

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

Кафедра строительного производства

# МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к лабораторным работам

Составители:  
Н. Н. ТУР  
М. В. ХАРИТОНОВ  
Р. Н. ПРОХОРОВ



Владимир 2013

УДК 691  
ББК 38.300.6  
М 54

Рецензент  
Кандидат технических наук, профессор  
кафедры строительного производства  
Владимирского государственного университета  
им. А. Г. и Н. Г. Столетовых  
*К. А. Дубов*

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

**Механические** свойства строительных материалов : метод.  
М54 указания к лаб. работам / Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Сто-  
летовых ; сост.: Н. Н. Тур, М. В. Харитонов, Р. Н. Прохоров. –  
Владимир : Изд-во ВлГУ, 2013. – 36 с.

Изложены методы определения механических свойств строительных ма-  
териалов, по полученным данным проведен анализ материала с целью правиль-  
ного применения в строительстве.

Соответствуют учебной программе курса согласно требованиям ФГОС-3  
специальности 270102 – Промышленное и гражданское строительство (бака-  
лавриат) и служит руководством при выполнении лабораторных работ по дис-  
циплине «Строительные материалы». Предназначены для студентов 1 – 2-го  
курсов архитектурно-строительного факультета всех форм обучения.

Табл. 12. Ил. 8. Библиогр. : 4 назв.

УДК 691  
ББК 38.300.6

## ВВЕДЕНИЕ

Знание строения и общих свойств строительных материалов необходимо для решения практических вопросов, где и как применять материалы, чтобы получить наибольший технико-экономический эффект.

При строительстве особое внимание следует обращать на качество материалов, в первую очередь – для несущих конструкций, чтобы предотвратить разрушение зданий, сооружений и их конструктивных элементов. В этой связи освоение методик по контролю за качеством материалов в подготовке инженера-строителя имеет определяющее значение.

Руководитель и непосредственный организатор производства должен знать номенклатуру строительных материалов, их свойства и рациональные области применения в зданиях и сооружениях, уметь при необходимости технически грамотно заменить одни материалы другими, а также оценить качество строительных материалов, получаемых с заводов и предприятий стройиндустрии.

К выполнению лабораторных работ студенты должны приступать только после изучения соответствующих теоретических вопросов по рекомендуемой преподавателем литературе.

В работах предусмотрено использование современного оборудования и приборов.

Отчеты по лабораторным работам следует оформлять в тетрадях. При оформлении необходимо отразить:

- наименование работы и цель;
- методику испытаний с указанием исследуемых материалов, приборов, оборудования, последовательности выполняемых операций;
- первичные данные опытов;
- результаты испытаний, оформленные в виде таблиц или графиков;
- анализ результатов и выводы по работе.

## Лабораторная работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СЖАТИИ, ИЗГИБЕ И РАСТЯЖЕНИИ

#### 1.1. Определение предела прочности при сжатии

**Цель работы:** научиться определять предел прочности строительных материалов при сжатии, растяжении и изгибе на стандартных образцах согласно ГОСТ 18105.1-80.

**Прочность** – это свойство строительных материалов сопротивляться разрушению под действием внутренних напряжений, вызванных внешними силами или другими факторами.

В конструкциях строительный материал может подвергаться воздействию статических и динамических нагрузок, а именно сжатию, растяжению, изгибу, сдвигу и т.п., поэтому прочность материалов обычно характеризуется величиной предела прочности при сжатии, растяжении, изгибе и т.д. Численно предел прочности равен напряжению, соответствующему нагрузке, которая вызвала разрушение образца материала.

Испытания следует выполнять в строгом соответствии с требованиями нормативной документации. Всякого рода отклонения могут привести к грубому искажению результатов и в конечном итоге к неверным выводам о качестве материала. На точность испытания прочности образцов материала влияет большое количество факторов: состояние форм, конструкция и состояние пресса, скорость приложения нагрузки и др.

При сжатии кубов потоки напряжений в них неравномерны, поэтому преимущество имеют образцы-цилиндры. Они более технологичны и удобны, чем формы для кубов. В отечественной практике испытания проводят преимущественно на образцах-кубах. ГОСТами регламентированы достаточно жесткие допуски для геометрических размеров образцов. По мере использования форм для изготовления образцов со временем происходит изменение их геометрии и формующей поверхности. При использовании новых форм коэффициент вариации  $s_v$  колеблется до 8 %, а старых – до 14 %.

Для испытания на сжатие применяют гидравлические прессы по ГОСТ 8305-82. В диапазоне измерений от 0,2 до 0,9 предела прочности прессы должны обеспечивать определение нагрузки с погрешностью не более +2 %. Прессы подлежат поверке органами Госстандарта РФ не реже одного раза в два года.

Следует учитывать, что даже при использовании однотипных поверенных прессов коэффициент вариации может изменяться от 4 до 13 %, а погрешность в оценке прочности достигать 20 – 28 %.

На результаты испытания прочности влияют следующие конструктивные особенности прессов: толщина плиты пресса, жесткость рамы пресса, устройство шарового шарнира, который необходим для компенсации возможной непараллельности опорных поверхностей образца и плотного прилегания к ним плит пресса, передающих сжимающую нагрузку. Существенное влияние оказывает скорость приращения нагрузки, которая должна возрастать непрерывно и равномерно и соответствовать  $4 - 8 \text{ кгс/см}^2$ . Практика испытаний свидетельствует, что при увеличении размеров образцов показания приборов снижаются. Для исключения влияния размеров образцов-кубов в расчетные формулы прочности введены масштабные коэффициенты  $\alpha$ . За базовый образец принят куб с ребром  $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$ . Для него  $\alpha = 1$ . Для кубических образцов бетона с ребром 70, 100, 150, 200 и 300 мм минимальные значения масштабного коэффициента соответствуют 0,85; 0,91; 1,0; 1,05; 1,1.

Прочность строительных материалов также зависит от наличия пор, трещин и микродефектов структуры. Для хрупких материалов (природных каменных материалов, бетонов, кирпича, строительных растворов, стекла и др.) предел прочности определяют как средний результат испытаний серии образцов (обычно не менее пяти).

Согласно ГОСТ 18105.1-80 контроль прочности строительных материалов на образцах должен проводиться статистическим методом, с помощью которого требования к прочности устанавливаются с учетом фактической однородности прочности. Однородность характеризуется коэффициентом вариации  $s_v$ . В табл. 1.1 приведены расчетные формулы и размеры образцов для различных строительных материалов.

Работа состоит из трех основных этапов: подготовки к испытаниям, проведения испытаний, обработки результатов. Работу выполняет бригада из трех-четырех студентов. Каждая бригада испытывает серию из 3 – 5 образцов.

*Подготовка к испытаниям.* Перед испытанием образцы осматривают, отмечая сколы ребер, раковины и инородные включения, выходящие на поверхность образцов. Результаты осмотра отражают в отчете. На образцах выбирают и отмечают опорные грани, на которые будет передаваться нагрузка.

Таблица 1.1

Форма образца	Расчетная формула	Материал	Размер стандартного образца, см
Куб	$R = P/a^2$	1) Бетон 2) Раствор 3) Природный камень	1) 15 x 15 x 15 2) 20 x 20 x 20 3) 10 x 10 x 10
Цилиндр	$R = LP/\pi d^2$	1) Бетон 2) Природный камень	1) 5 x 5 x 5 2) 7,07 x 7,07 x 7,07
Призма	$R = P/a^2$	1) Бетон 2) Древесина 3) Цемент 4) гипсовый раствор	1) $a = 10, 15, 20$ 2) $h = 40, 60, 80$ 3) $a = 2, h = 3$ 4) 4 x 4 x 16
Составной образец	$R = P/S$	Кирпич	1) $a = 12$ 2) $b = 12,5$ 3) $h = 14$
Половинка образца призмы	$R = P/S$	1) Цемент 2) Гипсовый раствор	1) $L = 16, b = 4, h = 4$ 2) $S = 25$
Проба щебня (гравия) в цилиндре на дробимость	$D = m_1 - m_2/m_1$	Крупный заполнитель для бетона (щебень, гравий)	$D = 15, h = 15$
Стержень металлический, восьмерка, призма на растяжение	$R = P/S$	1) Бетон 2) Сталь	1) 5 x 5 x 20 2) 10 x 10 x 10 $D = 1, b = 10, a = 5$
Цилиндр	$R = P/S$	Бетон	16 x 15
Призма, кирпич в натуре	$R = P/S$	Кирпич	12 x 6,5 x 25

При этом руководствуются следующими правилами: а) сжимающая сила должна быть направлена параллельно слоям укладки смеси в форму; б) опорные грани должны быть параллельными. Далее определяют линейные размеры образцов с погрешностью не более 1 %. Каждый линейный размер образца-куба вычисляют как среднее арифметическое значений результатов двух измерений по серединам двух противоположных граней. По итогам линейных измерений находят площадь сечения, на которую будет приложена разрушающая нагрузка.

