - Схема испытания на растяжение

Предел прочности при растяжении вычисляется по следующей формуле:

$$R_p = \frac{P_p}{S}, \quad (1.25)$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения образца,  $M^2$  ( $cm^2$ ).

Одной из характеристик материалов является коэффициент конструктивного качества (к.к.к).

$$к.к.к = \frac{R}{\alpha}, \quad (1.26)$$

где  $R$ - предел прочности материала. МПа;

$\alpha$  - относительная плотность материала, равная отношению истинной плотности материала к плотности воды.

Лучшие конструкционные материалы имеют высокую прочность при небольшой собственной плотности. Повышения к.к.к. можно добиться снижением плотности материала и увеличением его прочности.

*Твердость* - это способность материала сопротивляться проникновению в него другого более твердого тела. Твердость может оцениваться качественно по шкале Мооса. Эта шкала представляет собой набор, состоящий из 10 минералов, расположенных в порядке возрастания твердости; 1.Тальк (легко царапается ногтем);

2. Гипс (царапается ногтем);

3. Кальцит (легко царапается стальным ножом);

4. Флюорит (царапается стальным ножом под небольшим нажимом);

5. Апатит (царапается стальным ножом под сильным нажимом);

6. Ортоклаз (слегка царапает стекло);

7. Кварц (легко царапает стекло);

8. Топаз;

9. Корунд;

10. Алмаз.

Порядковый номер минерала условно обозначает твердость. Например, кальцит имеет твердость 3 по шкале Мооса, топаз - твердость 8. Испытуемый материал царапается последовательно эталонными минералами. При этом определяется соседняя пара минералов, один из которых мягче, а другой тверже испытуемого материала. Например, ортоклаз и кварц. Таким образом, по шкале Мооса твердость испытуемого материала равна 6,5.

Твердость некоторых строительных материалов (металлов, пластмасс, древесины, бетона и т. д.) может определяться количественно путем вдавливания стального шарика или алмазной пирамидки в испытуемый материал (метод Бриннеля). По данным результатов испытаний вычисляют число твердость.

$$HB = \frac{P}{S} = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{2} - \frac{\pi D}{2} \sqrt{D^2 - d^2}}, \quad (1.27)$$

где HB - число твердости, кгс/мм;

S - площадь поверхности отпечатка. мм<sup>2</sup>;

P - нагрузка на шарик, кгс;

D - диаметр шарика, мм;

d - диаметр отпечатка, мм.

От твердости материалов зависит их истираемость. Чем выше твердость, тем меньше истираемость.

Истираемость характеризуется величиной потери первоначальной массы, 2 отнесенной к 1 М площади истирания. Истираемость вычисляют по формуле:

$$И = \frac{m_1 - m_2}{S}, \quad (1.28)$$

где m<sub>1</sub> - масса образца до истирания, г (кг);

m<sub>2</sub> - масса образца после истирания, г (кг);

S - площадь поверхности истирания, см<sup>2</sup> (м<sup>2</sup>);

И - истираемость, г/см (кг/м<sup>2</sup>).

Истираемость материалов определяют на стандартном круге истирания, используя образец в форме куба, применяя абразивные материалы (кварцевый песок, порошкообразный наждак). Это свойство определяется у материалов, предназначенных для полов, дорожных покрытий, лестничных ступеней и т. д.

*Сопrotивление удару* характеризуется количеством работы, затраченной на разрушение стандартного образца. Для испытаний могут использоваться образцы цилиндра или балочки. (рисунок 1.10)

В первом испытании на копре сопротивление удару определяется:

$$R_{y\partial} = \frac{A}{V_0}, \quad (1.29)$$

где A - работа, затраченная на разрушение образца, Дж;

V<sub>0</sub> - объем образца, м<sup>3</sup>.

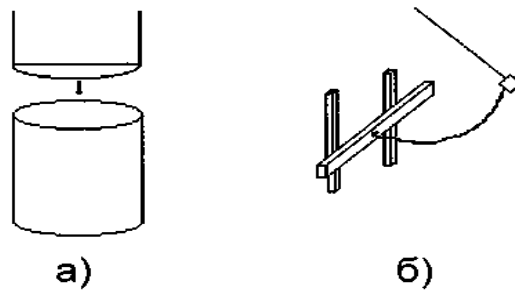


Рисунок 1.10 – Схема испытания на удар:  
 а) испытание на КОПРЕ;  
 б) испытание на маятнике

Во втором случае после испытания на маятнике сопротивление удару определяется:

$$R_{уд} = \frac{A}{S}, \quad (1.30)$$

где  $S$  - площадь поперечного сечения образца,  $M^2$ .

Таким образом, единицей измерения ударной прочности служит Дж/м<sup>3</sup> или Дж/м<sup>2</sup>.

Сопротивление удару важно знать у материалов, используемых при устройстве фундаментов машин, полов промышленных зданий, дорожных и аэродромных покрытий и т. д.

*Упругость* - это свойство материала деформироваться под действием нагрузки и самопроизвольно восстанавливать первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешней силы.

При воздействии силы относительная деформация  $\xi$  равна отношению абсолютной деформации  $\Delta L_k$  первоначальному линейному размеру  $L$ :

$$\xi = \frac{\Delta L}{L}, \quad (1.31)$$

Численной характеристикой упругости является модуль упругости  $E$ , который равен

$$E = \frac{\delta}{\xi}, \quad (1.32)$$

$\delta$  - напряжение, возникающее в материале от приложения нагрузки, МПа.

## *Вопросы для самопроверки*

1. Чем характеризуются механические свойства материала?
2. Какие свойства относятся к механическим?
3. Что такое прочность?
4. Какие нагрузки характерны для строительных конструкций?
5. Чем оценивается прочность строительных материалов?
6. От чего зависит предел прочности материала?
7. Как определяется предел прочности материала при сжатии?
8. Как определяется предел прочности материала при изгибе?
9. Как определяется предел прочности материала при растяжении?
10. Что такое твердость?
11. Как определяется твердость строительных материалов?
12. Как определяется твердость металлов?
13. Что такое истираемость?
14. Формула для определения истираемости
15. Как определяется истираемость?
16. Чем характеризуется сопротивление удару?
17. На каком приборе определяется ударная вязкость материала?
18. Что такое упругость?
10. Что является численной характеристикой упругости?

## **2 ПРИРОДНЫЕ КАМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**

### **ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И ПОРОДООБРАЗУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ**

**Цель работы:** Изучить: природные каменные материалы, способы их обработки; получение сырья для строительных материалов из горных пород.

**Оборудование и материалы:** образцы горных пород.

#### **Основные положения:**

Природные каменные материалы и изделия получают из горных пород путем их обработки: дроблением, раскалыванием, распиливанием, обтесыванием, шлифовкой, полировкой, литьем и др. Горные породы служат также основным сырьем для получения главных строительных материалов - извести, строительного гипса, цемента, теплоизоляционных материалов и др.

Горной породой называют закономерные скопления минеральных масс, состоящих из одного минерала (мономинеральная

порода – мрамор, доломит, магнезит) или из нескольких минералов (полиминеральная порода – гранит, габбро, пемза и др.).

Минералы – природные химические соединения, возникающие в результате разнообразных физико-химических процессов, происходящих в земной коре и на ее поверхности.

В зависимости от условий образования горные породы делятся на три основных типа: изверженные (магнетические); осадочные; метаморфические (видоизмененные).

Для определения принадлежности природного камня к той или иной горной породе устанавливают главные породообразующие минералы, их количество, пропорциональные соотношения, структуру, цвет, твердость, крупность кристаллов и т.п. Характеристика основных породообразующих минералов приведена в таблице 2.1.

Горные породы и составляющие их минералы определяют визуально или с помощью лупы.

Твердость минералов устанавливается по шкале твердости Мооса или по сравнению с минералами коллекции с известной твердостью.

Содержание в горных породах карбонатных включений или принадлежность горной породы к карбонатной группе определяется действием на нее 10%-ного раствора соляной кислоты.

Характеристика важнейших горных пород, используемых для получения природных каменных материалов приведена в таблице 2.2.

При изучении горных пород на лабораторных занятиях, прежде всего необходимо ознакомиться с основными породообразующими минералами, а затем изучить главнейшие горные породы, используемые в качестве природных каменных материалов. При изучении горных пород необходимо придерживаться последовательности: условия образования (генезис) - состав, строение – свойства – требования - области и особенности применения.

Эти вопросы рассматриваются во всех учебниках по строительным материалам, а также являются справочным пособием при изучении горных пород.

Данные по изучению коллекции минералов и горных пород заносятся в лабораторный журнал в виде таблицы.



# Классификация главнейших горных пород

## I. Изверженные горные породы (магматические)

Глубинные

↓  
Граниты  
Сиениты  
Диориты  
Габбро

Излившиеся

↓  
Порфиры  
Андезиты  
Трахиты  
Диабазы  
Базальты

Вулканические

↓  
Вулканические  
пеплы  
Туфы  
Лавы  
Пемзы

## II. Осадочные горные породы

Обломочные

↓  
Рыхлые  
↓  
Песок  
Гравий  
Глина

Химические осадки

Сцементированные  
↓  
Песчаники  
Конгломераты  
Брекчии  
↓  
Некоторые известняки  
Доломит  
Гипс  
Магнезит  
Ангидрит

Органогенные

↓  
Большинство известняков  
Мел  
Трепел  
Диатомит

## III. Метаморфические горные породы

Гнейсы  
(из гранита)

Глинистые сланцы

Мраморы  
(из известняков)

Кварциты  
(из песчаников)

Таблица 2.1 - Характеристика основных породообразующих минералов

Наименование минерала	Структура	Твердость	Цвет	Плотность в кг/м <sup>3</sup> 10 <sup>3</sup>	Другие характерные признаки	Условия нахождения в природе
Каолинит	Аморфная, зернистая	1	Белый, желтоватый	2,5	Излом землистый, материал легко рассыпается; жирный на ощупь	В чистом виде
Гипс	Кристаллическая, зернистая, встречается пластинчатая, волокнистая	1,5 - 2	Белый, розовый, желтоватый	2,2	Прозрачные кристаллы, материал хрупкий	- II -
Мусковит	Кристаллическая, пластинчатая	1,5 – 2,5	Серебристый, белый, светло-желтый	2,8	Расщепляется на тончайшие прозрачные листочки	В граните, сиените, гнейсе и др.
Биотит	- II -	2 – 3	Черный, бурый, темно-зеленый	2,9	Расщепляется на тончайшие листочки	- II -
Кальцит	Кристаллическая и зернисто-кристаллическая	3	Белый, серый, желтый	2,7	Прозрачен, при действии раствором НСЕ «вскипает»	В известняках, мраморе и других карбонатных породах
Доломит	Кристаллическая	3,5	Белый, серый	2,8	-	-
Авгит	- II -	5 – 6	Черный, темно-зеленый	3,4	Стеклообразный блеск	В магматических породах

Роговая обманка	- II -	5 – 6	- II -	3,1	Выраженная спайность в одном направлении	- II -
Полевой шпат	- II -	6	Белый, серый, розовый, красный	2,5	На плоскостях спайности стеклянный блеск	В граните, сиените, порфите, гнейсе
Кварц	- II -	7	Белый, бесцветный, серый, черный	2,6	Излом острый, раковистый	В граните, гнейсе, песках, песчаниках

Таблица 2.2 - Характеристика важнейших горных пород, используемых для получения природных каменных материалов

Горная порода	Происхождение	Основные минералы	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии	Примечание
Гранит	магмат.	кварц, п.ш.* , слюда	2600-2800	100-250	Облицовка, щебень для бетона
Диорит	магмат.	п.ш., роговая обманка, кварц	2800-3000	150-300	- II -
Сиенит	магмат.	п.ш., роговая обманка, слюда	2600-2800	100-200	- II -
Лабрадорит	магмат.	п.ш., (лабродор), авгит	2600-2900	100-250	Облицовка
Диабаз (базальт)	магмат.	п.ш., авгит	2900-3300	150-400	Щебень для бетона, каменное литье
Туф вулканич	магмат. (изливш.)	кварц, п.ш., слюда, вулканическое	900-2300	5-50	Стеновой материал, щебень для бетонов

		стекло			
Пемза	магмат. (изливш.)	- II -	400-800	0,5-3	Стеновой материал, щебень для легких бетонов
Известняк	осадочн.	кальцит	2600-2800	15-100	Щебень для бетонов
Известняк пористый	осадочн.	кальцит	900-1800	0,4-15	Стеновой материал, щебень для легких бетонов
Песчаник	осадочн.	кварц, опал, п.ш.	2300-2600	30-200	Щебень для бетона,
Мрамор	метаморф.	кальцит, доломит	2600-2800	60-300	Облицовка
Доломит	осадочн.	доломит, кальцит	2500-2900	15-200	Щебень для бетона
Кварцит	метаморф.	кварц	2600-2800	100-400	Щебень для бетонов, для абразивов
Гнейс	кварц, п.ш., слюда	кварц, п.ш., слюда	2600-2800	80-200	Щебень для бетона и бутобетона

Примечание: п.ш. – полевошпатовый шпат

## Вопросы для самопроверки

1. Из чего получают природные каменные материалы и изделия?
2. Что называют горной породой?
3. Что такое минералы?
4. Как устанавливается твердость минералов?
5. Как классифицируются горные породы?
6. Что такое изверженные горные породы?
7. Что такое осадочные горные породы?
8. Что такое метаморфические горные породы?
9. Что такое основные породообразующие минералы?

