

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Баламирзоев Назим Лиодинович  
Должность: И.о. ректора  
Дата подписания: 21.08.2023 19:13:22  
Уникальный программный ключ:  
2a04bb882d7edb7f479cb266eb4aaaedebeea849



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РД**

**ФГБОУ ВО «ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА КТОМПИМ**

**Ахмедпашаев М. У.**

### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных и практических работ  
по дисциплине «**Материаловедение**»: раздел «**Определение механических  
свойств материалов**» для студентов направлений подготовки бакалавров  
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
производств, профиль «**Технология машиностроения**» и  
23.03.01 Технология транспортных процессов,  
профиль «**Организация и безопасность движения**»

УДК 656.13.05.001.25 (038)

Учебно-методические указания к исполнению лабораторных и практических работ по дисциплине «Материаловедение»: раздел «Определение механических свойств материалов» для студентов направлений подготовки бакалавров 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, профиль «Технология машиностроения» и 23.03.01 Технология транспортных процессов, профиль «Организация и безопасность движения». //Махачкала: ИПЦ ДГТУ, 2021, 24 с.

В учебно-методических указаниях приведены краткие теоретические сведения, подробно описана методика проведения лабораторных работ. Наличие большого количества справочного материала делает данные методические указания удобными для проведения лабораторных работ.

**Составитель:** Ахмедпашаев М.У., д.т.н., профессор

**Рецензенты:** 1. Дибиров С.Ю., к.т.н., доцент кафедры КТОМПИМ ДГТУ;  
2. Валяйматов Г.Д., начальник СТК РО ДОСААФ РОССИИ по РД в г. Каспийске

Рег. № 6967

Печатается согласно постановлению Ученого совета Дагестанского государственного технического университета протокол № 3 от 30.12.2021 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методические указания составлены в соответствии с рабочими программами по курсу «Материаловедение» для студентов направлений подготовки бакалавров 15.03.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств и материаловедение, направленные на изучение наиболее распространенных сталей в промышленности.

Описание лабораторных работ состоит из двух частей. В первой части ставится цель, и приводятся теоретические сведения, необходимые студентам для подготовки к самостоятельному выполнению работы. Во второй части даются методические указания и порядок выполнения работ, и составление письменного отчета.

В заключении имеются контрольные вопросы для самопроверки.

Основные механические свойства сталей и рекомендуемая литература приведены в конце методических указаний.

## МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Цель работы:

1. Ознакомить студентов с различными технологиями определения механических свойств материалов в зависимости от условий термообработки
2. Получить навыки в проведении испытаний на установках;
3. Определение механических, сравнивая полученные результаты со справочными данными

### 1.1 Теоретические основы

Рабочие нагрузки вызывают в деталях машин напряжения, которые приводят к их разрушению. Сопротивление металлов деформациям и разрушению характеризуется механическими свойствами. К основным механическим свойствам металлов относятся прочность, твердость, пластичность, ударная вязкость и выносливость. Их определяют при статических, динамических или циклических испытаниях.

#### 1.1 Характеристики механических свойств, определяемые при статическом растяжении

Испытания на растяжение проводят на специальных машинах и стандартных образцах начальной длиной  $l_0$  и площадью поперечного сечения  $F_0$ . Растягивающая нагрузка  $P$  нарастает плавно, образец постепенно удлиняется и разрушается. При этом записывают диаграмму растяжения в координатах «нагрузка - удлинение образца», которая приводится к диаграмме условных напряже-

ний в координатах «напряжение ( $\sigma$ ) - относительное удлинение ( $\delta$ )» (рис. 1).  
Напряжение – нагрузка (сила), действующая на единицу площадки:  $\sigma = P/F_0$ , в МПа.

Тангенс угла наклона, линейного участка диаграммы растяжения характеризует

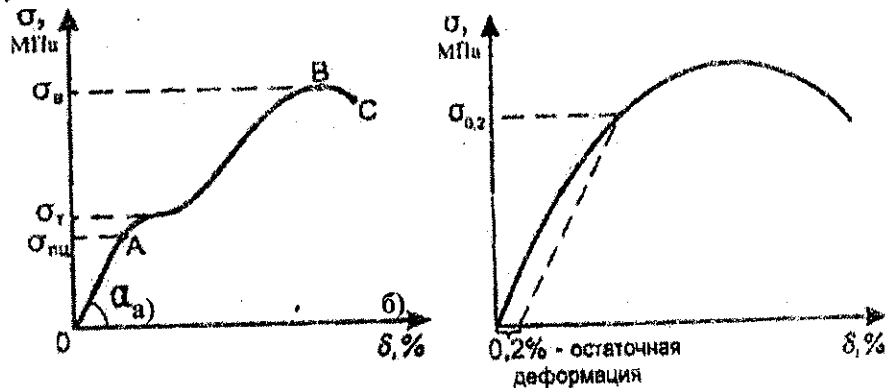


Рисунок 1- Диаграммы растяжения пластичного (а) и малопластичного (б) материалов

модуль упругости материала:  $E = \sigma / \delta = \text{tg} \alpha$ .