*Проведение испытаний.* Предел прочности при сжатии  $R_{сж}$ , Н/см<sup>2</sup> (МПа) равен разрушающей силе, приходящейся на 1 см<sup>2</sup> первоначального сечения материала в момент разрушения образца:

$$R_{сж} = P_{max}/F,$$

где  $P_{max}$  – максимальная разрушающая нагрузка, Н;  $F$  – площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>.

Непосредственно перед испытанием тщательно очищают опорные плиты пресса. Затем образец устанавливают одной из заранее выбранных граней на нижнюю плиту пресса по центру, центровку образца осуществляют по рискам, нанесенным на плите пресса, либо с помощью специальных устройств. После центровки опускают верхнюю плиту пресса и зажимают образец, включают пресс и доводят образец до разрушения. Берут отсчет по прибору. Результаты механических испытаний записывают в табл. 2.

Таблица 1.2

№ образца	Материал	Размеры образца, см				Площадь поперечного сечения, см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, кгс	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$	
		Длина	Ширина	Высота	Диаметр			кгс/см <sup>2</sup>	МПа

*Обработка результатов.* Сначала каждая бригада рассчитывает прочность  $R_{сж}$  образцов, проводит проверку однородности результатов и находит среднее значение прочности  $R_i$  в серии образцов. Затем бригады обмениваются результатами и переходят к определению средней прочности  $R_m$  и коэффициента вариации прочности бетона  $c_v$  в партии.

*Коэффициент вариации* (изменчивости) прочности бетона является критерием его однородности. Его вычисляют по формуле

$$c_v = S/R_m \cdot 100,$$

где  $S$  – среднее квадратичное отклонение отдельных результатов испытаний от средней прочности бетона  $S = (R_i - R_m)^2/n - 1$ ;  $R_m$  – средняя прочность бетона, равная среднему арифметическому пределу прочности отдельных образцов  $R_i$ .

## 1.2. Определение предела прочности при изгибе

Предел прочности при статическом изгибе определяют на гидравлическом прессе с применением образцов-призм и специального приспособления.

Образцы цементно-песчаных растворов, кирпича, древесины, бетона испытывают на изгиб как свободно лежащие на двух опорах балки, к которым в середине приложена сосредоточенная нагрузка (для цементно-песчаных растворов – 40 x 40 x 160 мм; для кирпича – 250 x 120 x 65 мм; для древесины – 200 x 200 x 300 мм; для бетона 100 x 100 x 400 мм, 150 x 150 x 600 мм и 200 x 200 x 800 мм. За базовый образец бетона принята призма размером 150 x 150 x 600 мм.

Перед испытанием образцы-призмы осматривают и обмеряют. На опорной поверхности призмы размечают краской или мелом места опирания призмы и точки приложения нагрузки. Образец-призму устанавливают на опоры так, чтобы изгибающее усилие было направлено параллельно слоям укладки сырьевой смеси в форму. Напряжение в образце при нагружении должно возрастать непрерывно с постоянной скоростью 0,05 – 0,02 МПа/с до момента его разрушения. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за величину разрушающей нагрузки.

Прочность бетона на растяжение при изгибе  $R_{p,и}$ , МПа (кгс/см<sup>2</sup>) для каждого базового образца вычисляют по формуле  $R_{p,и} = PL/bh^2$ , где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н (кгс);  $b$  и  $h$  – соответственно ширина и высота призмы, м (см);  $L$  – расстояние между опорами, м (см).

При испытании образцов-призм других размеров в приведенную выше формулу вводится коэффициент  $K$ :  $R_{p,и} = K PL/bh^2$ , где  $K$  – для образцов-призм размером 100 x 100 x 400 мм принимают 1,05, размером 200 x 200 x 800 мм – 0,95.



При испытании древесины на изгиб образец укладывают таким образом, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годовым слоям тангентального изгиба. Скорость нагружения образцов должна быть равномерной в течение всего времени испытания: 7 – 8,5 кН/мин (100 – 150 кгс/мин). Испытание продолжают до разрушения образца.

Предел прочности при статическом изгибе  $R_w$  вычисляют с точностью до 1 МПа (10 кгс/см<sup>2</sup>) по следующим формулам:

а) при нагружении в двух точках

$$R_w = PL/bh^2;$$

б) при нагружении в одной точке

$$R_w = 3/2P_{\max}L/bh^2,$$

где  $P_{\max}$  – разрушающая нагрузка, Н (кгс);  $L$  – расстояние между опорами, мм (см);  $b$  – ширина образца, мм (см);  $h$  – высота образца, мм (см).

Предел прочности древесины пересчитывают на влажность 12 % по формуле  $R_{12} = R_w \{1 + \alpha(W - 12)\}$ , где  $\alpha$  – коэффициент, равный 0,04 для всех пород.

Предел прочности образцов древесины с влажностью, равной пределу гигроскопичности или большей, пересчитывают на влажность 12 % по формуле  $R_{12} = RK_{30/12}$ , где  $K_{30/12}$  – коэффициент при влажности 30 %, равный 0,65 – для клена; 0,62 – для вяза, дуба, липы, ольхи, ясеня; 0,58 – для бука, сосны, пихты, тополя; 0,55 – для березы, ели, лиственницы.

### **1.3. Определение прочности при осевом растяжении бетона**

Прочность бетона на осевое растяжение, согласно ГОСТ 10180-78, определяют испытанием восьмерок, подготовленных в специальных формах.

Перед испытанием образцы обмеряют в средней части с точностью до 1 мм и вычисляют фактическую площадь сечения. Испытание образца-восьмерки на разрыв производят на разрывной машине, в захваты которой образец закладывают так, чтобы его вертикальная ось проходила через центр шарнира захвата машины. Во время проведения испытания необходимо следить за тем, чтобы нагружение образцов проводилось непрерывно и равномерно со скоростью 0,05 – 0,02 МПа/с до разрушения образца.

Прочность бетона на осевое растяжение  $R_p$ , МПа (кгс/см<sup>2</sup>) для каждого базового образца с рабочим сечением 150 x 150 мм вычисляют по формуле  $R_p = P/F$ , где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н (кгс);  $F$  – средняя площадь рабочего сечения, м<sup>2</sup> (см<sup>2</sup>).

При испытании образцов-восьмерок других размеров в приведенную выше формулу вводится коэффициент  $\beta$ :  $R_p = \beta P/F$ , где значение  $\beta$  для образцов-восьмерок с рабочим сечением размеров 100 x 100 мм принимают 1,05, размером 200 x 200 мм – 0,95.

Прочность бетона на осевое растяжение вычисляют с точностью до 0,1 МПа как среднее арифметическое значение результатов испытаний трех образцов-восьмерок.

#### **1.4. Определение предела прочности при растяжении вдоль волокон древесины**

При испытании предела прочности при растяжении вдоль волокон древесины используют образцы точно установленных размеров согласно ГОСТ 16483.23-73. Годовые слои должны быть перпендикулярны ширине рабочей части образца, боковые поверхности выстроганы точно под угольник, а торцевые гладко опилены. Перед испытанием измеряют ширину и толщину рабочей средней части в трех местах: посередине и вблизи головок на расстоянии 35 мм от середины, отмечая эти точки линией. За окончательный результат принимают среднее арифметическое отдельных измерений.

Испытания производят на универсальной разрывной машине. Образец закрепляют между зажимами машины так, чтобы его головки выходили из зажимов на 20 – 25 мм. Между щеками зажимов вставляют стальную пробку (цилиндр) высотой 18 мм, а затем зажимают образец. Скорость увеличения нагрузки, равная 15 кН/мин (1500 кгс/мин), должна оставаться равномерной в течение всего испытания. Нагрузку увеличивают до тех пор, пока стрелка силоизмерителя не начнет двигаться в обратную сторону.

После испытания на рабочей части вырезают образец для определения влажности. Предел прочности при растяжении вдоль волокон образца с влажностью  $R_w$  в момент испытания вычисляют с точностью до 1 МПа (10 кгс/см<sup>2</sup>) по формуле  $R_w = P_{\max}/ab$ , где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, Н (кгс);  $a$  и  $b$  – размер поперечного сечения рабочей части образца, мм (см).

Прочность образца с влажностью, отличающейся от 12 % больше чем на 1 % (в пределах от 8 до 20 %), пересчитывают к влажности 12 % с указанной выше точностью по формуле

$$R_{12} = R_w [1 + \alpha (W - 12)],$$

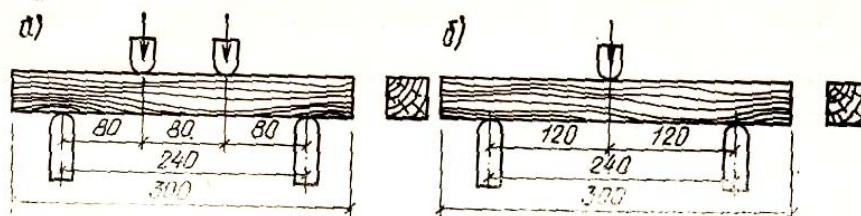
где  $\alpha$  – коэффициент, равный 0,01 для всех пород древесины.