## 3 КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

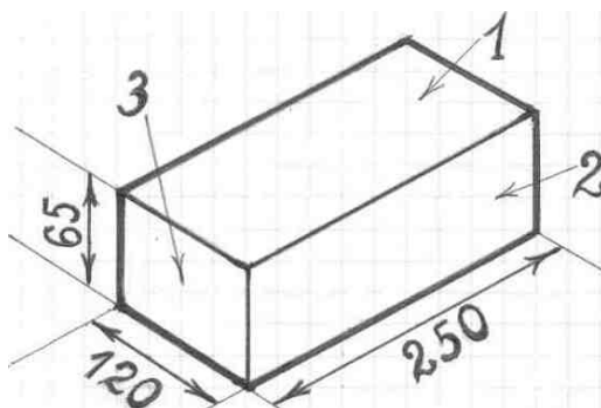
### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ИСПЫТАНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

**Цель работы:** изучить способы и методику испытаний керамического кирпича в лабораторных условиях.

**Оборудование и материалы:** металлическая линейка, сосуд с водой, весы, стекло, цементное тесто, силоизмеритель.

#### **Основные положения:**

Кирпич керамический изготавливают одинарным размером 250x120x65 мм (рисунок 3.1) и модульным размером 250x120x88 мм.



1- постель, 2- ложок, 3- тычок

Рисунок 3.1 - Керамический кирпич

Для оценки качества кирпича отбирают среднюю пробу в

количестве 0,5%, но не менее чем 100 шт. от каждой партии кирпича (за партию принимают 100 тыс.шт.) и направляют на испытание в лабораторию не менее 30 шт.

### **3.1 Оценка дефектов кирпича**

Дефекты кирпича устанавливают внешним осмотром и обмером. Внешним осмотром устанавливают наличие недожога и пережога в контролируемом кирпиче, для чего сравнивают отобранные кирпичи с эталоном (нормаль по обожженным кирпичам). Более светлый цвет кирпича, чем у эталона, и глухой звук при ударе по кирпичу молотком указывает на наличие недожога. Пережженный кирпич характеризуется откалыванием и вспучиванием, имеет бурый цвет, и как правило, искривлен. Недожженный и пережженный кирпич является браком.

После внешнего осмотра кирпич измеряют по длине, ширине, толщине, определяют искривление поверхностей и ребер, длину трещин. Допускаемые отклонения размеров кирпича не должны превышать по длине  $\pm 5$ , ширине  $\pm 4$ , толщине  $\pm 3$  мм.

Кирпич должен иметь форму прямоугольного параллелепипеда с прямыми ребрами и углами, с четкими гранями и ровными лицевыми поверхностями. Искривление поверхностей и ребер, отбитость или притупленность ребер и углов устанавливают с помощью металлического угольника и линейки с точностью до 1 мм. Кирпич укладывают на ровный стол. К проверяемой поверхности прикладывают ребром металлическую линейку или треугольник так, чтобы выявить максимальное значение прогиба поверхности, (рисунок 6) По форме и внешнему виду кирпича стандартом допускаются следующие отклонения: искривление граней и ребер кирпича по постели – не более 3 мм и по ложу - не более 4 мм, сквозные трещины на ложковых гранях на всю толщину кирпича протяженностью по ширине кирпича до 30 мм включительно- не более одной(кирпич имеющий сквозную трещину более 30 мм, включительно не более одной (кирпич имеющий сквозную трещину более 30 мм, относится к поло вяку) отбитость или притупленность ребер и углов размером по длине ребра не более 15 мм - не выше двух. Известковые включения (дутики), вызывающие разрушения кирпича, не допускаются.

### **3.2 Определение водопоглощения**

Испытания керамических материалов (кирпича, плиток и др.) на водопоглощение производят в соответствии с ГОСТами на эти материалы.

Испытание кирпича на водопоглощение производят путем насыщения образцов (целого кирпича или его половинок) в воде с температурой 15-20°С в течение 48 ч. или в кипящей воде в течение 4 ч.

Образцы кирпича в количестве 3 шт. перед испытанием высушивают при температуре 105-110 °С до постоянной массы. Массу образца считают постоянной, если разница через 3 часа составляет не более 0,2%.

Образцы-кирпичи укладывают тычком на дно сосуда с водой с температурой 15-20 °С так, чтобы уровень воды в нем был выше верха образцов на 2-10 см. Образцы выдерживают в воде в течение 48 часов, после чего их вынимают из сосуда, обтирают влажной тканью и немедленно взвешивают.

Водопоглощение образца кирпича по массе (%):

$$B_{\text{мас}} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100, \quad (3.1)$$

где  $m_1$  -масса сухого образца, г;

$m_2$  -масса водонасыщенного образца, г.

Водопоглощение по объему определяют, измерив размеры образца и определив его объем.

Водопоглощение кирпича по массе должно быть не менее 8%. Ускоренное определение водопоглощения кирпича проводят кипячением в воде в течение 4 ч.

### 3.3 Определение марки кирпича

Марку кирпича определяют по пределу прочности при сжатии и изгибе испытанных образцов.

Для определения предела прочности при сжатии отобранные для испытания 10 кирпичей соединяют по два кирпича постелями с помощью цементного теста. Для склейки двух целых кирпичей на гладкую, горизонтально установленную плоскость кладут стекло, покрытое смоченной бумагой, и по бумаге расстилают цементное тесто слоем 3 мм. Затем целый кирпич постелью укладывают на цементное тесто и слегка прижимают, после чего верхнюю поверхность кирпича покрывают тем же цементным тестом и на него укладывают второй кирпич, слегка прижимая. Верхнюю поверхность второго кирпича также покрывают цементным тестом и прижимают стеклом со смоченной бумагой. Излишки цементного теста срезают и края слоев выравнивают ножом. Приготовленные таким образом 5 образцов хранят во влажных условиях 3-4 суток для затвердевания цементного теста, после чего их испытывают на сжатие.

Перед испытанием проверяют угольником параллельность поверхностей, покрытых затвердевшим цементным тестом, измеряют с точностью до  $1 \text{ см}^2$  площадь поперечного сечения образца, равную произведению результатов двух взаимно перпендикулярных измерений по плоскости склейки кирпичей.

Значение разрушающего усилия фиксируется стрелкой силоизмерителя прессы.

Предел прочности при сжатии, МПа:

$$R_{сж} = \frac{10P}{S}, \quad (3.2)$$

где  $P$  - разрушающая нагрузка в кН;

$S$  - площадь образца,  $\text{см}^2$ .

Среднее значение предела прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое из результатов испытаний пяти образцов.

Допускается испытание кирпича в образцах, состоящих из двух половинок, соединенных цементным тестом так же, как и целые кирпичи.

Предел прочности при изгибе определяют путем испытания на гидравлическом прессе целого кирпича, уложенного плашмя на две опоры, расположенные на расстоянии 200 мм друг от друга (рисунок 3.2). Опоры должны иметь закругления радиусом 10-15 мм.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое из пяти определений. По среднему и минимальному значениям прочности отдельных образцов определяют марку кирпича.

Нагрузку передают на середину кирпича через опору с таким же закруглением. Для более плотного правильного прилегания образца к опорам на кирпиче по уровню укладывают три полоски из цементного теста шириной 20-30 мм: две полоски в местах опирания на нижние опоры, одну под верхнюю опору. Подготовленные образцы выдерживают в течение 3-4 суток для затвердевания цементного теста. Перед испытанием измеряют размеры поперечного сечения кирпича по середине пролета (между опорами) с точностью до 1 мм.



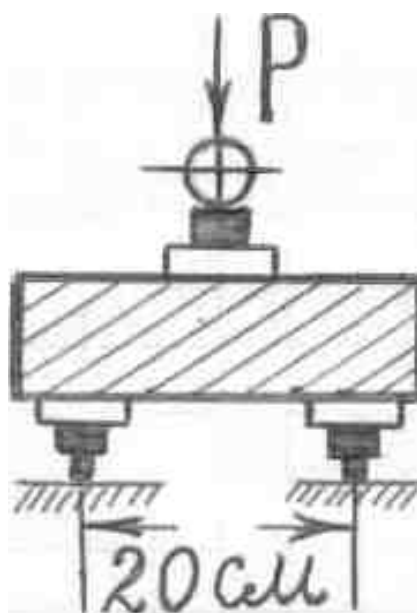


Рисунок 3.2 - Схема испытания кирпича на изгиб

Предел прочности при изгибе, МПа:

$$R_{изг} = \frac{3Pe}{2Bh^2} * 10^{-6}, \quad (3.3)$$

где P - разрушающая нагрузка, кН, кгс;

e - расстояние между опорами, см;

B- ширина кирпича, см;

h- высота (толщина) кирпича по середине пролета, см.

Таблица 3.1- Марки керамического кирпича

Способ формирования	Марка	Предел прочности, МПа, не менее			
		при сжатии		при изгибе	
		средний для пяти образцов	наименьший для отдельного образца	средний для пяти образцов	наименьший для отдельного образца
Пластический	300	30	25	4,4	2,2
	250	25	20	3,9	2,0
	200	20	17,5	3,4	1,7
	175	17,5	15	3,1	1,5
	150	15	12,5	2,8	1,4
	125	12,5	10	2,5	1,2
	100	10	7,5	2,2	1,1
	75	7,5	5,0	1,8	0,9

Полусухой	300	30	25	3,4	1,7
	250	25	20	2,9	1,5
	200	20	17,5	2,5	1,3
	175	17,5	15	2,3	1,1
	150	15	12,5	2,1	1,0
	125	12,5	10	1,9	0,9
	100	10	7,5	1,6	0,8
	75	7,5	5,0	1,4	0,7

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Как устанавливают дефекты кирпича?
2. Что такое недожженный и пережженный кирпич?
3. Как производится оценка керамического кирпича на водопоглощение?
4. По какому свойству определяется марка кирпича?
5. В чем заключается методика определения прочности кирпича?

## 4 ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 4.1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 4.1.1 Минеральная вата

**Цель работы:** изучить методы испытания теплоизоляционных материалов.

**Оборудование и материалы:** лабораторный сушильный шкаф, весы, фарфоровый тигель, минеральная вата.

**Основные положения:**

Минеральная вата представляет собой высокопористый материал, состоящий из тонких и гибких стекловидных волокон и не волокнистых включений «корольков» в виде капель затвердевшего силикатного расплава и микроскопических обломков волокон.

Теплоизоляционные свойства минеральной ваты обусловлены содержанием в ней воздушных пустот (до 95...97 % общего объема ваты), заключенных между волокнами, которые расположены в вате во всевозможных направлениях.

Основными свойствами минеральной ваты являются: малая средняя плотность, низкий коэффициент теплопроводности, а также негорючесть и биостойкость.

Минеральная вата применяется непосредственно в качестве теплоизоляционного материала при температуре изолируемых поверхностей до 600°C, а также для изготовления теплозвукоизоляционных изделий.

Сырьем для получения расплава при производстве минеральной ваты служат различные горные породы, металлургические шлаки и отходы промышленности строительных материалов. Качество минеральной ваты зависит от свойств расплава, определяемых, в свою очередь, химическим свойством сырья, вязкостью и поверхностным натяжением расплава, а также от способа превращения расплава в минеральное волокно.

Существуют три основных разновидности промышленных способов переработки расплава в волокно: дутьевые, механические и комбинированные. При этом способ получения оказывает влияние на количество "корольков", диаметр волокон, среднюю плотность и другие свойства, что, в целом, определяет качество минеральной

ваты.

При всех способах первоначально струя расплава разделяется на частицы (струйки) центробежными или гравитационными силами, а окончательно волокна образуются действием одного из видов энергоносителя.

Комбинированные способы обеспечивают получение волокна высокого качества, допускают переработку более вязких расплавов, снижают расход относительно дорогого энергоносителя, а, следовательно, более экономичны.

Независимо от способа получения минеральная вата должна удовлетворять требованиям ГОСТ 4640-93 (с изм. 1997) (приложение 7).

Цель работы: ознакомление со стандартными методами испытания минеральной ваты и определение марки минеральной ваты данной партии.

## МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

### Определение влажности

Испытание производится путем испарения влаги из материала в лабораторном сушильном шкафу.

#### Проведение испытания

Общая проба минеральной ваты должна быть не менее 15 г и состоять из трех навесок по  $5,0 \pm 0,1$  г каждая. Навески помещают в предварительно взвешенный фарфоровый тигель (или стаканчик). Взвешивают и высушивают в сушильном шкафу при температуре  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  до постоянной массы. Перед повторным взвешиванием тигли (или стаканчики) закрывают крышками и охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе над безводным хлористым кальцием. Взвешивание производится с погрешностью до  $\pm 0,01$  г.

Влажность  $W$ , % вычисляют с погрешностью до 0,1 % по формуле:

$$W = \frac{m - m_1}{m} \times 100\% \quad (4.1)$$

где  $m$  – масса пробы до высушивания, г;

$m_1$  – масса пробы, высушенной до постоянной массы, г.