### 1.1.1 Характеристики прочности

Предел пропорциональности  $\sigma_{пр}$  - максимальное напряжение, соответствующее линейному участку кривой растяжения. Предел пропорциональности часто отождествляют с пределом упругости.

Предел упругости  $\sigma_{уп}$  - напряжение, при котором остаточная деформация принимает заданное значение 0,05% и меньше. Обозначения предела упругости -  $\sigma_{0,005}, \sigma_{0,02}, \sigma_{0,05}$ .

Предел текучести  $\sigma_T$  - напряжение, при котором материал деформируется (течет) без увеличения нагрузки. Для пластичных материалов это напряжение соответствует площадке текучести на диаграмме растяжения (Рис. 7,а). Для малопластичных материалов, не имеющих площадки текучести, используется условный предел текучести,  $\sigma_{0,2}$  - напряжение, вызывающее остаточную деформацию 0,2% (Рис. 7,б).

Предел прочности (временное сопротивление)  $\sigma_B$  - максимальное напряжение, предшествующее разрушению образца:

$$\sigma_B = P_{\max} / F_0.$$

### 1.1.2 Характеристики пластичности

Относительное удлинение:

$$\delta = (l_k - l_0) / l_0 \cdot 100\%,$$

где  $l_k$  - конечная длина образца [2]

Относительное сужение:

$$\Psi = (F_0 - F_k) / F_0 \cdot 100\%$$

где  $F_k$  - площадь поперечного сечения в месте разрыва.

## 1.2 Методы определения твердости металлов

Твердость - свойство металла сопротивляться пластической деформации при внедрении в его поверхность твердого тела - индентора.

Определение твердости является наиболее широко распространенным методом испытания материалов. Оно позволяет в большинстве случаев без разрушения изделия судить о качестве изделия.

Приборы для испытания просты, обладают высокой производительностью, не требуют работников высокой квалификации и могут использоваться непосредственно на рабочем месте.

При испытании на твердость обычно определяется сопротивление металлов деформации при вдавливании наконечника. Эта характеристика тесно связана с пределом прочности (приложение А), поэтому в некоторых случаях производятся испытания только на твердость, и по ней судят о пределе прочности материала (для пластических металлов).

На практике контроль твердости осуществляется после термообработки, где осуществляется наиболее выгодный режим механической обработки деталей машин и механизмов.

### 1.2.1 Определение твердости вдавливанием стального шарика (метод Бринелля)

Индентор - стальной шарик диаметром от 2,5 до 10 мм вдавливается в поверхность под нагрузкой от 2500 до 30000 Н. После снятия нагрузки остается отпечаток (лунка) диаметром  $d$  (рис. 8,а). Твердость определяется как отношение нагрузки  $P$  к площади отпечатка:

$$HB = P / F_{отп}, [МПа].$$

Обычно твердость HB определяют по таблицам (прил. А2). Способ Бринелля применяют для металлов малой и средней твердости - до 4500 HB

Измерение твердости вдавливанием стального шарика (метод Бринелля). Твердость металлов и других конструкционных материалов по методу Бринелля определяют путем вдавливания стального закаленного шарика в испытываемую плоскую поверхность под действием заданной нагрузки в течение определенного времени.

Выбор диаметра шарика, нагрузки и времени (под действием нагрузки) производится в зависимости от материала, твердости и толщины испытываемого изделия или образца. В таблице 1 приведены установленные ГОСТом нормы испытаний по Бринеллю.

Число твердости по Бринеллю определяется как отношение давления  $P$  к площади  $F$  сферической поверхности отпечатка и обозначается символом НВ (рисунок 8);

$$HB = P/F = 2P/\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2}), \text{ кг/мм}^2 \text{ (МПа)}$$

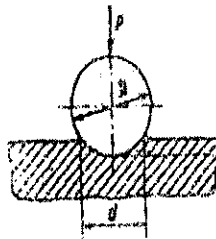


Рисунок 2 - Схема измерения твердости по Бринеллю

где:  $D$  - диаметр шарика, мм,  $d$  - диаметр отпечатка, мм,  $P$  - нагрузка на шарик, Н.

Чем тверже металл, тем меньше диаметр отпечатка, и тем выше число твердости НВ. Диаметр отпечатка измеряется с помощью специальной лупы или линейки, имеющей шкалу с ценой деления 0,1 мм.