Предел прочности образца с влажностью, равной пределу гигроскопичности или большей, пересчитывают к влажности 12 % по формуле  $R_{12} = R_w K_{30}$ , где  $K_{30}$  – коэффициент, равный 1,3 для хвойных пород и 1,33 – для лиственных пород.

### 1.5. Определение предела прочности при статическом изгибе

Для определения предела прочности при статическом изгибе, согласно ГОСТ 16483.3-84, изготавливают образцы в форме бруска сечением 20 x 20 мм и длиной вдоль волокон 300 мм. Отклонение размеров от указанных не должны превышать 0,5 мм по сечению, а по длине – 1 мм. Годовые слои на торцах должны быть параллельны одной паре противоположных граней, а их грани – параллельны длинным ребрам образца. При испытании образец укладывают на две неподвижные опоры с пролетом между их центрами 240 мм. Нагрузка передается в двух или одной точке (рисунок).

Образец испытывают таким образом, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годовым слоям тангентального изгиба. Скорость нагружения образца должна быть равномерной в течение всего времени испытания (рисунок): 7 + 1,5 кН/мин (100 + 150 кгс/мин) – по схеме (а) и 5 + 1 кН/мин (500 + 100 кгс/мин) по схеме (б).



*Схемы испытания древесины на статический изгиб: а – при нагружении в двух точках на одной трети расстояния между опорами; б – при нагружении в одной точке посередине расстояния между опорами*

Испытание продолжают до разрушения образца. Максимальную нагрузку  $P_{\max}$  определяют с точностью до цены деления силоизмерителя. После испытания определяют влажность образцов с помощью прибора ИВ-660М, ТУ 4215-010-42902455-98. Предел прочности при статическом изгибе  $R_w$  при данной влажности образца вычисляют с точностью до 1 МПа (10 кгс/см<sup>2</sup>) по формулам:

а) для схемы (а):  $R_w = P_{\max} \cdot l/bh^2$ ;

б) для схемы (б):  $R_w = 3/2P_{\max} \cdot l/bh^2$ ,

где  $P_{\max}$  – разрушающая нагрузка, Н (кгс);  $l$  – расстояние между опорами, мм;  $b$  – ширина образца, мм (см);  $h$  – высота образца, мм (см).

Предел прочности образцов пересчитывают на влажность 12 % по формуле  $R_{12} = R_w[1 + \alpha(W - 12)]$ , где  $\alpha$  – коэффициент, равный 0,04 для всех пород.

Предел прочности образцов с влажностью, равной пределу гигроскопичности или большей, пересчитывают на влажность 12 % по формуле  $R_{12} = R_w K^{30}$ , где  $K^{30}$  – коэффициент пересчета на влажность 30 %, равный 0,65 для клена; 0,62 – для вяза, дуба, липы, ольхи, ясеня; 0,58 – для бука, сосны, пихты, тополя; 0,55 – для березы, ели, лиственницы.

## **1.6. Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон**

Для определения предела прочности при скалывании вдоль волокон, согласно ГОСТ 16483.5-73, образцы вырезают таким образом, чтобы годовые слои на торцах были параллельны плоскости скалывания при тангентальном и перпендикулярны при радиальном скалывании. Образующие годовых слоев должны быть параллельны длинным ребрам образца. Отклонения от указанных размеров не должны превышать 0,5 мм. Перед испытанием штангенциркулем измеряют ширину образца  $b$  и длину скалывания.

Испытания проводят в специальном приспособлении. Образец вставляют в устройство и перемещением подвижной опоры обеспечивают прилегание опорных граней образца к соответствующим поверхностям приспособления. Подвижная опора должна прижиматься к образцу с силой 5 – 9 Н (0,5 – 0,9 кгс). Затем приспособление с образцом в собранном виде ставят на нижнюю головку испытательной машины так,

чтобы верхняя торцевая поверхность длинной части образца находилась в центре приложения нагрузки. Испытывают образцы на скалывание сначала в тангентальной плоскости, а затем в радиальной. Испытание проводят до разрушения образца. Скорость нарастания нагрузки должна быть равномерной в течение всего испытания (4 + 1 кН/мин). Большую часть разрушенного образца подвергают испытанию на влажность.

Предел прочности при скалывании в тангентальной и радиальной плоскостях при влажности в момент испытания вычисляют с точностью до 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) по формуле  $R_w = P_{max}/bl$ , где  $P_{max}$  – максимальная разрушающая нагрузка, Н (кгс);  $b$  – ширина образца, м (см);  $l$  – длина скалывания, м (см).

Предел прочности при скалывании должен быть пересчитан к влажности 12 % по формуле  $R_{12} = R_w K_{12}$ , где  $K_{12} = 1,39$  – для дуба и вяза;  $K_{12} = 1,88$  – для березы;  $K_{12} = 1,65$  – для бука, сосны, ели и лиственницы;  $K_{12} = 1,76$  – для осины и тополя;  $K_{12} = 1,53$  – для клена, липы, ольхи, пихты, ясеня.

Основные физико-механические свойства древесины, применяемой в строительстве при влажности 12 %, приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Материал	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент объёмной усушки, %	Предел прочности, МПа, вдоль волокон			
			при сжатии	при растяжении	при статическом изгибе	при скалывании радиальном
<b>Хвойные породы</b>						
Лиственница	660	0,52	64	125	111	9,9
Сосна обыкновенная	500	0,44	48	104	86	7,5
Ель	445	0,43	45	103	79	6,9
Пихта сибирская	375	0,39	39	67	68	6,4
Кедр сибирский	440	0,42	38	78	62	6,2
<b>Лиственные породы</b>						
Дуб	690	0,43	57	123	108	10,2
Береза	630	0,54	55	168	110	9,3
Бук	670	0,47	55	123	108	11,6
Липа	495	0,49	45	121	88	8,6
Ольха	520	0,43	44	101	80	8,1
Осина	495	0,41	42	125	78	6,3
Тополь	440	0,42	39	88	62	6,1
Ясень	690	0,48	51	140	182	12,2

## 1.7. Определение истираемости, твердости и износа

**Цель работы:** научиться определять твердость, истираемость, износ и ударную прочность строительных материалов.

**Твердость** – свойство материала сопротивляться местной пластической деформации, возникающей при внедрении в него более твердого тела. Твердость минералов оценивают **шкалой Мооса**, представленной десятью минералами, из которых каждый последующий своим острым концом царапает все предыдущие. Эта шкала включает минералы в порядке возрастающей твердости от 1 до 10.

1. Тальк –  $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  – легко царапается ногтем.
2. Гипс –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – царапается ногтем.
3. Кальцит  $\text{CaCO}_3$  – легко царапается стальным ножом.
4. Флюорит (плавиковый шпат)  $\text{CaF}_2$  – царапается стальным ножом под небольшим нажимом.
5. Апатит  $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F}$  – царапается стальным ножом под сильным нажимом.
6. Ортоклаз  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  – царапает стекло.
7. Кварц  $\text{SiO}_2$  – легко царапает стекло.
8. Топаз  $\text{Al}_2[\text{SiO}_4] \cdot (\text{F}, \text{OH})_2$  – абразивный материал.
9. Корунд  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – истирающий и режущий материал.
10. Алмаз  $\text{C}$  – абразивный режущий материал.

Твердость древесины, металлов, бетона и некоторых других строительных материалов определяют, вдавливая в них стальной шарик или твердый наконечник в виде конуса или пирамиды. В результате испытания вычисляют число твердости  $\text{НВ} = P/F$ , где  $F$  – площадь поверхности отпечатка.

От числа твердости материалов зависит их **истираемость**: чем выше твердость, тем меньше истираемость.

Истираемость оценивают потерей первоначальной массы образца материала, отнесенной к площади поверхности истирания  $F$ , и вычисляют по формуле,  $\text{г/см}^2$

$$И = (m_1 - m_2)/F,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – масса образца до истирания и после него.

Сопротивление материала истиранию определяют, пользуясь стандартными методами: кругом истирания и абразивами (кварцевым песком или наждаком).

К вращающемуся диску круга истирания под давлением 300 Н прижимается образец испытываемого материала. На движущийся диск подсыпают 20 г истирающего материала, например кварцевый песок крупностью 0,8 – 0,6 мм. После каждых 28 оборотов диска истирающий материал заменяют свежим, а обойму с образцом поворачивают на 90°. После 560 оборотов диска определяют потерю массы образца по приведенной формуле истирания.