Затем определяется по результатам трех опытов среднее арифметическое значение влажности минеральной ваты.

### Определение средней плотности минеральной ваты

Оборудование: прибор для определения объемной массы минеральной ваты, весы.

#### Проведение испытания

Производят на приборе для определения объемной массы (рисунок 4.1). Вату массой 0,5 кг укладывают горизонтальными слоями в металлический цилиндр 4. На вату подъемным устройством 5 опускают металлический диск 3 массой 7 кг, что соответствует нагрузке  $2000 \pm 30$  Па ( $0,02$  кгс/см<sup>2</sup>). Под нагрузкой вату выдерживают в течение 5 мин. Высоту сжатого слоя ваты в цилиндре с точностью до 1 мм определяют по шкале 2, находящейся на стержне 1.

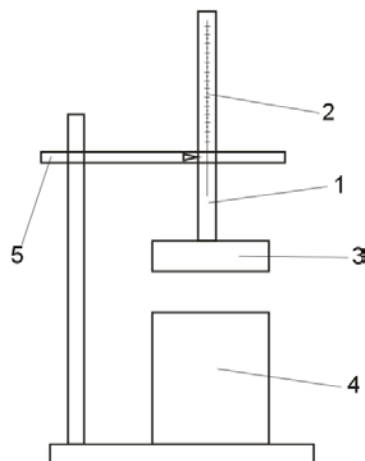


Рисунок 4.1 - Прибор для определения объемной массы минеральной ваты

Среднюю плотность ваты  $\rho$  в кг/м<sup>3</sup> под стандартной нагрузкой вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m_{\text{сух}}}{V}, \quad (4.2)$$

где  $m_{\text{сух}}$  – масса предварительно высушенной ваты, кг;  
 $V$  – объем ваты, м<sup>3</sup>.

Если для испытания берется вата в состоянии естественной влажности, то среднюю плотность  $\rho$  в кг/м<sup>3</sup> определяют по формуле:

$$\rho = \frac{m_{\text{сух}}}{V(1 + 0,01W)}, \quad (4.3)$$

где  $m_{\text{вл}}$  – масса ваты в состоянии естественной влажности, кг;  
 $V$  – объем, ваты, м<sup>3</sup>;  
 $W$  – влажность ваты, %.

Результат определения округляют до 1 кг/м<sup>3</sup>.

#### Определение содержания «корольков»

Содержание «корольков» в минеральной вате производят в стандартном специальном приборе для отделения не волокнистых включений.

Оборудование: прибор для отделения не волокнистых

включений, весы, муфельная печь.

#### Подготовка к испытанию

Из любых пяти упаковочных мест отбирают по одной навеске минеральной ваты массой 50 г каждая, взвешивание производят с точностью  $\pm 0,1$  г. Отобранные навески ваты прокаливают в муфельной печи при температуре  $700^{\circ}\text{C}$  в течение 30 мин, охлаждают до комнатной температуры на воздухе.

#### Проведение испытания

Подготовленную вату помещают в цилиндр 1 прибора (рисунок 4.2) и оставляют на 15 мин.

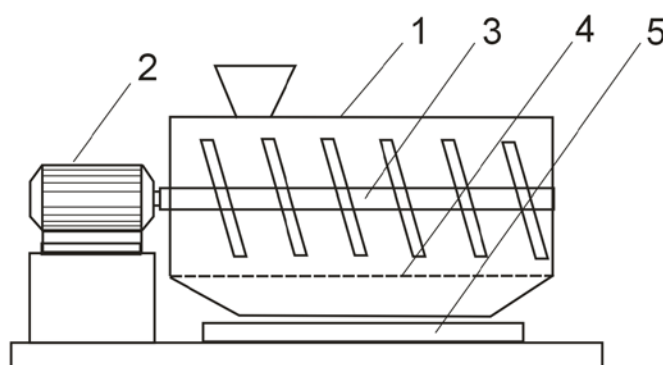


Рисунок 4.2 - Прибор для отделения неволокнистых включений

Включают двигатель 2 прибора, вращающий вал с билами 3. При вращении вала вата, попадая между билами и ножами, расположенными на корпусе цилиндра, вата разрывается и гранулируется (скатывается в комочки). Гранулированная часть ваты остается в цилиндре. Другая часть ваты в виде измельченных волокон и корольков проходит через отверстия 4 в стенках цилиндра и собирается в приемнике 5 под цилиндром. Измельченные волокна ваты удаляют из приемника струей воздуха, а корольки выгружают, просеивают через сито с отверстиями  $0,25$  мм. Остаток на сите взвешивают с точностью до  $0,01$  г.

Масса остатка корольков на сите представляет собой содержание в навеске ваты корольков размером свыше  $0,25$  мм. Выражая массу остатка в процентах от массы навески ваты, взятой для опыта, определяют процентное содержание корольков в минеральной вате.

Содержание корольков в минеральной вате данной партии вычисляют как среднее арифметическое из пяти определений.

#### Определение среднего диаметра волокна

Средний диаметр волокна минеральной ваты определяют под микроскопом при увеличении в  $450 \dots 720$  раз.

Оборудование: Микроскоп МИН-8, линеечка.

#### Подготовка к испытанию

Для определения линейных размеров предметов, рассматриваемых с помощью микроскопа, в окуляр устанавливается линза с делениями (линеечка). Цену деления предварительно определяют по объект-микрометру, на стекле которого нанесена шкала с делением через 0,01 мм.

Объект-микрометр устанавливают в зажимы предметного столика микроскопа. С помощью регулировочных винтов добиваются такой установки микроскопа, при которой получается отчетливое изображение делений объект-микрометра и линейки окуляра, наложенных друг на друга, и определяют цену деления линейки  $\lambda$  в мкм. Для этого на условном интервале  $A$ , границы которого определяются совпадением делений объект-микрометра и линейки подсчитывают количество делений объект-микрометра  $N$  и линейки  $n$ . Цену деления линейки определяют по формуле:

$$\lambda = 0,01 \frac{N}{n} \times 1000 \quad (4.4)$$

После этого из 10 различных мест пробы минеральной ваты отбирают навески в 1 г каждая, помещают их в картонную коробку и перемешивают легким встряхиванием. Полученную усредненную пробу равномерно укладывают на 10 предметных стеклах, так, чтобы волокна испытуемой ваты располагались по возможности в одном направлении.

Для предотвращения возможного сдвига волокон на предметное стекло вначале наносят каплю 5%-го раствора кедрового, либо пихтового бальзама, либо канифоли в этиловом спирте, которая закрепляет вату на стекле. Затем предметные стекла с образцами ваты выдерживают 30...40 минут в сушильном шкафу при температуре 70...105°C.

#### Проведение испытания

Образцы поочередно помещают на столик микроскопа, поворачивая их таким образом, чтобы волокна были расположены перпендикулярно шкале окулярной измерительной линейки. На каждом предметном стекле измеряют диаметр не менее 10 произвольно выбранных волокон. Диаметр волокон вычисляют с точностью до 1 мкм как среднее арифметическое значение 100 волокон.

#### 4.1.2 Вспученный вермикулит

**Цель работы:** Определить характеристики вспученного вермикулита, выявить зависимость свойств вспученного вермикулита от технологических факторов.

**Основные положения:**

Вспученный вермикулит отличается пластинчатым строением с множеством пор расположенных между пластинками слюды. Пory сообщаются между собой и имеют неправильную линзовидную, вытянутую форму, т.е. вспученный вермикулит практически не имеет замкнутых, изолированных друг от друга пор.

Вермикулит применяют в качестве теплоизоляционной засыпки при температуре изолируемых поверхностей от  $-260$  до  $1100^{\circ}\text{C}$  для изготовления теплоизоляционных изделий, а также в качестве заполнителя легких бетонов и для приготовления огнезащитных, теплоизоляционных и звукопоглощающих штукатурных растворов.

Сырьем для производства вермикулита служит природный вермикулит, представляющий собой минерал из горных гидрослюд.

Свойством вермикулита является способность его зерен при быстром нагреве расщепляться на отдельные слюдяные пластинки с сохранением частичного их скрепления между собой. В результате такого расщепления зерна вермикулита значительно увеличивают свой объем.

Причиной вспучивания является энергичное выделение паров воды, которые действуют перпендикулярно плоскости спайности, раздвигают пластинки слюды и увеличивают тем самым их объем зерен в 15...20 раз и более. Чем больше воды в природном вермикулите, тем сильнее происходит вспучивание.

Степень вспучивания вермикулита характеризует коэффициент вспучивания. Различают:

– коэффициент вспучивания вермикулита  $K_v$ , равный отношению средней плотности природного вермикулита до вспучивания к средней плотности того же вермикулита после вспучивания. Значения  $K_v$  достигают 10 и более.

– коэффициент вспучивания отдельных зерен вермикулита ( $K_{во}$ ), представляющий отношение толщины зерна после вспучивания ( $S_2$ ) к толщине зерна до вспучивания ( $S_1$ ).  $K_{во}$  колеблется от 15 до 40.

Технологический процесс производства вспученного вермикулита состоит из измельчения, классификации по фракциям и обжига сырья.

Выбор режима обжига и типа печи зависят от свойств исходного сырья. Первичными показателями качества вспученного вермикулита



являются размер зерен и показатели средней плотности.

Основные физико-механические свойства вспученного вермикулита регламентированы ГОСТ 12865-67(1988) (приложение 8).

## МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

### Определение средней насыпной плотности

Оборудование: весы, воронка, мерный сосуд.

Проведение испытания

Средняя насыпная плотность вермикулитовой породы определяется по общепринятой методике (ГОСТ 17177). При этом определяется масса материала, насыпанного с высоты 5 см через специальную стандартную воронку в мерный сосуд объемом 1 л. Среднюю насыпную плотность  $\rho$  пробы вермикулитовой породы вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (4.5)$$

где  $m_1$  – масса мерного сосуда;

$m_2$  – масса мерного сосуда с пробой материала;

$V$  – объем мерного сосуда с испытуемым материалом.

Каждая бригада выполняет по одному определению показателя средней насыпной плотности и по результатам других бригад вычисляет среднюю величину.

### Определение гранулометрического состава

Гранулированный состав вермикулитовой породы определяется ситовым методом путем определения массы остатков на ситах с заданными размерами ячеек. Используют сита с размерами ячеек 5 мм и 0,6 мм. Взвешивание массы остатков на ситах производится с точностью до 0,1 г.

Дальнейшие исследования проводятся на вермикулитовой породе с размером зерен от 0,6 до 5 мм (средняя фракция), поэтому студенты всех бригад должны отсеять пробу вермикулитовой породы указанной фракции в количестве 3 кг. По заданию преподавателя возможно проведение дальнейших опытов на вермикулитовой породе большей или меньшей фракции, при этом необходимо также иметь не менее 3 кг вермикулитовой породы заданных фракций.

Результаты определения гранулометрического состава и насыпной плотности исходного вермикулита заносятся в таблицу.

Исследование зависимости коэффициента вспучивания вермикулита

от технологических факторов

Подбор оптимальной температуры обжига

Оборудование: весы, муфельная печь, секундомер.

Проведение испытания

Берется пять проб вермикулитовой породы, весом по 50 г. Каждую пробу подвергают вспучиванию при пяти различных температурах, отличающихся друг от друга на 20°C. За исходную температуру берут 800°C. Продолжительность обжига для всех проб устанавливается одинаковой – 3 мин. Вспучивание вермикулита производят в муфельной печи на поддонах с бортиками из специальной жаростойкой стали. Температура в печи измеряется термопарой. Время обжига измеряется секундомером.

За оптимальную температуру вспучивания вермикулита принимается та, при которой получается наименьший показатель средней насыпной плотности вспученного вермикулита.

Подбор оптимальной продолжительности обжига

Оборудование: весы, муфельная печь, секундомер.

Проведение испытания

Каждая бригада студентов берет пять навесок испытуемой вермикулитовой породы по 50 г и обжигает все их при найденной в предыдущей серии опытов оптимальной температуре. Продолжительность обжига изменяют в пределах определенного интервала, зависящего от вида (месторождения) вермикулитовой породы, например, от 1 мин до 6 мин с интервалом через 1,5 мин.

Оптимальной продолжительностью обжига считается та температура, при которой получается наименьший показатель средней насыпной плотности вспученного вермикулита.

Выводы по работе: По результатам, полученным всеми звеньями, каждое звено производит обработку результатов эксперимента и устанавливает зависимости параметров режима тепловой обработки в связи с гранулометрическим составом вермикулитовой породы. Строятся соответствующие графики, и проводится их анализ.

#### 4.1.3 Пенополистирол

**Цель работы:** исследовать влияние параметров термообработки пенополистирола на его плотность.

**Основные положения:**

Пенополистирол представляет собой теплоизоляционный поропласт, получаемый вспучиванием полистирола при нагревании под действием газообразователя. Вспученный полистирол имеет вид

гранул размером 5 – 15 мм. Иногда гранулы полистирола используют в теплоизоляционных засыпках и в качестве лёгкого заполнителя в производстве теплоизоляционных штучных материалов с применением различных связующих. Большой же частью зернистый пенополистирол перерабатывается в изделия без применения каких – либо вяжущих. Формирование такого материала происходит под действием повышенной температуры за счёт спекания гранул друг с другом.