Во избежание сложных вычислений число твердости для каждого отпечатка на практике пользуются готовыми таблицами, в которых приведены числа твердости в зависимости от диаметра отпечатков.

Наиболее распространенными стандартными условиями при испытании твердости являются: нагрузка  $P$  - 3000 кг, диаметр шарика - 10 мм и длительность выдержки - 10 сек.

### 1.2.2 Измерение твердости вдавливанием конуса или шарика (твердость по Роквеллу)

Принципиальное отличие измерения твердости по способу Роквелла от измерения по способу Бринелля состоит в том, что твердость определяют по глубине отпечатка, получаемого при вдавливании алмазного конуса или стального шарика.

По Роквеллу можно изменять нагрузку в широких пределах, без изменения значений твердости. При вдавливании конуса сохраняется закон подобия, а условия деформации под вершиной конуса с увеличением давления не изменяются.

Твердость по методу Роквелла определяют по глубине вдавливания в испытываемую поверхность стального шарика диаметром 1,588 мм при нагрузке 100 кг, или алмазного конуса с углом у вершины  $\alpha=120^\circ$  при нагрузке 100 кг и

150 кг.

При испытании сначала прикладывают предварительную нагрузку  $P=10$  кг, а затем нормальную  $P=60, 100$  или  $150$  кг. Разность глубин проникновения шарика или алмаза под нагрузками  $P$  и  $P_0=HR$ , характеризует твердость. Чем меньше эта разность, тем тверже испытываемый материал и наоборот, чем эта разность больше, тем мягче материал. Число твердости по Роквеллу определяют по формуле:

$$HR = \frac{K - (h - h_0)}{C}$$

где:  $h_0$  - глубина внедрения наконечника под действием силы  $P$ , мм;

$h$  - глубина внедрения наконечника под действием общей нагрузки, мм;

$K$  - постоянная велти неподвижной станины которого установлен столик 6.

В верхней части станины укреплены индикатор 4, масляный регулятор 2 и шток 5, в котором устанавливается наконечник с алмазным конусом, имеющим угол в вершине  $120^\circ$ , или со стальным шариком диаметром 1,59 мм. Индикатор 4 представляет собой щитчина: для шарика  $=0,26$  и для конуса  $=0,2$ ;

$C$  - цена деления циферблата индикатора.

Твердость измеряют на приборе типа ТК (рисунок 3), в нижней части неподвижной станины которого установлен столик 6. В верхней части станины укреплены индикатор 4, масляный регулятор 2 и шток 5, в котором устанавливается наконечник с алмазным конусом, имеющим угол в вершине  $120^\circ$ , или со стальным шариком диаметром 1,59 мм. Индикатор 4 представляет собой циферблат, на котором нанесены две шкалы (черная и красная) и имеются две стрелки — большая (указатель твердости), вращающаяся по шкале, и маленькая для контроля величины предварительного нагружения, сообщаемого вращением маховика 7. Поворотом маховика по часовой стрелке столик поднимает таким образом, чтобы наконечник мог вдавливаться в поверхность установленного образца. При дальнейшем подъеме столика начинают вращаться стрелки на циферблате. Подъем столика продолжают до тех пор, пока малая стрелка не примет вертикального положения, указываемого на циферблате, красной точкой. Это означает, что наконечник вдавился в образец, под действием определенной (предварительной) нагрузки, равной 10 кг. Предварительное нагружение проводят для того, чтобы исключить влияние упругой деформации и различной степени шероховатости поверхности образца на результаты измерений.