В качестве окончательного результата принимают среднее арифметическое двух определений. Результаты испытаний материала записывают в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Материал	Площадь истирания $F, \text{см}^2$	Масса образца		Истираемость $I = m_1 - m_2 / F$
		до истирания $m_1, \text{г}$	после истирания $m_2, \text{г}$	

**Износом** называют свойство материала сопротивляться одновременному воздействию истирания и ударов. Испытанию на износ подвергают горные породы, из которых приготавливают крупный заполнитель для дорожных бетонов. Требования к износу характеризуются марками, приведенными в табл. 1.5. Для испытания материала на износ применяют полочный барабан, представляющий собой металлический цилиндр диаметром 700 мм и длиной 500 мм. Барабан вращается вокруг горизонтальной оси, к его крышке прикреплена стальная полка шириной 100 мм. В барабан закладывают 11 – 12 стальных шаров диаметром 48 мм общей массой 5 кг.

Таблица 1.5

Марка заполнителя	Потеря массы после испытания, %	
	щебня	гравия
И-1	До 25	До 20
И-2	25 – 35	20 – 30
И-3	35 – 40	30 – 40
И-4	45 – 60	40 – 50

Масса испытываемого материала 5 кг. Испытание заканчивают после 500 оборотов для щебня фракцией 5 – 10 мм и для щебня

10 – 20 мм; для щебня фракцией 20 – 40 мм – через 1000 оборотов. Затем испытуемый материал промывают на ситах с диаметром отверстий 5 и 1,25 мм, высушивают до постоянной массы при 100 – 105 °С и взвешивают.

Показателем износа является потеря массы пробы материала в результате проведенного испытания (% к первоначальной массе).

$$\text{Изн.} = (m_1 - m_2)100/m_1,$$

где  $m_1$  – масса материала до испытания;  $m_2$  – сумма частных остатков на ситах 5 и 1,25 мм, кг. Результаты испытаний заносят в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Масса материала после испытаний	Материал фракции	Масса материала		Износ Изн. = $(m_1 - m_2)100/m_1$
		до испытаний $m_1$ , кг	после испытаний $m_2$ , кг	

### 1.8. Определение прочности щебня (гравия)

Прочность щебня (гравия) характеризуется маркой, определяемой по дробимости при сжатии в цилиндре, которая должна соответствовать данным, приведенным в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Марка по дробимости	Прочность при сжатии пород слагающих зерна, МПа	Потеря массы после испытания, %
Др. 8	Свыше 100	До 10
Др. 12	80 – 100	10 – 14
Др. 16	60 – 80	14 – 18
Др. 24	40 – 60	18 – 26

Для тяжелого бетона следует применять щебень из изверженных горных пород марки не ниже 800, щебень из метаморфических пород не ниже 600 и осадочных пород не ниже 300.

Для бетона класса В25 допускается применять щебень из карбонатных пород марки 400 при содержании слабых пород не более 5 %. Для бетона В45 и выше – щебень из изверженных пород марки 1200 и более.



Марки гравия и щебня из гравия по дробимости для бетона должны отвечать требованиям, приведенным в табл. 1.8.

*Таблица 1.8*

Класс бетона	Марка заполнителя
В30 и выше	Др. 8
В25	Др. 12
В20 и ниже	Др. 16

Испытания щебня (гравия) на прочность выполняют в стальном цилиндре со съемным дном диаметром 150 мм. Испытывают фракции 5 – 10, 10 – 20 или 20 – 40 мм. Смесь фракций или нефракционированный материал рассеивают на отдельные фракции, крупнее 40 мм – на фракции 10 – 20 и 20 – 40 мм. Для фракций 5 – 10 и 10 – 20 мм разрешается применять цилиндр диаметром 75 мм.

При испытании щебня в сухом состоянии его высушивают до постоянной массы, а в водонасыщенном состоянии его насыщают водой в течение 2 ч.

Пробу щебня просеивают через два сита с наибольшим размером, соответствующим наибольшей фракции щебня, и через сито с наименьшей фракцией. Из остатка на сите, где получился наибольший остаток отбирают пробу массой 4 кг для испытания в цилиндре диаметром 150 мм и не менее 0,5 кг – для испытания в цилиндре диаметром 75 мм.

Навеску щебня всыпают в цилиндр с высоты 50 мм, вставляют плунжер так, чтобы уровень материала после разравнивания не доходил на 15 мм до края. Затем испытывают на гидравлическом прессе со скоростью 1 – 2 кН/с, доводя давление до 200 кН при испытании в цилиндре диаметром 150 мм и до 50 кН при испытании в цилиндре с диаметром 75 мм. Потом раздавленный материал просеивают через сито с отверстиями, соответствующими определенной фракции. Щебень фракции 5 – 10 мм просеивают через сито 1,25 мм, фракции 10 – 20 мм – с отверстиями 2,5 мм, фракции 20 – 40 мм через сито 5 мм.

Остаток на сите взвешивают и определяют показатель дробимости с точностью до 1 % по формуле  $D_p = (m - m_1/m) 100$ , где  $m$  – масса образца до начала просеивания, г;  $m_1$  – масса образца после просеивания, г. Испытания выполняют два раза на отдельных пробах и принимают среднеарифметическое значение из двух определений.

## Вопросы для самоподготовки

1. Каковы размеры стандартных образцов для испытания бетона, кирпича, цемента, гипса и древесины?
2. Что такое прочность. Назовите единицы измерения и дайте формулы определения прочности на сжатие, изгиб, растяжение.
3. Что называется истираемостью? Назовите единицы измерения.
4. Методика определения истираемости.
5. Как влияет влажность на дробимость и истираемость?
6. Что называется износом? Методика определения.

## Лабораторная работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ

#### 2.1. Испытание стали на растяжение

**Цель работы:** научиться определять свойства стали на растяжение.

Испытание стали на растяжение, согласно ГОСТ 1497-73 (с изм.), выполняется на специально изготовленных образцах, которые на универсальных испытательных машинах доводят до разрыва. При этом определяют основные механические характеристики стали: предел пропорциональности, предел текучести, предел прочности при растяжении, относительное удлинение, относительное сужение.

Образцы стали могут быть цилиндрическими или плоскими. Их изготавливают путем соответствующей механической обработки заготовок. Образцы цилиндрической формы должны иметь стандартные размеры: длина рабочей части – 200 мм, площадь поперечного сечения рабочей части – 314 мм<sup>2</sup>, диаметр круглого образца рабочей части – 20 мм. Форма головок образцов может быть различной в зависимости от типа захватов разрывной машины.

Перед испытанием цилиндрические образцы тщательно измеряют при помощи штангенциркуля или микрометра с точностью до 0,05 мм следующим образом: диаметр  $d_0$  измеряют в трех местах по длине рабочей части, в каждом месте – в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Затем вычисляют площадь поперечного сечения по

наименьшим из полученных размеров с точностью до 0,05 %. Кроме того, на поверхность образца керном наносят риски и измеряют расстояние между ними – расчетную длину образца с точностью до 0,1 мм. На обеих головках каждого образца набивают клейма (номер образца).

Подлежащий испытанию образец закрепляют в захватах машины и центрируют его. После установки стрелки шкалы силоизмерительной машины на нуль включают ее двигатель и испытывают образец до полного его разрушения. При проведении испытания следят за нарастанием нагрузки по движению стрелки силоизмерителя и за деформацией образца. Нарастание нагрузки должно быть плавным, ее средняя скорость при испытании до предела текучести не должна быть более 10 МПа/с.

Результаты испытания стального образца на растяжение получают в виде зависимости между нагрузкой и деформацией. На диаграмме по вертикали откладывается прилагаемая нагрузка, а по горизонтальной оси – абсолютное удлинение образца при различных значениях нагрузки до полного его разрушения (рис. 2.1).