Для изготовления пенополистирола вначале получают так называемый бисерный полистирол, представляющий собой полуфабрикат, необходимый для изготовления этого материала. Для его получения в автоклав, снабжённый мешалкой, заливают дистиллированную воду и раствор стабилизатора (сольвар). Мешалку включают на 10-15 минут. Затем вливают нагретый жидкий стирол. После перемешивания смесь охлаждают и вводят газообразователь – изопентан. При перемешивании образуется эмульсия стирола в воде. Её обрабатывают паром под давлением 0,5 Мпа в течение 16-18 часов. В результате полимеризации из капель стирола образуются гранулы полистирола размером 0,5-1 мм с растворённым в них газообразователем, то есть бисерный полистирол. Его обезвоживают на центрифуге и сушат при 20°С до влажности не более 2 %.

Бисерный полистирол загружают в ванны с водой, нагретой до 100°С, или обрабатывают в барабанах паром с температурой до 90-100°С в течение 2-3 минут. Под действием повышения температуры полистирол переходит в вязко-пластичное состояние и вспучивается газами, образующимися в результате разложения изопентана. Кратковременная тепловая обработка необходима для того, чтобы изопентан полностью не разложился, и имело бы место лишь частичное вспучивание полистирола.

Частично вспученный полистирол загружают в металлические формы, снабженные крышками и прогретые до 75...85°С. Окончательное вспучивание гранул в формах и спекание их с образованием изделия производят в автоклавах или прогревом токами высокой частоты. Температура тепловой обработки – 95...120°С, продолжительность – от 2 до 10 минут. Полученные блоки режутся разогретой проволокой на плиты.

По указанной выше так называемой «блочной» технологии работают большинство предприятий, выпускающих пенополистирольную теплоизоляцию.

## МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

### Определение средней насыпной плотности бисерного полистирола

Оборудование: весы, воронка, мерный сосуд.

Проведение испытания

Средняя насыпная плотность вермикулитовой породы определяется по общепринятой методике (ГОСТ 17177). При этом определяется масса материала, насыпанного с высоты 5 см через специальную стандартную воронку в мерный сосуд объемом 1 л. Среднюю насыпную плотность  $\rho$  пробы вермикулитовой породы вычисляют по формуле:

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V}, \quad (4.6)$$

где  $m_1$  – масса мерного сосуда;

$m_2$  – масса мерного сосуда с пробой материала;

$V$  – объем мерного сосуда с испытуемым материалом.

Каждая бригада выполняет по одному определению показателя средней насыпной плотности и по результатам других бригад вычисляет среднюю величину.

Вспучивание полистирола и определение коэффициента вспучивания

Оборудование: ванна, термометр, весы, воронка, мерный сосуд.

Проведение испытания

Бисерный полистирол загружают в ванну, наполненную водой с температурой 100 °С, выдерживают: 1 звено – 30 сек, 2 звено – 1 минуту, 3 звено – 2 минуты. После этого пенополистирол извлекают из ванны и определяют насыпную плотность по методике изложенной в п.1. Коэффициент вспучивания определяют по формуле:

$$k_g = \frac{\rho_{вс}}{\rho}, \quad (4.7)$$

где  $\rho_{вс}$  – плотность вспученного полистирола;

$\rho$  – плотность бисерного полистирола.

После этого строится зависимость коэффициента вспучивания от времени термообработки.

Выводы по работе: По результатам, полученным всеми звеньями, каждое звено производит обработку результатов эксперимента и устанавливает зависимость плотности пенополистирола от параметров режима тепловой обработки. Строятся соответствующие графики и проводится их анализ.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что такое минеральная вата?
2. Какие свойства минеральной ваты относятся к основным?
3. Что такое минеральная вата?
4. Что является сырьем для получения расплава при производстве минеральной ваты?
5. Как определяется влажность минеральной ваты?
6. Как определяется средняя плотность минеральной ваты?
7. Что является сырьем для вермикулита?
8. Перечислите методы испытаний вермикулита
9. Как определяется гранулированный состав вермикулитовой породы?
10. Что такое пенополистирол?
11. Перечислите методы испытаний пенополистирола.

## **5 БИТУМНЫЕ ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **5.1 МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

#### **5.1.1 Нефтяные битумы**

**Цель работы:** Изучить основные строительно-технические свойства нефтяного битума и исследовать зависимость его состояния и свойств от температуры. Определить марку битума.

**Оборудование и материалы:** пенетрометр, термометр, термометр.

#### **Основные положения:**

Битумные вяжущие наряду с полимерами и органическими клеями образуют группу органических вяжущих веществ. На основе органических вяжущих производят большое количество гидроизоляционных материалов и изделий для строительства.

Наиболее широкое применение в строительстве и в производстве строительных материалов получили нефтяные битумы, которые занимает по объему выпуска первое место среди остальных органических вяжущих. Нефтяные битумы получают при фракционной перегонке нефти на нефтеперерабатывающих заводах путем обработки остатков, образующихся при этом. По консистенции при нормальных температурах (18...22<sup>0</sup>С) нефтяные битумы могут быть твердыми, обладающими упругими, а иногда и хрупкими свойствами; полутвердыми (вязко-пластичными) и жидкими (легкотекучими).

По составу битумные вяжущие представляют собой сложные смеси высокомолекулярных углеводов метанового ( $C_nH_{2n+2}$ ) и нафтенового ( $C_nH_{2n}$ ) рядов и их производных, которые изменяют свои физико-механические свойства в зависимости от температуры. Элементный состав битумов представлен углеродом (70...87%), водородом (до 15%), кислородом (до 10%), серой (до 1,5%) и небольшим количеством азота. Однако этот состав не дает представления о химических соединениях, содержащихся в битуме и определяющих его структуру и свойства.

Высокомолекулярные углеводороды, входящие в состав битумов, находятся в различных агрегатных состояниях и образуют сложную дисперсную систему. Выделить отдельные углеводородные соединения из этой смеси весьма сложно. Поэтому для характеристики структуры и изучения свойств битумов выделяют группы углеводородов со сходными свойствами:

1. Масла - вязкие жидкости с плотностью меньше единицы и молекулярной массой 300...500. Повышенное содержание масел в битуме снижает его твердость и температуру размягчения, придает ему подвижность и текучесть. В битумах содержится 45...65% масел.

2. Смолы - вязкопластичные вещества с плотностью около единицы. Состоят из более сложных, чем масла, углеводородов с молекулярной массой 500...1000. Смолы хорошо прилипают к поверхности каменных материалов, образуя водостойкие пленки, они придают битумам вяжущие свойства, повышают пластичность и растяжимость. В битумах содержится 15...30% смол.

3. Асфальтогеновые кислоты и их ангидриды - вещества густой высоковязкой смолистой консистенции с плотностью более единицы. Это наиболее полярный, а, следовательно, и наиболее поверхностно-активный компонент битума, содержание которого определяет способность битума прилипать и прочно сцепляться с каменными и другими материалами.

4. Асфальтены и их модификации – карбены и карбоиды – твердые и неплавкие вещества с плотностью более единицы и молекулярной массой 1000...5000 и выше. Это важная составная часть битума, определяющая процессы структурообразования, они придают битуму твердость и теплоустойчивость. В битумах содержится 10...30% асфальтенов.

Согласно современной коллоидной теории структуры битума все его групповые компоненты образуют структурированную дисперсную систему. Асфальтены, коллоиднорастворенные в маслянистой и смолистой среде, становятся своеобразными центрами

или ядрами, которые окружены оболочкой среди убывающей плотности от тяжелых вязких смол к сравнительно легким текучим маслам. В этой системе нет четко выраженной границы между дисперсной фазой и дисперсионной средой. В пограничной зоне адсорбированы полярные молекулы асфальтогеновых кислот.

Комплексные частицы дисперсной системы, так называемые мицеллы, способны разрушаться при нагревания битума за счет усиления броуновского движения и частичного растворения асфальтенов, однако при охлаждении структура битума самопроизвольно восстанавливается. При плотной упаковке объема битума мицеллами образуется структура типа "гель" и битум отличается высокой вязкостью и твердостью. Если имеется избыток дисперсионной среды и мицеллы не контактируют между собой, свободно перемещаясь, то структура относится к типу "золь". Такая структура характерна для жидких размягченных битумов с малой вязкостью.

Таким образом, состояние и свойства битума всецело зависят от его фазового состава, изменить который можно нагреванием и охлаждением, добавлением маслянистых углеводородов (лигроин, нефть, мазут), введением тонкодисперсных минеральных наполнителей, разжижением растворителями и получением эмульсий. Другими словами, имеется целый ряд способов регулирования технологических свойств битумных вяжущих, перевода их в рабочее вязкотекучее состояние и отвердевания за счет коагуляционного структурообразования.

Важно представить и правильно учитывать, что в широком интервале температур (от  $-40$  до  $\pm 120^{\circ}\text{C}$ ) битум может находиться в различных состояниях:

- упруго-хрупком, при котором каркас из асфальтенов фиксирован отвердевшей прослойкой из смол, растворенных в маслах (отрицательные температуры);
- эластичном, при котором каркас из асфальтенов фиксирован и может лишь упруго деформироваться во времени, но прослойки между элементами каркаса жидкие;
- упруго-пластическом, при котором частицы асфальтенов взаимодействуют через тонкие прослойки среды, проявляющей при напряжениях, но превышающих предел текучести, упругие свойства;
- упруго-вязком, которое характеризуется исчезновением пределом текучести, прослойки среды между твердыми частицами асфальтенов увеличились за счет частичного растворения последних;
- вязком, при котором дисперсионная среда занимает

большую часть объема и битум представляет собой суспензию набухших в углеводородах асфальтовых частиц.

Следовательно, состояние структуры битума предопределяет его свойства в процессе эксплуатации и, вместе с тем, способы и области использования битума в строительстве. Так, например, находясь в истинно-вязком состоянии, битум позволяет уложить асфальтобетонную смесь тонким ровным слоем и при постепенном остывании, переходя в упруго-пластическое состояние, он обеспечивает хорошее уплотнение слоя, а в упруго-хрупком состоянии после остывания делает дорожное покрытие прочным и водонепроницаемым.

Битум сравнительно дешевый строительный материал, имея аморфную структуру в твердом состоянии, он изотропен и характеризуется температурным интервалом размягчения. Битум, обладая гидрофобностью, водостоек, водонепроницаем в слоях, стоек к слабым агрессивным жидкостям и газам. Это вяжущее обладает высокой адгезией (прочностью сцепления) к другим материалам (дерево, металл, бетон). Благодаря такому комплексу свойств битумные вяжущие нашли широкое применение в строительстве при устройстве кровли и для гидроизоляции строительных конструкций, их используют в дорожном строительстве в качестве вяжущего вещества для асфальтовых бетонов и растворов, в производстве кровельных, гидроизоляционных, пароизоляционных и теплоизоляционных материалов. Однако, следует учитывать, что битум эластичен лишь при статических нагрузках, а при динамических нагрузках особенно в интервале отрицательных температур - хрупок, обладает невысокой теплостойкостью, горюч, легко растворяется в углеводородных растворителях.

## МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

### Определение глубины проникания иглы и расчет вязкости битума

Проведение испытания.

Испытываемый битум в металлической чашке, имеющей внутренние размеры: диаметр 55 мм, высота 35 мм, помещают в кристаллизатор, наполненный водой так, чтобы высота слоя воды над поверхностью битума была не менее 10 мм, температура воды в кристаллизаторе контролируется с помощью термометра с погрешностью 0,5°C.

Кристаллизатор устанавливается на столик 8 пенетromетра (рисунок 1) и острие иглы 6 подводят пользуясь зеркалом 7, к



поверхности битума так, чтобы игла только слегка касалась ее. Доводят кремальеру 1 до верхней площадки стержня 4, несущую иглу, и устанавливают стрелку 3 на нуль циферблата 2 или отмечают ее положение, после чего одновременно включают секундомер и нажимают кнопку 5 прибора, давая игле свободно входить в испытуемый образец в течение 5с. После этого доводят кремальеру вновь до верхней площадки стержня с иглой и отмечают показания прибора.

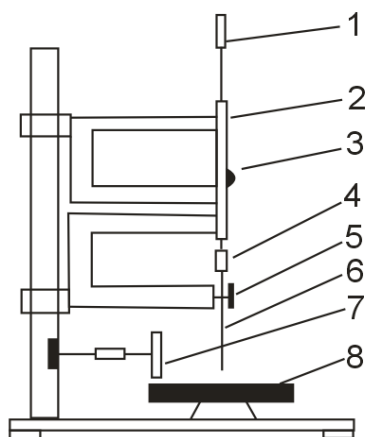


Рисунок 5.1 – Пенетрометр

Определение повторяют не менее трех раз в различных точках на поверхности образца битума, отстоящих от краев чашки и друг от друга не менее чем на 10 мм. После каждого погружения иглу вынимают из гнезда, отмывают кончик ее от пристающего битума бензином или другим растворителем и насухо вытирают по направлению к острию.

За величину глубины проникания иглы в десятых долях мм принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных погружений. Расхождение между результатами параллельных определений не должно превышать 5% от величины меньшего результата. Вязкость битума, определяемая при различных температурах, подсчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{k}{h^2}, \quad (5.1)$$

где  $\eta$  - вязкость битума, Па·с;

k - коэффициент пересчета, равный  $7,86 \cdot 10^8$ ;

h- глубина проникания иглы пенетрометра, десятые доли миллиметра.

### Определение растяжимости битума

#### Проведение испытания

Испытание на растяжимость производят в дуктилометре, который состоит из ванны, внутри которой через всю длину проходит червячный винт с салазками, вращение винта придает салазкам поступательное движение; на одной стороне прибора прикреплена стойка с тремя штифтами, соответственно трем штифтам, имеющимся на салазках; на салазках закреплен указатель-стрелка, передвигающийся при движении салазок вдоль линейки. Червячный винт приводится в движение от мотора. Скорость передвижения салазок 5 см/мин.

Формы-восьмерки (рисунок 5.2) с битумом закрепляют в дуктилометре, для чего кольца зажимов формы надевают на штифты, находящиеся на салазках и стойке дуктилометра.

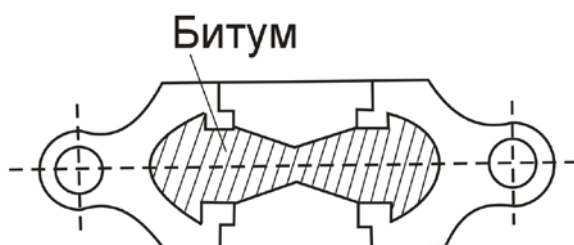


Рисунок 5.2 - Образцы для дуктилометра

После этого снимают боковые части формы. Дуктилометр должен быть наполнен водой, имеющей температуру, соответствующую заданию с погрешностью  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Вода должна покрывать штифты не менее чем на 25 мм. Включая мотор дуктилометра, наблюдают за растяжением битума. Длину нити битума в см, отмеченную указателем-стрелкой по линейке в момент разрыва, принимают за растяжимость битума. За окончательный результат принимают среднее арифметическое результатов трех параллельных определений. Расхождения между параллельными определениями не должны превышать 10% от среднего арифметического сравниваемых результатов.

#### Определение температуры размягчения битума

Оборудование: прибор «Кольцо и шар», термометр.

#### Проведение испытания

Определение температуры размягчения производят на приборе «Кольцо и шар» (рисунок 5.3), который состоит из металлического штатива 1 с тремя пластинками, причем расстояние между нижней 2 и средней 3 пластинками равно 25,4 мм.

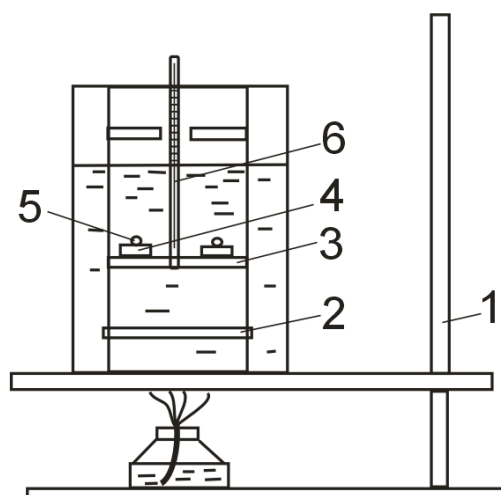


Рисунок 5.3 - Прибор «Кольцо и шар»

В средней пластинке имеются два отверстия диаметром около 19 мм для установки в них колец 4, залитых испытуемый битумом. Кольца с битумом и металлическими шариками 5 помещают в отверстие на пластинке прибора. В среднее отверстие пластинки вставляется термометр 6 так, чтобы нижняя точка ртутного резервуара термометра была на одном уровне с нижней поверхностью битума в кольцах.

Если температура размягчения битума ниже  $60^{\circ}\text{C}$ , штатив с кольцами ставят на 15 минут в стакан, наполненный водой, имеющей температуру  $4,5...5,5^{\circ}\text{C}$ . Если температура размягчения битума выше  $80^{\circ}\text{C}$ , то образец выдерживают в течение 15 минут в глицерине при температуре  $35\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . По истечении 15 минут штатив вынимают из стакана, на каждое кольцо в центре поверхности битума кладут стальной шарик диаметром 9,53 мм и опускают штатив обратно в стакан. Устанавливают стакан на нагревательный прибор так, чтобы плоскость колец была строго горизонтальной. Температура воды или глицерина в стакане после первых 3 минут нагрева должна подниматься со скоростью  $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  в минуту. За температуру размягчения битума принимают температуру, при которой выдавливаемый шариком битум коснется нижней пластинки прибора. Расхождение между двумя параллельными определениями не должно превышать  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Выводы по работе: По полученным всей подгруппой результатам каждое звено строит графики зависимостей вязкости и растяжимости битума от температуры. Дает аргументированные объяснения выявленным закономерностям с позиции теории дисперсной структуры битума и указывает границы температурных интервалов различных его состояний. Установят марку исследуемого

битума по ГОСТ 6617-76 (1994) (приложение 1) и составляют рекомендации по его применению в строительстве.

*Порядок выполнения работы:*

Для выполнения задач исследования каждое звено студентов изучает экспериментально растяжимость битума в дуктилометре и оценивает его вязкость по глубине проникания иглы пенетрометра соответственно при температурах: 1 звено - 25°C; 2 звено - 35°C; 3 звено - 45°C и 4 звено - 55°C. Вся подгруппа студентов оценивает теплостойкость битума по температуре размягчения, устанавливаемой при помощи прибора "Кольцо и шар".

Марку битума и область его применения оценивают по растяжимости и вязкости, установленных при температуре 75°C, а также по значению температуры размягчения.

После завершения экспериментальной части работы студенты знакомятся с коллекцией рулонных кровельных материалов, записывая основные сведения о них в таблицу. Фиксируется точное название материала, его марка, вид основы, ее пропитки и покрытия, наличие наполнителя и посыпки, область применения.

### **5.1.2 Асфальтобетон**

*Цель работы:* Изучение основных свойств мелкозернистого "теплого" асфальтобетона и влияния на эти свойства количества вводимого наполнителя. Ознакомление с разновидностями асфальтобетонов, их свойствами и областью применения.

*Оборудование:*

*Общие положения:*

Асфальтобетон — широко распространенный материал, который представляет собой разновидность пластических бетонов, изготавливаемых с применением битумов. В этих бетонах имеются два основных структурных элемента — асфальтовяжущее вещество и плотная смесь зернистых минеральных материалов. Асфальтовяжущее вещество представляет собой тесную смесь битума с минеральным порошком, а плотная минеральная смесь состоит из щебня и песка как крупнозернистого и мелкозернистого заполнителей. Битумы применяют разных марок от БНД-200/300 до БНД-40/60 или жидкие битумы марок СГ-130/200, СГ-70/130 или МГ-70/130.

Свойства асфальтобетона зависят от количества и зернового состава минеральной части (щебень, песок), марки органического вяжущего, а также от количества и качества вводимого в смесь минерального порошка, который совместно с битумом называют

асфальтобетоном. Свойства асфальтобетонов в значительной мере зависят от структуры и особенностей асфальтобетонной смеси, а также от величины усадки, что учитывается рекомендациями по изготовлению образцов для испытания асфальтобетонов.

Получение асфальтового бетона включает: подбор рационального состава заполнителей и асфальтового вяжущего, приготовление асфальтобетонной смеси при определенных температурных условиях, определение качества асфальтобетонной смеси и основных свойств асфальтобетона.

Контроль качества выпускаемого асфальтобетона включает следующее:

- описание структуры асфальтобетонной массы;
- расположение в общей массе крупного заполнителя и относительную степень уплотнения, наличие замкнутых воздушных пространств, равномерность перемешивания минеральных материалов с вяжущим, а также толщину слоев асфальтового покрытия;

- изготовление образцов-призм уплотнением: смеси с содержанием щебня до 35% - прессованием под давлением 40 МПа в течение 3 мин; смеси, содержащей щебень более 35% - вибрированием с пригрузом 0,05 МПа и дополнительным уплотнением под давлением 20 МПа с выдержкой 3 минуты.

Зависимость размера и веса образца от крупности заполнителя в асфальтобетоне приведена в приложении 5.

Контроль качества покрытий проводят на вырубках из этих покрытий образцов прямоугольной формы или высверленных цилиндрах - кернах согласно ГОСТ 12801-98.

Порядок выполнения работы

Для выполнения поставленных в работе задач каждое звено студентов получает образцы-призмы из мелкозернистого теплого асфальтобетона, песчаную фракцию которого составляют отсеvy дробления изверженных горных пород.

Первое звено испытывает асфальтобетон с 6% минерального порошка, второе - с 10%, третье - с 16%.

**МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ**

Определение предела прочности при сжатии

Сущность метода заключается в определении нагрузки, необходимой для разрушения образца.

**Оборудование:** гидравлический пресс, термометр, термостат.

Проведение испытаний

Для испытаний берут три образца, приготовленные по ранее

изложенной методике. Перед испытанием образцы выдерживают при заданной температуре  $50\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $20\pm 2^\circ\text{C}$  и  $0\pm 2^\circ\text{C}$  в емкости с водой объемом 3...8 л. Температуру  $0\pm 2^\circ\text{C}$  создают смешиванием воды со льдом.

Предел прочности при сжатии асфальтобетонных образцов определяют на прессе со скоростью деформирования образца  $3,0\pm 0,5$  мм/мин. Для уменьшения потерь тепла при соприкосновении с металлическими плитами, между образцами и плитами прокладывают плотную бумагу.

Максимальное показание шкалы принимают за разрушающую нагрузку.

Прочность при сжатии ( $R_a$ ) равна:

$$R_{сж} = \frac{N_{\max}}{S}, \quad (5.2)$$

где  $N_{\max}$  - максимальная разрушающая нагрузка, Н  
 $S$  – площадь поперечного сечения образца,  $\text{м}^2$ .

Расхождение между результатами испытаний отдельных образцов не должно превышать 10%.

#### Определение водонасыщения

За величину водонасыщения принимают количество воды, поглощенное образцом при заданном режиме насыщения. Водонасыщение определяют на трех образцах-призмах или образцах-вырубках (керлах) из покрытий.

**Оборудование:** весы лабораторные, вакуум-прибор, термометр, эксикатор, хлопчатобумажная ткань.

#### Проведение испытаний

Сухие образцы взвешивают на воздухе, определяя массу ( $m_0$ ), и помещают в сосуд с водой на 30 минут, затем вынимают из сосуда, протирают влажной хлопчатобумажной тканью и взвешивают на воздухе ( $m_1$ ). После этого образцы вновь помещают в сосуд с водой так, чтобы уровень воды над образцами был не менее 3 см, и далее в вакуум-прибор, где поддерживают остаточное давление 2000 Па в течение 1 часа 30 минут.

После этого призмы извлекают из воды, вытирают мягкой влажной тканью и взвешивают на воздухе ( $m_2$ ) - и в воде ( $m_3$ ) с точностью до 0,01 г.

Приращение массы образца, отнесенное к первоначальному объему, и составляет его водонасыщение ( $W$ )

$$W = \frac{m_3 - m_0}{m_1 - m_2} \times 100\% . \quad (5.3)$$

Водопоглощение определяют с погрешностью 0,1%. Расхождение между наибольшим и наименьшим результатами определения не должно быть более 0,5%.

Определение набухания асфальтобетона

Набухание определяют как приращение объема образца асфальтобетона после насыщения его водой.

Для определения набухания (Н) образцов асфальтобетона в процентах используют данные испытания водонасыщения:

- массу сухого вещества ( $m_0$ ), взвешенного на воздухе;
- массу образца ( $m_1$ ), выдержанного 30 мин в воде и взвешенного на воздухе;
- массу образца ( $m_2$ ), выдержанного 30 минут в воде и взвешенного в воде;
- массу насыщенного водой образца ( $m_3$ ), взвешенного на воздухе;
- массу того же образца ( $m_4$ ), взвешенного в воде.

Взвешивание проводят в граммах с точностью до 0,01 г. Набухание определяют с погрешностью 0,1%. Расхождение между наибольшим и наименьшим результатами должно быть не более 0,2%.

$$H = \frac{(m_3 - m_4) - (m_1 - m_2)}{m_1 - m_2} \times 100\% \quad (5.4)$$

Определение коэффициента водостойкости

Сущность метода заключается в оценке степени падения прочности асфальтобетона после воздействия на него воды в условиях вакуума. Коэффициент водостойкости асфальтобетона ( $k_в$ ) вычисляется с погрешностью 0,01; испытания проводят при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ .

$$k_в = \frac{R_в}{R_{сyx}} , \quad (5.5)$$

где  $R_в$  - предел прочности при сжатии водонасыщенного образца, МПа

$R_{сyx}$  – предел прочности при сжатии сухого образца, МПа.

Определение коэффициента уплотнения

## 6 СКЛЕИВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

#### 6.1 ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

**Цель работы:** ознакомить студентов с технологией склеивания материалов; оценить прочность клеевых соединений в зависимости от продолжительности их нагрева при термообработке под давлением.

**Оборудование и материалы:**

1. Термошкаф, разрывная машина, 6 плоских образцов из листового текстолита размером 115x15x2 мм, клей БФ-2, ацетон, наждачная бумага, лоскуты ткани, вата, линейка, шпатель, гаечный ключ, струбцины.