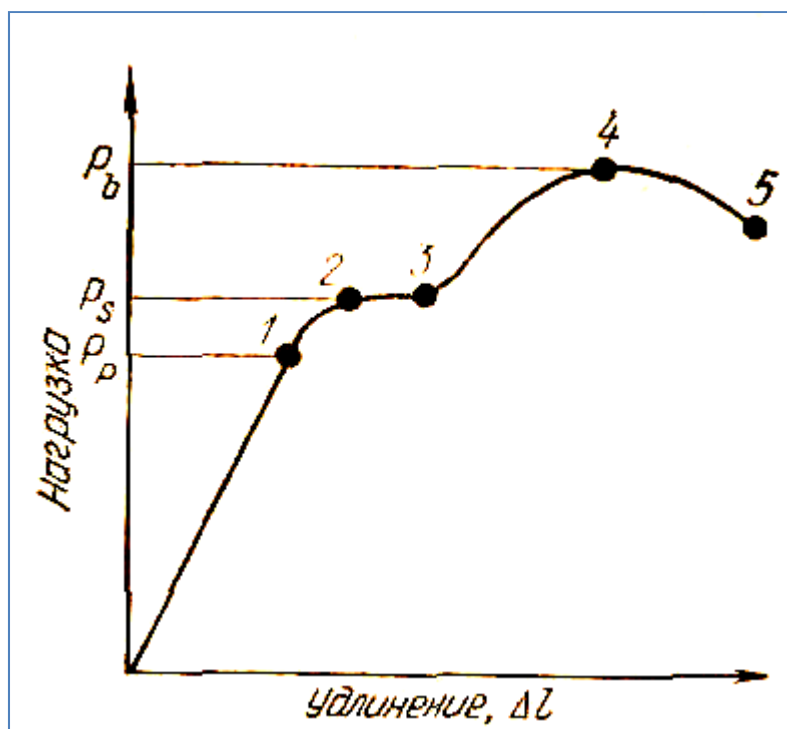


Рис. 2.1. Диаграмма растяжения образца из малоуглеродистой стали

Построенная диаграмма имеет ряд характерных участков. Прямой участок диаграммы растяжения (от начала координат до точки 1)

показывает, что удлинение (деформация) образца  $\Delta L$  возрастает пропорционально приложенной нагрузке  $P$ . Если образец подвергнуть растяжению нагрузкой, равной или меньшей  $P_p$ , а затем снять эту нагрузку, то образец примет первоначальную длину, т.е. в нем будут отсутствовать остаточные деформации. Точка 1 на кривой растяжения соответствует пределу пропорциональности, т.е. тому наибольшему напряжению, при котором растяжение металла пропорционально нагрузке. Это напряжение  $\sigma_p$ , МПа (кгс/мм<sup>2</sup>) вычисляют по формуле  $\sigma_p = P_p/F_0$ , где  $P_p$  – нагрузка при пределе нагрузки пропорциональности, Н (кгс);  $F_0$  – первоначальная площадь поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>.

При увеличении нагрузки свыше  $P$  испытуемый образец удлиняется быстрее, чем возрастает нагрузка. Таким образом, пропорциональность нарушается и на кривой растяжения прямой участок диаграммы переходит в кривую линию 1-2, а затем в горизонтальную линию 2 – 3 (см. рис. 2.1).

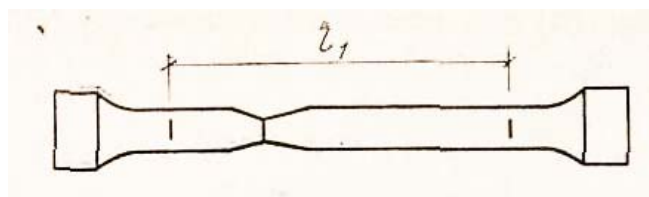
Наличие горизонтального участка указывает на то, что образец самопроизвольно вытягивается (течет), хотя нагрузка остается постоянной. Напряжение, при котором появляется текучесть стали, называют пределом текучести. Различают предел текучести физический и предел текучести условный.

**Предел текучести (физический)** – наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без видимого увеличения нагрузки. При испытании образца стали следят за показаниями стрелки силоизмерителя. Как только сталь достигнет предела текучести (при этом деформация происходит без увеличения нагрузки), стрелка прибора останавливается, а затем вновь начинает двигаться. Значение нагрузки  $P_p$  в момент остановки стрелки фиксируют и принимают за нагрузку, соответствующую пределу текучести  $\sigma_s$ , МПа (кгс/мм<sup>2</sup>) (физическому), который вычисляют по формуле  $\sigma_s = P_s/F_0$ , где  $P_s$  – нагрузка при пределе текучести, Н (кгс).

**Предел текучести (условный)**  $\sigma_{0,2}$  – напряжение, при котором образец получает остаточное удлинение  $L = 0,2$  % первоначальной длины. Его определяют в тех случаях, когда при растяжении образца не обнаруживают резко выраженного явления текучести и предел текучести (физический) не может быть определен указанным выше способом.

**Пределом текучести при растяжении** называют напряжение, которое соответствует максимальной нагрузке, предшествующей разрушению образца. Максимальная нагрузка может быть легко определена в процессе самого испытания стального образца, так как на циферблатах испытательных машин имеется вторая контрольная стрелка, которая увлекается рабочей стрелкой машины до крайнего положения и фиксирует наибольшее отклонение рабочей стрелки. На диаграмме растяжения точкой 4 зафиксирована максимальная нагрузка, которую выдерживает образец. Начиная с точки 4, деформация концентрируется в одном каком-либо месте образца, которое начинает быстро растягиваться и уменьшать площадь поперечного сечения образца. При этом нагрузка падает до точки 5, где происходит разрыв образца. Предел прочности при растяжении  $\sigma_B = P_B/F_0$ , где  $P_B$  – наибольшая нагрузка, предшествующая разрыву образца, Н (кгс);  $F_0$  – первоначальная площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>.

**Относительным удлинением** называют отношение приращения расчетной длины образца после разрыва к его первоначальной длине. С целью определения относительного удлинения испытуемого образца обе его части



*Рис. 2.2. Определение относительного удлинения образца*

как можно плотнее прикладывают одну к другой и измеряют длину образца после разрыва  $L_1$  (рис. 2.2).

Значение относительного удлинения  $\delta$  вычисляют по формуле, %

$$\delta = (L_1 - L_0)/L_0 \cdot 100,$$

где  $L_1$  – длина образца после разрыва, мм;  $L_0$  – расчетная (начальная) длина образца, мм.

Относительное удлинение вычисляют как среднее арифметическое из результатов всех определений.

**Относительное сужение** площади поперечного сечения образцов определяют после их разрыва. Для этого в месте разрыва (в шейке) образца измеряют диаметр в двух взаимно перпендикулярных направлениях и по среднему арифметическому двух наименьших значений диаметра вычисляют площадь сечения шейки. Относительное сужение  $\Delta\psi$  вычисляют по формуле, %

$$\Delta\psi = (F_0 - F_1)/F_0 \cdot 100,$$

где  $F_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца,  $\text{мм}^2$ ;  $F_1$  – площадь поперечного сечения образца в месте разрыва (в шейке),  $\text{мм}^2$ .

## 2.2. Определение твердости металлов

**Цель работы:** изучить устройство приборов и методику определения твердости металлов по Бринеллю, включая подготовку образцов, выбор наконечников и нагрузки, порядок определения твердости и область применения.

**Твердостью стали** называют способность сопротивляться внедрению в ее поверхность другого, более твердого тела определенной формы и размера. Испытание твердости стали выполняют различными методами: Бринелля, Роквелла и др.

Твердость стали по методу Бринелля (этот метод наиболее часто применяется в строительных лабораториях) определяют согласно СТСЭВ46877 путем вдавливания в предварительно отшлифованную поверхность испытуемого образца под определенной нагрузкой стального закаленного шарика. По диаметру полученного на испытуемом образце отпечатка судят о твердости стали.

Для испытания твердости стали по методу Бринелля наибольшее распространение получил прибор ТШМ с наконечником, заканчивающимся стальным закаленным шариком диаметром 5 или 10 мм.

Шариковый твердомер (рис. 2.3) состоит из станины 1 с подъемным винтом 2, на котором при помощи полушаровой опоры укреплены сменные столики 3 для испытуемых образцов. Шпиндель 4, в который вставляют сменные наконечники со стальными шариками различного диаметра, помещен в головке прибора 5. Шпиндель опирается на пружину 6. Нагрузку на шпиндель подают при помощи системы рычагов 7 и 8 и шатуна 11, закрепленного на оси 9. На свободном конце рычага 8 имеется подвеска 10 для установки на ней грузов различной массы.

Электродвигатель, помещенный на станине сбоку, через эксцентрик приводит в движение шатун 11. Он опускается, постепенно освобождая рычаг 8 и этим заставляет груз опускаться. При этом сила давления шпинделя 4 на испытуемый образец плавно нарастает. По

истечении определенного промежутка времени шатун поднимается и подхватывает рычаг  $\delta$ , возвращая его в начальное положение, и снимает нагрузку со шпинделя. В этот момент электродвигатель выключается (сигнал подается звонком).