**Основные положения.**

Склеиванием называется процесс создания неразъемного соединения материалов с помощью клея, который образует между соединяемыми поверхностями тонкую и прочно сцепленную с ними клеевую пленку. Прочность клеевого соединения зависит от адгезии (прилипания, сцепления) клеевой пленки со склеиваемыми материалами и ее когезии, т.е. прочности самой пленки. Увеличению прочности клеевого соединения в значительной степени способствуют создание шероховатости на склеиваемой поверхности материала и тщательное ее обезжиривание. Оптимальная толщина клеевой пленки должна быть в пределах 0,1...0,6 мм.

Склеивание синтетическими клеями находит широкое применение в авиации (обшивка панели), в судостроении (конструкция из стеклопластиков), в автомобильной промышленности (фрикционные накладки, обивка кузовов), в ремонтном производстве (заделка трещин, пор, пробоин). Склеивание позволяет соединять металлы и неметаллы в различных сочетаниях. По сравнению со сваркой и клепкой оно обеспечивает значительное снижение массы конструкций при высокой антикоррозийности клеевого шва, дает возможность вести процесс при сравнительно низких температурах, отличается простотой производства и достаточно высокой экономичностью. Недостатки клеевых соединений - невысокая долговечность (из-за старения) и небольшая прочность при неравномерном отрыве.

Клеи состоят из пленкообразующей органической или неорганической основы с заданными адгезионными и когезионными свойствами. Кроме того, в их состав могут входить растворители, создающие определенную вязкость клея, пластификаторы для



повышения его пластичности и уменьшения усадки, наполнители для повышения прочности соединения, отвердители и др. В качестве пленкообразующей основы используют синтетические смолы или каучуки, а для наполнителей - порошки, волокна органического и неорганического происхождения и др. Растворителями служат ацетон, дихлорэтан, бензол и спирты. В качестве пластификаторов применяют глицерин, каучук и некоторые смолы.

Промышленность выпускает клеи холодного или горячего отверждения. Клеи горячего отверждения обеспечивают более высокую прочность и теплостойкость. При нагреве лучше удаляется растворитель и происходит более полное отверждение. Обычно для удаления растворителя из клеевой пленки до окончательного нагрева с целью отверждения ее сушат на открытом воздухе при 50...60<sup>0</sup>С. Способствует прочности клеевого соединения также горячее отверждение под давлением.

Ряд материалов, как, например, органическое стекло, полистирол, склеивают их растворителями или клеями, содержащими склеиваемый материал и его растворитель (дихлорэтан, ацетон и др.).

Широко применяют специальные клеи для склеивания таких материалов, как текстолит, стеклотекстолит, металлов с неметаллами. К ним относятся фенольно-формальдегидные, эпоксидные, фенольно-бутварные, полиуретановые, карбоамидные, резиновые и другие клеи.

В данной лабораторной работе для склеивания материалов используют фенольно-бутварный клей БФ-2. Он представляет собой раствор фенольно-бутварной смолы в спирте и применяется для склеивания пластмасс, металлов, керамики, древесины. Склеивание материалов этим клеем ведется горячим отверждением.

При клеевом соединении часто применяют соединения деталей внахлестку. Подобное клеевое соединение используется в данной работе (рисунок 6.1).

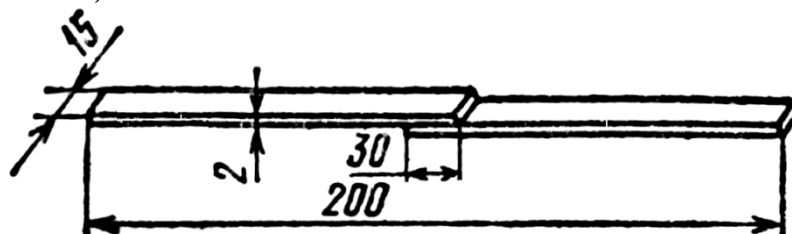


Рисунок 6.1 - Клеевое соединение образца внахлестку

1. Наметить на образцах места склеивания.
2. Подготовить на образцах места склеивания: зачистить их наждачной бумагой, сдуть с них пыль и обезжирить их ацетоном,

просушить на воздухе в течение 3...5 мин.

3. Нанести на зачищенные места образцов первый слой клея (слой наносится движением шпателя в одну сторону, чтобы не образовались пузырьки воздуха).

4. Провести первую открытую сушку образцов с нанесенным слоем клея в термошкафу при 50...60<sup>0</sup>С в течение 15 мин.

5. Нанести второй слой клея.

6. Провести вторую сушку при том же режиме, что и первая.

7. Соединить склеиваемые поверхности образцов и зажать их в струбцинках давлением 0,25...0,3 МПа (2,5...3 кгс/см<sup>2</sup>).

8. Нагреть склеиваемые образцы вместе со струбцинками в термошкафу до 150<sup>0</sup>С и выдержать при этой температуре 5,15 и 25 мин.

9. Извлечь образцы со струбцинками из термошкафа, охладить на воздухе до 40<sup>0</sup>С и раскрепить.

10. Испытать склеенные образцы на сдвиг на разрывной машине.

11. Определить предел прочности клеевого соединения на сдвиг по формуле:

$$\tau = F/A, \quad (6.1)$$

где F- разрушающая нагрузка, Н ;

A - площадь склеивания, мм<sup>2</sup>.

12. Занести полученные данные в протокол испытаний.

13. Построить график изменений предела прочности на сдвиг клеевого соединения в зависимости от продолжительности нагрева при выдержке под давлением.

**Содержание отчета.** В отчет необходимо включить: определение склеивания материалов; факторы, влияющие на прочность клеевого соединения; состав и виды клеев; эскиз клеевого соединения; протокол опытных данных; график изменения предела прочности на сдвиг клеевого соединения в зависимости от продолжительности нагрева под давлением.

**В выводах** дать анализ изменения предела прочности на сдвиг в зависимости от продолжительности нагрева и определить оптимальный режим нагрева для склеивания текстолита клеем БФ-2.

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Что называется склеиванием?
2. От чего зависит прочность клеевого соединения?
3. Перечислите достоинства и недостатки клеевых

соединений.

4. Опишите состав и области применения клеев на пленкообразующей органической и неорганической основах.

5. Опишите порядок склеивания клеями горячего отверждения

6. По какой формуле рассчитывают предел прочности клеевого соединения на сдвиг?

## 7 БЕТОНЫ

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

#### 7.1 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА МЕХАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**Цель работы:** изучить методы определения прочности бетона.

**Оборудование:** молотки для определения прочности бетона

#### **Общие положения**

Механические методы неразрушающего контроля при обследовании конструкций применяют для определения прочности бетона всех видов нормируемой прочности, контролируемых по ГОСТ 18105-86.

В зависимости от применяемого метода и приборов косвенными характеристиками прочности являются:

значение отскока бойка от поверхности бетона (или прижатого к ней ударника);

параметр ударного импульса (энергия удара);

размеры отпечатка на бетоне (диаметр, глубина) или соотношение диаметров отпечатков на бетоне и стандартном образце при ударе индентора или вдавливании индентора в поверхность бетона;

значение напряжения, необходимого для местного разрушения бетона при отрыве приклеенного к нему металлического диска, равного усилию отрыва, деленному на площадь проекции поверхности отрыва бетона на плоскость диска;

значение усилия, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции;

значение усилия местного разрушения бетона при вырыве из него анкерного устройства.

В таблице 7.1 приведены рекомендуемые методы контроля

прочности бетона.

При проведении испытаний механическими методами неразрушающего контроля следует руководствоваться указаниями ГОСТ 22690-88.

В таблице 7.2 приведены методы определения прочности бетона в зависимости от ожидаемой прочности испытываемых элементов.

В зависимости от метода обследования число испытаний на одном участке, расстояние между местами испытаний на участке и от края конструкции, толщина конструкции на участке испытания должны быть не меньше значений, приведенных в таблице 7.3.

К приборам механического принципа действия относятся: эталонный молоток Кашкарова, молоток Шмидта, молоток Физделя, пистолет ЦНИИСКа, молоток Польди и др. Эти приборы дают возможность определить прочность материала по величине внедрения бойка в поверхностный слой конструкций или по величине отскока бойка от поверхности конструкции при нанесении калиброванного удара (пистолет ЦНИИСКа).

Молоток Физделя (рисунок 7.1) основан на использовании пластических деформаций строительных материалов. При ударе молотком по поверхности конструкции образуется лунка, по диаметру которой и оценивают прочность материала. То место конструкции, на которое наносят отпечатки, предварительно очищают от штукатурного слоя, затирки или окраски. Процесс работы с молотком Физделя заключается в следующем: правой рукой берут за конец деревянной рукоятки, локоть опирают о конструкцию. Локтевым ударом средней силы наносят 10-12 ударов на каждом участке конструкции. Расстояние между отпечатками ударного молотка должно быть не менее 30 мм. Диаметр образованной лунки измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм по двум перпендикулярным направлениям и принимают среднее значение. Из общего числа измерений, произведенных на данном участке, исключают наибольший и наименьший результаты, а по остальным вычисляют среднее значение. Прочность бетона определяют по среднему измеренному диаметру отпечатка и тарировочной кривой, предварительно построенной на основании сравнения диаметров отпечатков шарика молотка и результатов лабораторных испытаний на прочность образцов бетона, взятых из конструкции по указаниям ГОСТ 28570-90 или специально изготовленных из тех же компонентов и по той же технологии, что материалы обследуемой конструкции.

На рисунке 7.2 приведена тарировочная кривая для определения


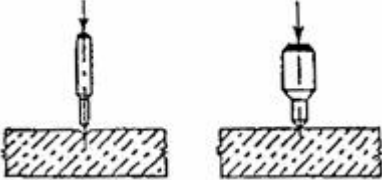
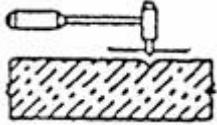
предела прочности при сжатии молотком Физделя.

К методике определения прочности бетона, основанной на свойствах пластических деформаций, относится также молоток Кашкарова ГОСТ 22690-88.

Отличительная особенность молотка Кашкарова (рисунок 8.3) от молотка Физделя заключается в том, что между металлическим молотком и завальцованным шариком имеется отверстие, в которое вводится контрольный металлический стержень. При ударе молотком по поверхности конструкции получают два отпечатка: на поверхности материала с диаметром  $d_d$  и на контрольном (эталонном) стержне с диаметром  $d_s$ . Отношение диаметров получаемых отпечатков зависит от прочности обследуемого материала и эталонного стержня и практически не зависит от скорости и силы удара, наносимого молотком. По среднему значению величины  $d_d/d_s$  из тарировочного графика (рисунок 7.4) определяют прочность материала.

На участке испытания должно быть выполнено не менее пяти определений при расстоянии между отпечатками на бетоне не менее 30 мм, а на металлическом стержне - не менее 10 мм.

Таблица 7.1 - Методы контроля прочности бетона

Метод, стандарты, приборы	Схема испытания
Ультразвуковой ГОСТ 17624-87 Приборы: УКБ-1, УКБ-1М УКБ16П, УФ-90ПЦ Бетон-8-УРП, УК-1ОП	
Пластической деформации Приборы: КМ, ПМ, ДИГ-4 Упругого отскока Приборы: КМ, склерометр Шмидта ГОСТ 22690-88	
Пластической деформации Молоток Кашкарова ГОСТ 22690-88	

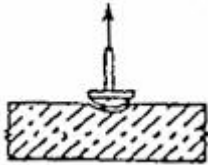
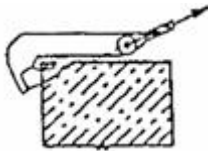
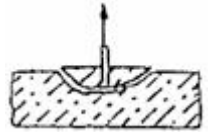
Отрыв с дисками ГОСТ 22690-88 Прибор ГПНВ-6	
Скалывание ребра конструкции ГОСТ 22690-88 Прибор ГПНС-4 с приспособлением УРС	
Отрыв со скалыванием ГОСТ 22690-88 Приборы: ГПНВ-5, ГПНС-4	

Таблица 7.2.

Наименование метода	Предельные значения прочности бетона, МПа
Упругий отскок и пластическая деформация	5-50
Ударный импульс	10-70
Отрыв	5-60
Скалывание ребра	10-70
Отрыв со скалыванием	5-100

Таблица 7.3.

Наименование метода	Число испытаний на участке	Расстояние между местами испытаний, мм	Расстояние от края конструкции до места испытаний, мм	Толщина конструкции, мм
Упругий отскок	5	30	50	100
Ударный импульс	10	15	50	50
Пластическая деформация	5	30	50	70
Скалывание ребра	2	200	-	170
Отрыв	1	2 диаметра диска	50	50

Отрыв со скалыванием	1	5 глубин вырыва	150	Удвоенная глубина установки анкера
----------------------	---	-----------------	-----	------------------------------------

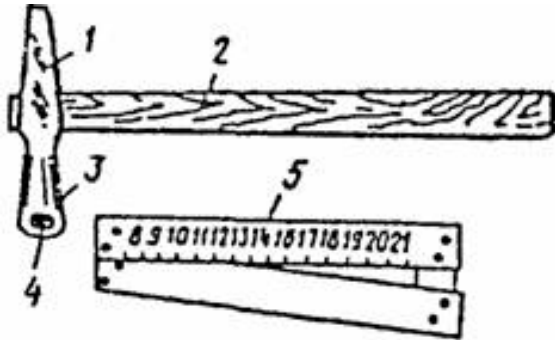


Рисунок 7.1.- Молоток И.А. Физделя  
 1 - молоток; 2 - ручка; 3 - сферическое гнездо;  
 4 - шарик; 5 - угловой масштаб



Рисунок 7.2.- Тарировочный график для определения предела прочности бетона при сжатии молотком Физделя

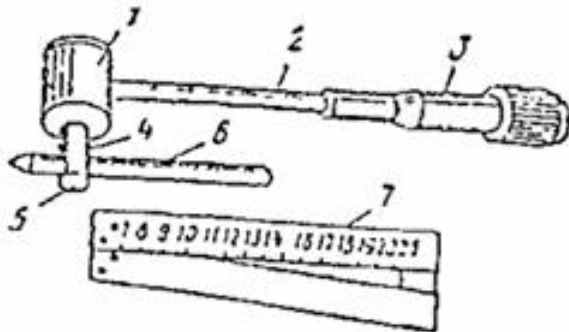


Рисунок 7.3 - Определение прочности материала, с помощью молотка К.П. Кашкарова  
 1 - корпус, 2 - метрическая рукоятка;  
 3 - резиною ручка; 4 - головка; 5 - стальной шарик, 6 - стальной эталонный стержень;  
 7- угловой масштаб

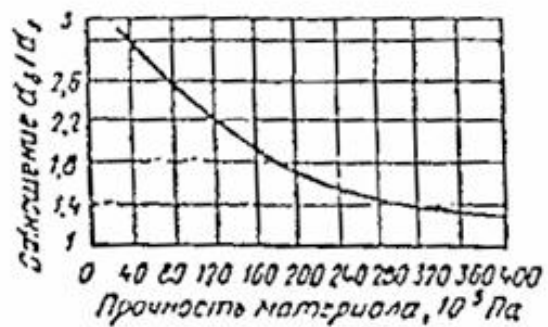


Рис. 7.4.- Тарировочная кривая для определения прочности бетона молотком Кашкарова

К приборам, основанным на методе упругого отскока, относятся пистолет ЦНИИСКА (рисунок 7.5), пистолет Бороваго (рисунок. 7.6), молоток Шмидта, склерометр КМ со стержневым ударником и др. Принцип действия этих приборов основан на измерении упругого отскока ударника при постоянной величине кинетической энергии металлической пружины. Взвод и спуск бойка осуществляются автоматически при соприкосновении ударника с испытываемой поверхностью. Величину отскока бойка фиксирует указатель на шкале прибора.

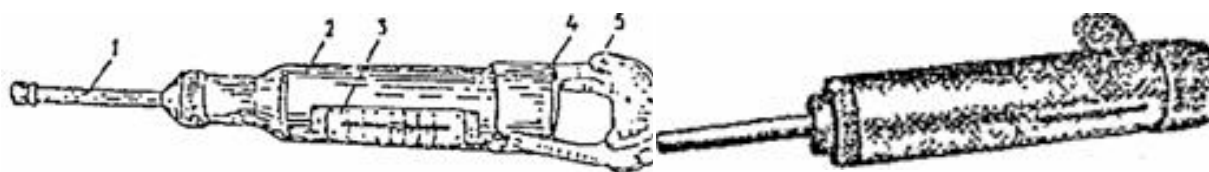


Рисунок 7.5 - Пистолет ЦНИИСКА для определения прочности бетона неразрушающим методом  
1 - ударник, 2 - корпус, 3 - шкала, 4 - фиксатор показания прибора, 5 – рукоятка

Рисунок 7.6 - Пружинный пистолет С.И. Бороваго

Отличительная особенность склерометра КМ заключается в том, что специальный боек определенной массы при помощи пружины с заданной жесткостью и предварительным напряжением ударяет по концу металлического стержня, называемого ударником, прижатого другим концом к поверхности испытываемого бетона. В результате удара боек отскакивает от ударника. Степень отскока отмечается на шкале прибора при помощи специального указателя.

Зависимость величины отскока ударника от прочности бетона устанавливают по данным тарировочных испытаний бетонных кубиков размером 15'15'15 см, и на этой основе строится тарировочная кривая.

Прочность материала конструкции выявляют по показаниям градуированной шкалы прибора в момент нанесения ударов по испытываемому элементу.

Методом испытания на отрыв со скалыванием определяют прочность бетона в теле конструкции. Сущность метода состоит в оценке прочностных свойств бетона по усилию, необходимому для его разрушения, вокруг шпура определенного размера при вырывании



закрепленного в нем разжимного конуса или специального стержня, заделанного в бетоне. Косвенным показателем прочности служит вырывное усилие, необходимое для вырыва заделанного в тело конструкций анкерного устройства вместе с окружающим его бетоном при глубине заделки  $h$  (рисунок 7.7).

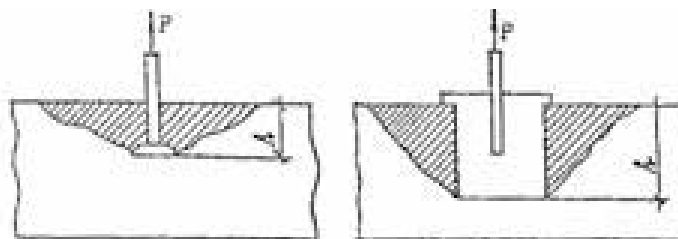


Рисунок 7.7 - Схема испытания методом отрыва со скалыванием при использовании анкерных устройств

При испытании методом отрыва со скалыванием участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры.

Прочность бетона на участке допускается определять по результатам одного испытания. Участки для испытания следует выбирать так, чтобы в зону вырыва не попала арматура. На участке испытания толщина конструкции должна превышать глубину заделки анкера не менее чем в два раза. При пробивке отверстия шлямбуром или высверливанием толщина конструкции в этом месте должна быть не менее 150 мм. Расстояние от анкерного устройства до грани конструкции должно быть не менее 150 мм, а от соседнего анкерного устройства - не менее 250 мм.

При проведении испытаний используются анкерные устройства трех типов (рисунок 7.8). Анкерные устройства типа I устанавливаются на конструкции при бетонировании; анкерные устройства типов II и III устанавливаются в предварительно подготовленные шпуровые отверстия, пробитые в бетоне высверливанием. Рекомендуемая глубина отверстий: для анкера типа II - 30 мм; для анкера типа III - 35 мм. Диаметр шпура в бетоне не должен превышать максимальный диаметр заглубленной части анкерного устройства более чем на 2 мм. Заделка анкерных устройств в конструкциях должна обеспечить надежное сцепление анкера с бетоном. Нагрузка на анкерное устройство должна возрастать плавно со скоростью не более 1,5-3 кН/с вплоть до вырыва его вместе с окружающим бетоном.

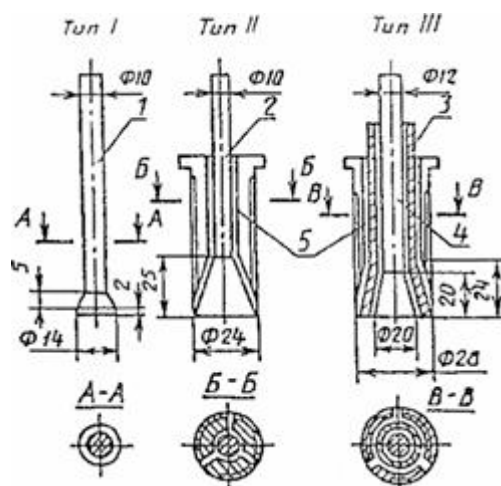


Рисунок 7.8 - Типы анкерных устройств

1 - рабочий стержень; 2 - рабочий стержень с разжимным конусом; 3 - рабочий стержень с полным разжимным конусом; 4 - опорный стержень, 5 - сегментные рифленые щеки

Наименьший и наибольший размеры вырванной части бетона, равные расстоянию от анкерного устройства до границ разрушения на поверхности конструкции, не должны отличаться один от другого более чем в два раза.

Единичное значение  $R_i$  прочности бетона на участке испытаний определяют в зависимости от напряжений сжатия в бетоне  $s_d$  и значения  $R_{i0}$ .

Сжимаемые напряжения в бетоне  $s_d$ , действующие в период испытаний, определяют расчетом конструкций с учетом действительных размеров сечений и величин нагрузок (воздействий).

Единичное значение  $R_{i0}$  прочности бетона на участке в предположении  $s_d = 0$  определяют по формуле:

$$R_{i0} = m_3 m_h A \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (7.1)$$

где  $m_3$  - коэффициент, учитывающий крупность заполнителя, принимаемый равным: при максимальной крупности заполнителя менее 50 мм - 1, при крупности 50 мм и более - 1,1;

$m_h$  - коэффициент, вводимый при фактической глубине  $h_\phi$ , отличающейся от  $h$  более чем на 5%

$$m_h = \frac{h^2}{h_\phi^2} \quad (7.2)$$

при этом  $h_\phi$  не должна отличаться от номинального значения, принятого при испытании, более чем на  $\pm 15\%$ ;

$P_i$  - усилие каждого из скалываний бетона выполненных на

участке испытаний;

$n$  – количество испытаний;

$A$  - коэффициент пропорциональности, значение которого при использовании анкерных устройств принимается:

для анкеров типа II - 30 мм:  $A_1 = 0,24 \text{ см}^2$  (бетон естественного твердения);  $A_2 = 0,25 \text{ см}^2$  (бетон, прошедший тепловую обработку);

для анкеров типа III - 35 мм, соответственно  $A_1 = 0,14 \text{ см}^2$ ;  $A_2 = 0,17 \text{ см}^2$ .

Прочность обжаренного бетона определяют из уравнения:

$$R_i = R_{i0} (R_{i0}^2 - 1,5\sigma_g R_{i0} + 1,5\sigma_g^2) \quad (7.3)$$

При определении класса бетона методом скалывания ребра конструкции применяют прибор типа ГПС-4 (рисунок 7.9). Схема испытания приведена на рисунок 7.10.

Параметры нагружения следует принимать:  $a = 20$  мм;  $b = 30$  мм,  $\alpha = 18^\circ$ .

На участке испытания необходимо провести не менее двух сколов бетона. Толщина испытываемой конструкции должна быть не менее 50 мм. Расстояние между соседними сколами должно быть не менее 200 мм. Нагрузочный крюк должен быть установлен таким образом, чтобы величина "а" не отличалась от номинальной более чем на 1 мм. Нагрузка на испытываемую конструкцию должна нарастать плавно со скоростью не более  $(1 \pm 0,3)$  кН/с вплоть до скалывания бетона. При этом не должно происходить проскальзывания нагрузочного крюка. Результаты испытаний, при которых в месте скола обнажалась арматура, и фактическая глубина скалывания отличались от заданного более 2 мм, не учитываются.

Единичное значение  $R_i$  прочности бетона на участке испытаний определяют в зависимости от напряжений сжатия бетона  $s_d$  и значения  $R_{i0}$ .

Сжимающие напряжения в бетоне  $s_d$ , действующие в период испытаний, определяют расчетом конструкции с учетом действительных размеров сечений и величин нагрузок.

Единичное значение  $R_{i0}$  прочности бетона на участке в предположении  $s_\sigma = 0$  определяют по формуле:

$$R_{i0} = m_g R_{iy} \quad (7.4)$$

где  $m_g$  - поправочный коэффициент, учитывающий крупность заполнителя, принимаемый равным: при максимальной крупности заполнителя 20 мм и менее - 1, при крупности более 20 до 40 мм - 1,1;

$R_{iy}$  - условная прочность бетона, определяемая по графику (рисунок 7.17) по среднему значению косвенного показателя  $P$ :

$$P = \frac{1}{k_y} \sum_{i=1}^{k_y} P_i \quad (7.5)$$

$P_i$  - усилие каждого из скалываний, выполненных на участке испытаний.

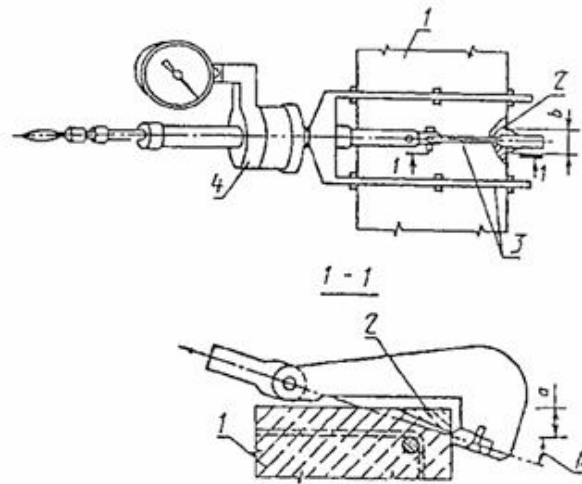


Рисунок 7.9 - Прибор для определения прочности бетона методом скалывания ребра

1 - испытуемая конструкция, 2 - скалываемый бетон, 3 - устройство УРС, 4 - прибор ГПС-4

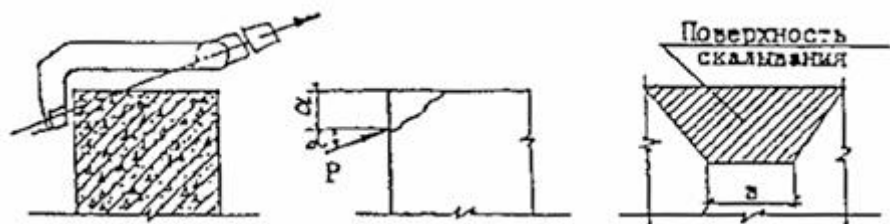


Рисунок 7.10 - Схема испытания бетона в конструкциях методом скалывания ребра конструкции

При испытании методом скалывания ребра на участке испытания не должно быть трещин, сколов бетона, наплывов или раковин высотой (глубиной) более 5 мм. Участки должны располагаться в зоне наименьших напряжений, вызываемых эксплуатационной нагрузкой или усилием обжатия предварительно напряженной арматуры.