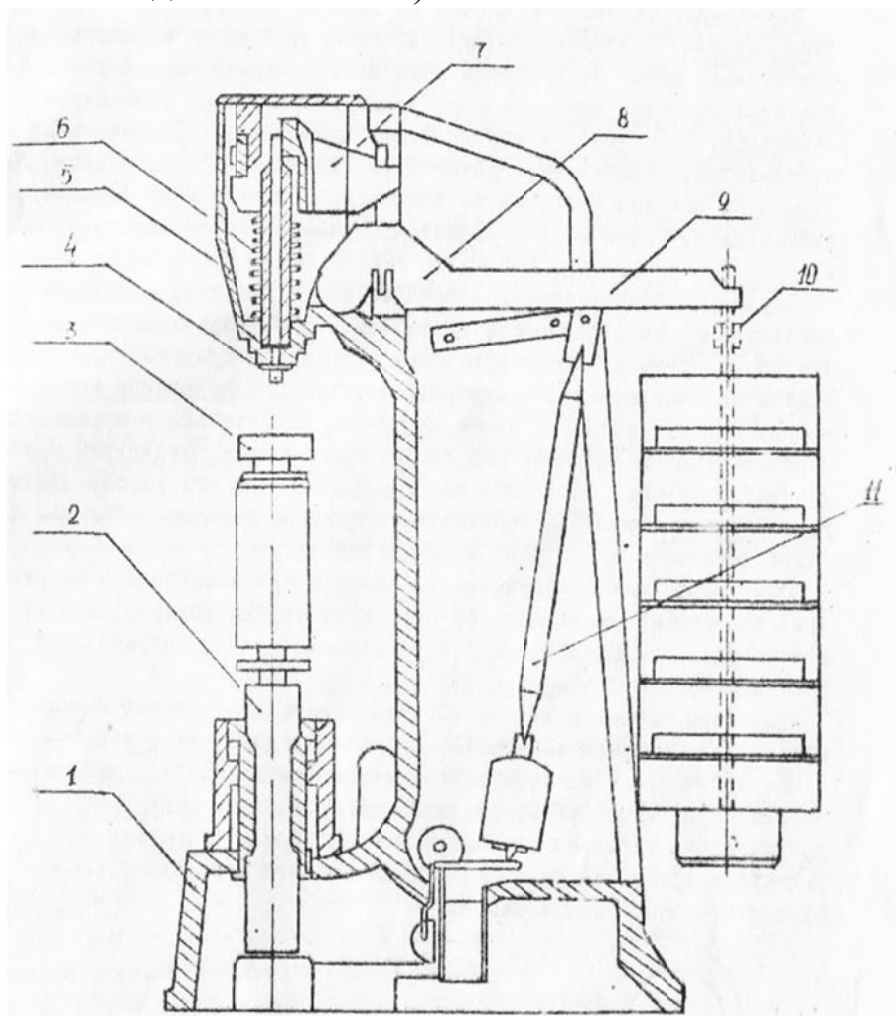


Рис. 2.3. Схема шарикового твердомера ТШМ

Образец во время испытания не должен прогибаться и смещаться, поэтому перед испытанием его плотно прижимают к шариковому наконечнику столиком, прилагая нагрузку 1 кН (100 кгс). После этого указательную стрелку измерительного прибора устанавливают на нулевое деление и приступают к испытанию. Для испытания обычно применяют стальные закаленные шарики диаметром 10 мм, через которые передается нагрузка 30 кН (3000 кгс) и выдерживают эту нагрузку 30 с.

По методу Бринелля твердость металла определяют вдавливанием на испытуемый образец закаленного стального шарика (см. рис. 2.3)

диаметром 10,5 или 2,5 мм и выражают числом твердости НВ, полученным делением приложенной нагрузки Р, кгс на площадь поверхности образовавшегося на образце отпечатка шарика (шарового сегмента F, мм<sup>2</sup>, кгс/мм<sup>2</sup>):

$$НВ = P/F.$$

Поверхность шарового сегмента  $F = \pi Dh$ , где D – диаметр шарика, мм; h – глубина отпечатка, мм.

Так как глубину отпечатка h измерить затруднительно, а проще измерить его диаметр d, то эту величину обычно выражают через диаметры шарика D и отпечатка d:  $h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$ , где D – поверхность шарика в мм; d – диаметр отпечатка шарика, мм. Формула для вычисления площади отпечатка примет вид  $F = \frac{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$ .

Число твердости по методу Бринелля в окончательном виде

$$НВ = 2P/\pi D(D^2 - d^2).$$

Диаметр шарика, нагрузку и длительность выдержки под нагрузкой выбирают в зависимости от твердости и толщины образца по табл. 2.1.

Таблица 2.1

Материал	Интервал твердости в числах Бринелля	Минимальная толщина испытуемого образца, мм	Соотношение между нагрузкой и диаметром шарика	Диаметр шарика, мм	Нагрузка, кгс	Выдержка нагрузки, с
Черные металлы	140 – 150	От 6 до 3	$P = 30D^2$	10,0	3000	10
		От 4 до 2		5,0	750	
		Менее 2		2,5	187,5	
То же	140	Более 6	$P = 10D^2$	10,0	1000	10
		От 6 до 3		5,0	250	
		Менее 3		2,5	62,5	
Цветные металлы	130	От 9 до 5	$P = 30D^2$	10,0	3000	10
		От 6 до 3		5,0	750	
		Менее 3		2,5	62,5	
То же	35 – 130	От 9 до 5	$P = 10D^2$	10,0	250	30
		От 6 до 3		5,0	62,5	
		Менее 3		2,5	15,6	
То же	8 – 35	Более 6	$P = 2,5D^2$	10,0	250	60
		От 6 до 3		5,0	62,5	
		Менее 3		2,5	15,6	



Метод Бринелля не является универсальным для определения твердости металлов. Он, например, не может быть применен для испытания металлов твердостью НВ R 450, так как может произойти деформация самого шарика, и результаты будут получены неправильные. Неприменим также этот метод для определения твердости листовых образцов толщиной менее 0,5 – 1,0 мм и изделий сложной конфигурации, обладающих малой жесткостью.

К преимуществам метода Бринелля относятся простота конструкции и надежность в работе применяемых для определения твердости приборов. Кроме того, как показали опыты, между силами твердости по Бринеллю и пределом прочности  $\sigma_b$ , кгс/мм<sup>2</sup> металлов существует следующая приближенная зависимость:  $\sigma_b \approx kHВ$ , где k – коэффициент, определяемый опытным путем. Наличие указанных зависимостей позволяет в ряде случаев использовать метод Бринелля для приближенного определения предела прочности металлов  $\sigma_b$ , не прибегая к сложным испытаниям на растяжение.

Ниже приводятся значения K для стали, алюминия и меди:

Сталь, НВ < 175 .....	0,34
Сталь, НВ > 175 .....	0,36
Алюминий отожженный .....	0,40
Дюралюминий .....	0,37
Медь холоднокатанная.....	0,35
Медь отожженная .....	0,48

Перед испытанием стальной образец подготавливают следующим образом: на его поверхности напильником или наждачным кругом тщательно зачищают небольшую плоскость, чтобы края полученного отпечатка были видны достаточно отчетливо при измерении его диаметра. Образец во время опыта не должен прогибаться и смещаться, поэтому перед испытанием его плотно прижимают к шариковому наконечнику столика, прилагая нагрузку 1 кН (100 кг/см<sup>2</sup>). После этого указательную стрелку измерительного прибора устанавливают на нулевое деление и приступают к испытанию.

При выборе места испытания на образце руководствуются следующим положением: расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 2,5d, а расстояние между центрами двух соседних отпечатков – не менее 4d. Нажатием кнопки включают электродвигатель.

В момент начала приложения нагрузки загорается сигнальная лампочка, которая горит в течение времени, соответствующего установленной длительности выдержки шарика под нагрузкой. К концу приложения нагрузки электродвигатель автоматически выключается. После его остановки вращая маховик против часовой стрелки, опускают столик и освобождают образец.

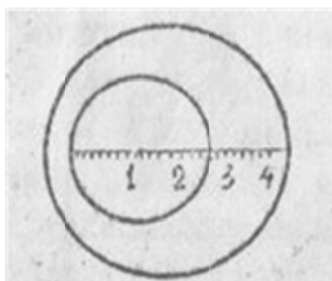


Рис. 2.4. Схема измерения отпечатка

С помощью специальной лупы (рис. 2.4) измеряют диаметр отпечатка, полученного при вдавливании шарика диаметром 10 или 5 мм с точностью 0,05 мм, а при испытании шарика диаметром 2,5 мм измерение производят с помощью микроскопа с точностью 0,01 мм. За расчетный диаметр отпечатка принимают среднее арифметическое результатов измерения в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Для получения более достоверного числа твердости испытания повторяют трижды. За результат принимают среднее арифметическое из трех испытаний. Измерив отпечаток шарика, числа твердости НВ вычисляют по приведенной выше формуле или находят в таблице. Полученные результаты измерений заносят в протокол испытаний твердости по Бринеллю (табл. 2.2).

Таблица 2.2

№ п/п	Материал и толщина образца	Диаметр шарика, мм	Нагрузка, кг	Диаметр отпечатка			Твердость НВ			
				1 мм	2 мм	3 мм	1	2	3	Среднее
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

### Вопросы для самоподготовки

1. Что называют пределом текучести физическим и условным?
2. Что называют пределом текучести при растяжении?
3. Что называют относительным удлинением и относительным сужением?
4. Каковы размеры стандартного стального образца для испытания стали на растяжение.
5. Что называется твердостью стали? Методика ее определения, единицы измерения.

## Лабораторная работа № 3

### НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ

**Цель работы:** научиться определять прочность строительных материалов с помощью приборов неразрушающими методами.

#### 3.1. Определение прочности эталонным молотком К.П. Кашкарова

Механические методы неразрушающего контроля прочности основаны на том, что прочность бетона при сжатии связана с другими механическими свойствами: твердостью, сопротивлением отрыву, усилием при скалывании небольшого куска бетона.

**Метод пластической деформации** – наиболее распространенный, основан на вдавливании в поверхность бетона стального шарика или другого штампа путем удара или статического давления. По показателю твердости бетона, определенного путем измерения размеров отпечатка (лунки), который остался в бетоне после удара, прочность оценивают, пользуясь тарировочной кривой, полученной по данным параллельных испытаний образцов на прочность и твердость.

В эталонном молотке конструкции К.П. Кашкарова (ГОСТ 22690.2-77) каждый удар производится одновременно по бетону и по эталонному стальному стержню, вставленному между шариком и пружинным бойком, который ударяет по шарикам. После удара измеряют диаметры лунок, оставшихся на бетоне и стержне. Отношение этих диаметров служит показателем твердости, а значит, и прочности бетона независимо от изменений в силе удара.

В стандартной конструкции эталонного молотка (рис. 3.1) использован индентор 2 (шарик диаметром 15,9 мм) и круглый эталонный стержень 3 диаметром 10 – 12 мм и длиной 100 –

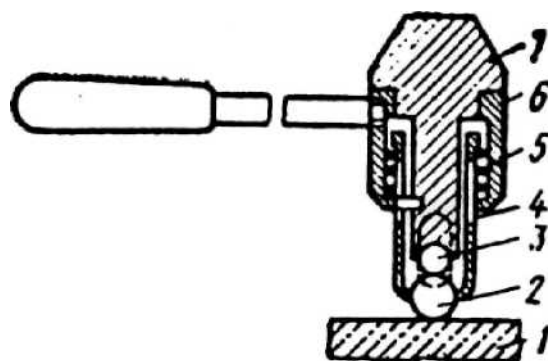


Рис. 3.1. Эталонный молоток: 1 – бетон; 2 – индентор (шарик); 3 – стержень; 4 – стакан; 5 – пружина; 6 – корпус; 7 – головка

150 мм, который выдвигают на 10 – 20 мм после каждого удара, а затем вынимают и заменяют другим.

Площадь каждого участка должна быть не менее 30 – 50 см<sup>2</sup>, чтобы на ней могли разместиться 5 – 10 лунок от ударов.

При *подготовке к испытанию* особое внимание уделяют влажности поверхности бетона, так как твердость поверхностного слоя, измеряемая методом пластической деформации, сильно меняется с изменением влажности бетона.

Тарировочные кривые и таблицы для определения прочности при испытаниях приборами со сферическим штампом (шариковые молотки, прибор УМП) построены для воздушно-сухого состояния поверхности бетона (рис. 3.2), поэтому не рекомендуется испытывать бетон сразу после распалубки конструкции или пропаривания. Его следует выдержать в воздушно-сухой среде не менее 48 ч. Нельзя проводить испытания конструкций во время дождя.

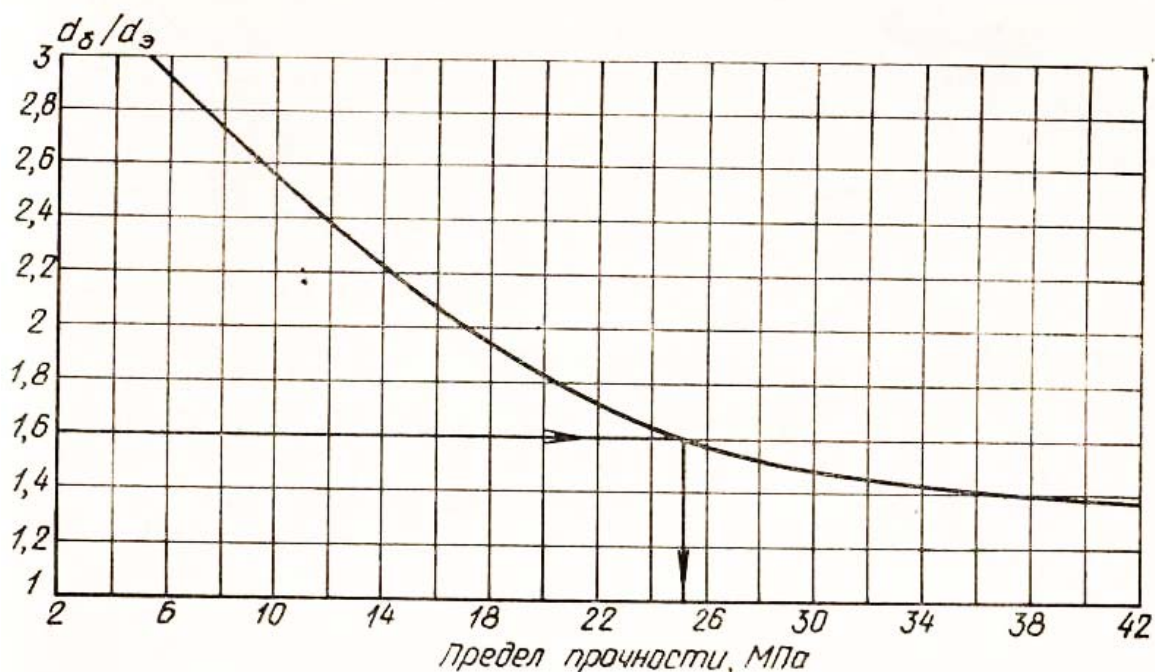


Рис. 3.2. Тарировочный график  $D/d$  – предел прочности

Следует учитывать, что твердость бетона, измеряемая методом пластической деформации, соответствует размеру отпечатка только в определенных пределах силы удара, показателем которой служит отношение диаметров штампа и отпечатка. При использовании сфери-

ческого штампа результаты измерения получаются надежными, если диаметр отпечатка  $d_0$  меньше диаметра шарика  $d$  в 1,5 – 4 раза.

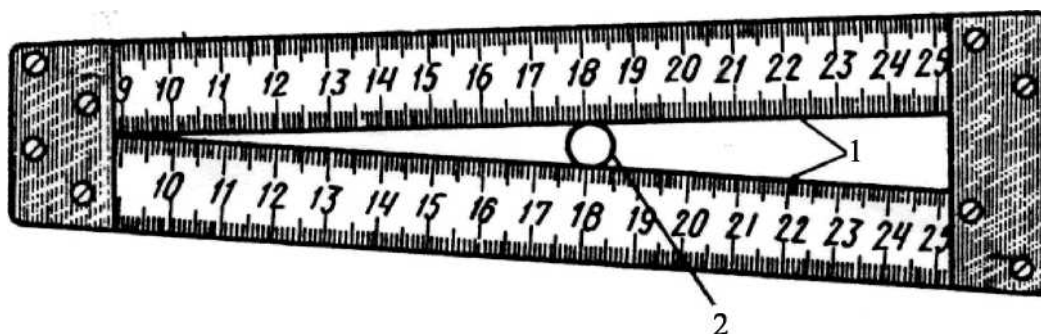


Рис. 3.3. Угловая линейка

При работе с приборами ударного действия, чтобы обеспечить надежные результаты, важно правильно наносить удар, т.е. перпендикулярно поверхности бетона. Ручной шариковый молоток нужно держать так, чтобы ручка молотка составляла одну линию с рукой. В процессе удара это положение ручки должно сохраняться, а локоть, опирающийся на бетон, оставаться на месте. Удар следует наносить усилием, обеспечивающим получение отпечатка на бетоне размером 0,3 – 0,7 диаметра шарика, равного 15,88 мм и наибольшего размера отпечатка на эталоне не менее 2,5 мм. Расстояние между отпечатками – не менее 30 мм на бетоне и 10 мм на эталонном стержне. На участке конструкции или образце проводят не менее 5 испытаний.

**Измерение отпечатков на поверхности бетона.** Отпечатки от ударов сферическим штампом представляют собой лунки, форма которых в плане близка к кругу. Диаметр лунки измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 0,1 мм, и записывают средний из этих двух диаметров в журнал испытаний. Обычно диаметр лунок равен 5 – 10 мм.

Измерение выполняют штангенциркулем, однако его точность несколько меньше требуемой, поэтому при измерениях часто применяют специальные приспособления, например угловую линейку или мерную лупу.

Угловая линейка с увеличением в два раза (рис. 3.3) обеспечивает требуемую точность 0,1 мм, так как деления в 0,2 мм хорошо видны. Мерные лупы, дающие еще большее увеличение, позволяют более точно определить границы отпечатка.