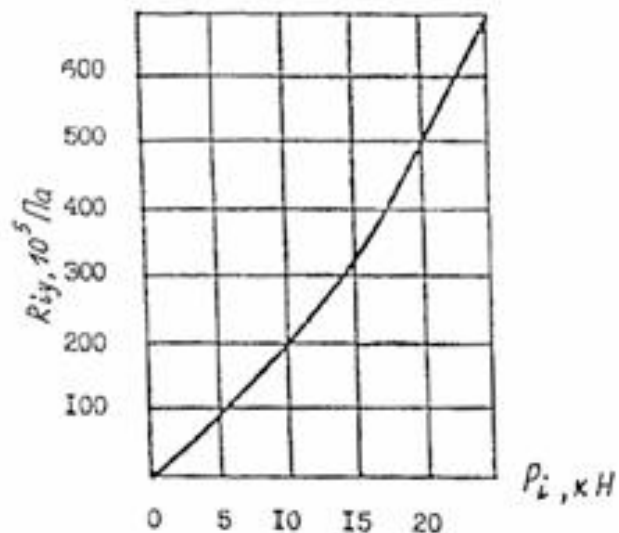


Рисунок 7.11 - Зависимость условной прочности бетона  $R_{ty}$  от силы скола  $P_i$

### *Вопросы для самопроверки*

1. Что является косвенными характеристиками прочности бетона?
2. Перечислите приборы механического принципа действия.
3. Перечислите методы контроля прочности бетона.
4. Перечислите приборы, основанные на методе упругого отскока.
5. Принцип действия приборов, основанных на методе упругого отскока.
6. Что такое склерометр?
7. В чем заключается метод испытания на отрыв со скалыванием?

## 8 КРИСТАЛИЗАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

#### 8.1 ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

##### *Цель работы:*

Изучение процесса кристаллизации из жидкого состояния в твердое.

**Оборудование и материалы:** биологический микроскоп, растворы вышеназванных солей, электроплитка, предметные стекла.

##### *Основные положения:*

Кристаллизацией называется процесс образования кристаллов как из жидкой фазы (первичная кристаллизация), так и из твердой фазы (вторичная кристаллизация).

Твердое состояние кристаллических тел, в том числе металлов, характеризуется геометрически правильным расположением в них атомов. В жидкости частично сохраняется только "ближний порядок" в расположении атомов, характеризующий правильность расположения небольших групп атомов.

Кристаллы (зерна), из которых состоят металлы, характеризуются анизотропией свойств, т.е. Физические свойства, в кристалле различны по различным направлениям, в то время как в аморфных телах (стекло, канифоль и т.п.), которые являются изотропными, свойства не зависят от направления. При плавлении металлов происходит разрушение так называемой кристаллической решетки, представляющей собой совокупность закономерно расположенных атомов в металле, а при кристаллизации - образование кристаллической решетки.

Для развития процесса кристаллизации необходимо создать такие условия, при которых свободная энергия твердой фазы будет меньше, чем свободная энергия жидкой фазы. Как видно из рисунка 7.1 это возможно только при некотором переохлаждении сплава. Степенью переохлаждения  $\Delta T$  называется разность между равновесной (теоретической)  $T_s$  и фактической температурой кристаллизации  $T_{кр}$ :

$$\Delta T = T_s - T_{кр}, \quad (8.1)$$

где  $T_s$  - равновесная температура;

$T_{кр}$  - фактическая температура.

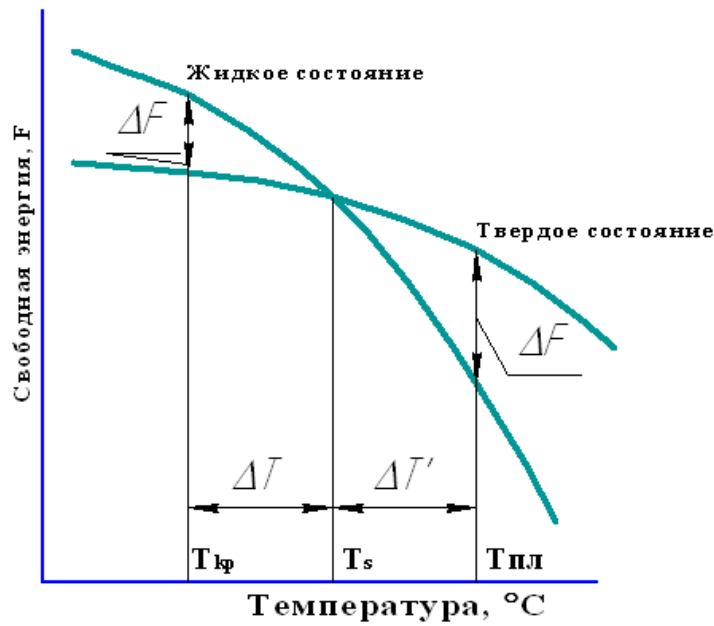


Рисунок 8.1

Первым описал процесс кристаллизации стали из жидкой фазы Д.К.Чернов в 1878 году. Д.К.Чернов указал, что **кристаллизация складывается из двух элементарных процессов. Первый** - зарождение в жидкости мельчайших кристаллических частиц (зародышей) или, как их называют, центров кристаллизации. **Второй** - рост центров кристаллизации.

Позднее установлено, что при данной величине переохлаждения число возникающих зародышей (Ч.З.) и скорость роста кристаллов (С.К.) являются величинами постоянными в течение всего времени кристаллизации. Графическое выражение этой зависимости представлено на рисунке 8.1.

Скорость возникновения зародышей - это число зародышей (Ч.З.), возникающих в единице объема (1мм<sup>3</sup>) в единицу времени (1с).

Скорость роста кристалла (С.К.) - это линейное перемещение растущей грани кристалла в миллиметрах в единицу времени.

Зародыши (центры кристаллизации) могут возникать непосредственно в жидкой фазе, а также на поверхностях примесей, присутствующих в жидкости или специально введенных (несамопроизвольное образование центров кристаллизации).

Величина получаемых кристаллов N зависит от соотношений величин С.К. и Ч.З. при данной степени переохлаждения и выражается формулой:

$$N = a \cdot \sqrt{\frac{с.к.}{ч.з.}}, \quad (8.2)$$

где a - коэффициент пропорциональности.

На рисунке 8.2 рассматриваются две степени переохлаждения  $\Delta T_1$  (малая) и  $\Delta T_2$  (большая). Во втором случае величина знаменателя (Ч.З.) в формуле значительно больше, чем в первом случае, при незначительном увеличении числителя (С.К.). Следовательно, величина  $N$  во втором случае будет намного меньше, чем в первом. Иными словами, чем больше степень переохлаждения, тем мельче зерно. На практике измельчение зерна в сплавах достигается путем модифицирования, т.е. путем введения в расплав мельчайших частичек, являющихся дополнительными центрами кристаллизации. Увеличение количества вводимых центров приводит к уменьшению размеров зерна.

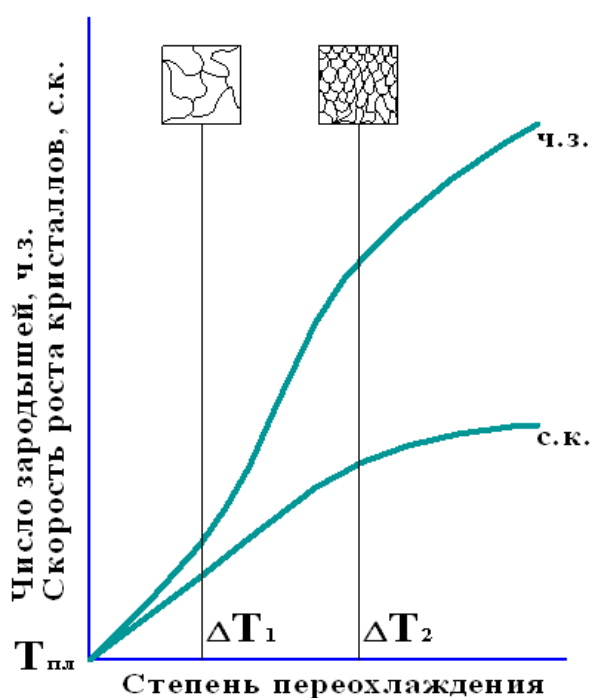


Рисунок 8.2

Законы кристаллизации для солей и металлических сплавов одинаковы, поэтому изучение процесса кристаллизации можно производить на растворах солей. Изучение процесса кристаллизации солей производится с помощью биологического микроскопа при увеличении не более  $\times 100$ .

Процесс кристаллизации изучаемой капли раствора соли азотнокислого свинца можно условно разделить на три периода. По мере испарения жидкости концентрация раствора изменяется и раствор постепенно приходит к состоянию насыщения. Наибольшее испарение будет у краев капли, откуда и начинается кристаллизация.

В течение первого периода кристаллизации у краев капли образуется корка, состоящая из мелких, произвольно



ориентированных кристаллов (рис.4А), так как сильное переохлаждение вызвало появление большого числа центров кристаллизации.

Во второй период кристаллизации растут крупные, так называемые столбчатые кристаллы (рис.4Б). Направление их нормально к краям капли и растут они в направлении прямо противоположном теплоотводу. Здесь мы имеем большую скорость кристаллизации при ограниченном числе зародышей.

В третий период кристаллизации возникают кристаллы в центральной зоне капли, где слой раствора толще и испарение (или охлаждение) происходит позже и медленнее. Эти кристаллы (рисунок 8.3) беспорядочно ориентированы и имеют ясно выраженную форму дендритов. Дендрит - древовидный кристалл.

Процесс затвердевания металлического слитка весьма схож с процессом кристаллизации капли соли.

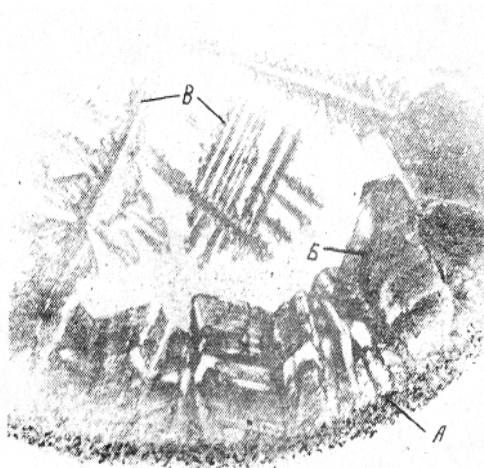


Рисунок 8.3 - Структура застывшей капли раствора

#### **Порядок выполнения работы:**

1. На электроплитке нагреть до кипения насыщенные растворы имеющихся солей поочередно.
2. Отфокусировать с помощью, макро- и микровинтов биологический микроскоп (по чистому стеклу).
3. Стеклопалочкой нанести поочередно по капле раствора солей на плоское стекло.
4. Положить стекло с каплей раствора соли на предметный столик микроскопа.
5. Добившись необходимой резкости изображения границы капли наблюдать за процессом кристаллизации соли через окуляр микроскопа.
6. По окончании затвердевания капли зарисовать ее структуру.
7. Оформить отчет по работе, который должен содержать

краткое описание процесса кристаллизации, рисунки капель солей и пояснения к рисункам.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Что такое "анизотропия"?
2. Каковы условия процесса кристаллизации (плавления)?
3. Из каких этапов складывается процесс кристаллизации?
4. От чего зависит размер зерна?
5. Как, используя формулу величины зерна ( $N$ ), можно объяснить измельчение зерна при большей, степени переохлаждения?
6. С чего начинается и чем заканчивается кристаллизация капли раствора соли?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов, К. Н. Физико-механические испытания / К. Н. Попов, М. Б. Каддо - М.: Издательство АСВ, 1997.
2. Дворкин, Л. И. Строительные материалы и детали: Практикум / Л. И. Дворкин - Киев: Вышая шк. Головное изд-во, 1988 -200 с.
3. ГОСТ 8267-93\* Щебень из природного камня для строительных работ. Технические условия. - М.: Изд-во стандартов, 1982.-12 с.
4. ГОСТ 8462-85. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. - М.: Изд-во стандартов, 1987 - 10 с.
5. ГОСТ 9479-2000.Блоки из природного камня для производства облицовочных изделий. Технические условия. - М.: Изд-во МНТКС, 2000 - 14 с.
6. ГОСТ 13087-81. Бетоны. Методы определения истираемости. - М.: Изд-во стандартов, 1981.-10 с.