*Обработка результатов.* Величину косвенной характеристики прочности бетона на участке конструкции вычисляют по формуле  $H = d_6^{cp}/d_3^{cp}$ , где  $d_6^{cp}$  – сумма диаметров отпечатков на бетоне, мм;  $d_3^{cp}$  – то же на эталоне, мм. Сжатие на участке конструкции определяют по величине косвенной характеристики  $H$ , пользуясь градуировочной зависимостью: отношение величин отпечатков на бетоне и эталоне  $D/d$  – предел прочности (см. рис. 3.2).

### 3.2. Метод упругого отскока (склерометр)

**Метод упругого отскока** заключается в том, что специальным ударником легко ударяют по плоскому штампу, прижатому к бетону. Величина обратного отскока характеризует твердость бетона, по которой с помощью тарировочной кривой вычисляют его прочность. Метод упругого отскока, как метод пластической деформации, основан на измерении поверхностной твердости бетона. Отличие состоит в способе ее измерения, а также в том, что в бетоне не возникают пластические деформации. Для испытания методом упругого отскока применяют пружинные или маятниковые приборы (молотки).

Градуировочную зависимость для метода упругого отскока устанавливают на основе результатов испытаний образцов-кубов сначала неразрушающим методом, а затем по ГОСТ 10180-80. Число измерений на каждом образце должно быть не менее пяти, а расстояние между местами ударов – не менее 30 мм. При испытании методом упругого отскока при ударе образцы должны быть зажаты в прессе усилием 30 – 35 кН. Градуировочная зависимость должна иметь среднеквадратичное отклонение  $S_r$ , не превышающее 12 % для серии образцов и 15 % для отдельных образцов от среднего значения прочности.

*Проведение испытаний.* Испытания проводят в определенной последовательности: прибор располагают так, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно к испытываемой поверхности, фиксируют значение косвенной характеристики, вычисляют среднее значение косвенной характеристики на участке конструкции.

**Ультразвуковой метод определения прочности.** Метод основан на связи между скоростью распространения ультразвуковых колебаний и прочностью бетона. Ультразвуковые измерения в бетоне проводят способами сквозного или поверхностного прозвучивания.

Прочность бетона в конструкциях определяют по экспериментально установленным градуировочным зависимостям «скорость распространения ультразвука – прочность бетона» (далее – «скорость – прочность») или «время распространения ультразвука – прочность бетона» (далее – «время – прочность») в зависимости от способа прозвучивания.

Прочность бетона определяют на участках конструкций, не имеющих видимых повреждений (трещин, раковин и т.д.). Ультразвуковые испытания проводят при положительной температуре бетона. Подготовка испытаний включает проверку используемых приборов в соответствии с инструкциями по эксплуатации и установку градуировочных зависимостей в соответствии с выбранным способом прозвучивания. Градуировочную зависимость «скорость – прочность» устанавливают при испытании конструкций способом сквозного прозвучивания; градуировочную зависимость «время – прочность» – при испытании конструкций способом поверхностного прозвучивания.

Градуировочную зависимость устанавливают по результатам ультразвуковых измерений в бетонных образцах-кубах и механических испытаний тех же образцов по ГОСТ 10180-80.

При установлении градуировочной зависимости для определения прочности бетона в процессе естественного твердения сроки испытаний образцов необходимо выбирать из следующего параметрического ряда: 3, 7, 14, 28, 60, 90, 180, 365 сут. Образцы испытывают не менее чем в трех возрастах, один из которых является проектным. В каждом возрасте испытывают не менее четырех серий образцов. Время распространения ультразвука в образцах при установлении градуировочной зависимости «скорость – прочность» измеряют способом сквозного прозвучивания. База для прозвучивания должна быть не менее 100 мм.

Число измерений времени распространения ультразвука в каждом образце: при сквозном прозвучивании – 3, при поверхностном – 4. Отклонение отдельного результата измерения времени распространения ультразвука в каждом образце от среднего арифметического значения не должно превышать 2 %. Градуировочную зависимость устанавливают по единичным значениям скорости (времени) ультразвука и прочности бетона.

Сборные линейные конструкции (балки, ригели, колонны и др.) испытывают, как правило, способом сквозного прозвучивания в поперечном направлении. Изделия, конструктивные особенности которых затрудняют осуществление сквозного прозвучивания, а также плоские конструкции (плоские ребристые и многопустотные панели перекрытия, стеновые панели и т.д.) испытывают способом поверхностного прозвучивания.

Измерение времени распространения ультразвука в бетоне конструкций следует проводить в направлении, перпендикулярном уплотнению бетона. Расстояние от края конструкции до места установки ультразвуковых преобразователей должно быть не менее 30 мм.

При контроле прочности бетона в конструкциях по ГОСТ 18105-80 полученное значение прочности принимают за среднюю прочность контролируемого участка конструкции. Результаты измерений заносят в журнал испытаний по форме, указанной в табл. 3.1.

*Таблица 3.1*

Конструкция	Класс марки прочности бетона	Дата изгот./испыт.	№ контрольного участка	База прозвучивания, мм	Время распространения ультразвука, Мкс	Скорость ультразвука, м/с	Прочность бетона в участке конструкции, определяемая ультразвуковым методом, МПа	Тип УЗК и рабочей частоты преобразователя	Примечание

### 3.3. Упрощенный метод определения прочности бетона

Марка бетона может быть ориентировочно определена по величине и характеру следа, оставляемого на поверхности бетона от удара молотком или по зубилу, установленному перпендикулярно к поверхности бетона.

Удар средней силы должен производиться не менее 10 раз. При попадании молотка на щебенку результат не принимается во внимание. Приблизительно марка по этому методу определяется по табл. 3.2.



Таблица 3.2

Результаты удара ребром молотка по поверхности бетона	Результаты удара молотком по зубилу, установленному перпендикулярно к поверхности бетона	Марка бетона по прочности
Остается глубокий след	Зубило легко забивается в бетон	М50 и ниже
Бетон крошится и осыпается. При ударе по ребру конструкции откалываются большие куски	Зубило погружается в бетон на глубину около 5 мм. Бетон крошится	Около М100
Остается заметный след на поверхности, вокруг которого могут откалываться тонкие лещадки	От поверхности бетона отделяются острые лещадки	М100-М200
Остается слабо заметный след на поверхности бетона	Неглубокий след, лещадки не отделяются	М200-М400
При очень сильном ударе по ребру конструкции на ее небольшом участке происходит скол бетона	При очень сильном ударе остается след от зубила глубиной 1-2 мм, при ударе около ребра поверхность скалывается	М400-М600

### Вопросы для самоподготовки

1. Виды неразрушающих методов контроля прочности строительных материалов.
2. Принцип работы и устройства молотка Кашкарова.
3. Принцип устройства и работы склерометра.
4. Принцип работы ультразвукового прибора для определения прочности бетона в конструкции.
5. Упрощенный метод определения прочности бетона.

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Попов, Л. Н.* Лабораторный контроль строительных материалов и изделий : справочник / Л. Н. Попов. – М. : Стройиздат, 1986. – 349 с.

2. *Рыбьев, И. А.* Строительное материаловедение : учеб. для строит. специальностей вузов / И. А. Рыбьев. – М. : Высш. шк., 2002. – 701 с. – ISBN 5-06-004059-3.

3. Строительные материалы : учебник / под общ. ред. В. Г. Микульского. – М. : Изд-во АСВ, 2000. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4.

4. *Попов, К. Н.* Строительные материалы : учебник / К. Н. Попов, М. Б. Каддо. – М. : Высш. шк., 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СЖАТИИ, ИЗГИБЕ И РАСТЯЖЕНИИ.....	4
1.1. Определение предела прочности при сжатии .....	4
1.2. Определение предела прочности при изгибе .....	8
1.3. Определение прочности при осевом растяжении бетона.....	9
1.4. Определение предела прочности при растяжении вдоль волокон древесины .....	10
1.5. Определение предела прочности при статическом изгибе .....	11
1.6. Определение предела прочности при скалывании вдоль волокон .....	12
1.7. Определение истираемости, твердости и износа .....	14
1.8. Определение прочности щебня (гравия) .....	16
Вопросы для самоподготовки.....	18
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ.....	18
2.1. Испытание стали на растяжение .....	18
2.2. Определение твердости металлов .....	22
Вопросы для самоподготовки.....	26
Лабораторная работа № 3. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ.....	27
3.1. Определение прочности эталонным молотком К.П. Кашкарова.....	27
3.2. Метод упругого отскока (склерометр).....	30
3.3. Упрощенный метод определения прочности бетона.....	32
Вопросы для самоподготовки.....	33
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	34

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания к лабораторным работам

Составители

ТУР Наталия Николаевна  
ХАРИТОНОВ Михаил Викторович  
ПРОХОРОВ Роман Николаевич

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор Б. Г. Ким

Подписано в печать 29.08.13.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,09. Тираж 75 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.  
600000, Владимир, ул. Горького, 87.