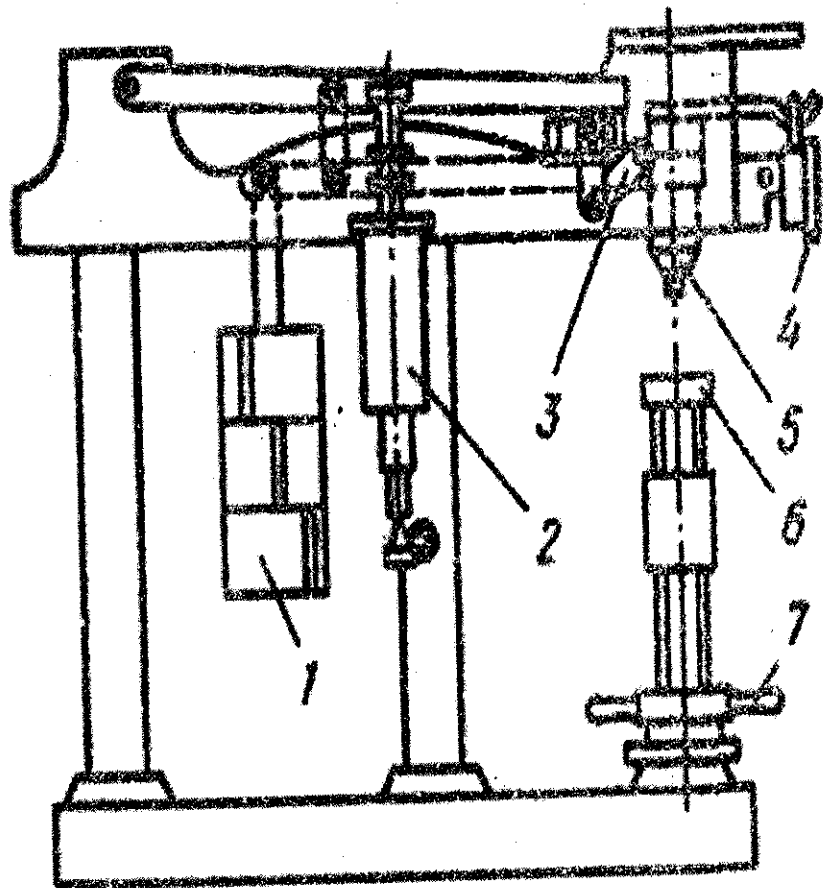


Рисунок 3 - Схема прибора для измерения твердости вдавливанием алмазного конуса или стального шарика (измерение по Роквеллу)

Затем освобождают рукоятку 3 и она плавно перемещается до упора. Твердость на приборе Роквелла можно измерять:

- алмазным конусом с общей нагрузкой 150 кг в этом случае значения твердости характеризуются цифрой, указываемой стрелкой на черной шкале С циферблата, и обозначаются HRC. Например, 65 HRC означает, что твердость материала составляет 65 единиц по Роквеллу по шкале С с нагрузкой 150 кг.
- алмазным конусом с общей нагрузкой 60 кг. В этом случае значения

твердости также характеризуются цифрой, указываемой стрелкой на черной шкале С циферблата, но обозначаются HRA. Числа HRA можно перевести на числа HRC по следующей формуле  $HRC = 2HRA - 104$ ;

-стальным шариком с общей нагрузкой 100 кг. В этом случае значения твердости характеризуются цифрой, указываемой стрелкой по красной шкале В циферблата, и обозначаются HRB.

Измерения алмазным конусом с нагрузкой 150 кг (HRC) проводят:

-для закаленной или низкоотпущенной стали с твердостью более 450 HB, т. е. в условиях, когда вдавливание стального шарика (по Бринеллю или Роквеллу по шкале В) в твердый материал может вызвать деформацию шарика и искажение результатов;

-для материалов средней твердости (более 230 HB) как более быстрый способ определения, оставляющий, кроме того, меньший след на измеряемой поверхности, чем при испытании по Бринеллю;

-для определения твердости тонких поверхностных слоев, но толщиной более 0,5 мм (например, цементированного слоя).

Измерения алмазным конусом с нагрузкой 60 кг (HRA) применяют:

- для очень твердых металлов (более HRC 70), например твердых сплавов, когда вдавливание алмазного конуса с большой нагрузкой может вызвать выкрашивание алмаза, а также для измерения твердых поверхностных слоев (0,3—0,5 мм) или тонких образцов (пластинок).

Стальным шариком с нагрузкой 100 кг (HRB) твердость определяют:

-для мягкой (отожженной) стали или отожженных цветных сплавов в деталях или образцах толщиной 0,8—2 мм, т. е. в условиях, когда измерение по Бринеллю, выполняемое шариком большого диаметра, может вызвать смятие образца. Условия для испытания по Роквеллу установлены ГОСТом (таблица 2).

Таблица 2 - Условия для испытания по Роквеллу

Твердость по Виккерсу HV	Обозначение шкалы Роквелла	Тип наконечника	Нагрузка, кг	Допускаемые измерения
60—240	В	Шарик стальной	100	25—100
240—900	С	Алмазный конус	150	20—67
390—900	А	То же	60	70—85

### 1.2.3 Измерение твердости вдавливанием алмазной пирамиды (твердость по Виккерсу)

При измерении твердости по способу Виккерса в металл вдавливаются четырехгранная алмазная пирамида с углом в вершине 136° и твердость характеризует площадь получаемого отпечатка. При вдавливании пирамиды соотношение между диагоналями получающегося отпечатка при изменении нагрузки остается постоянным, что позволяет в широких пределах в зависимости от целей исследования увеличивать или уменьшать нагрузку. Испытания проводят

на приборе (рис. 5), имеющем неподвижную станину, в нижней части которой

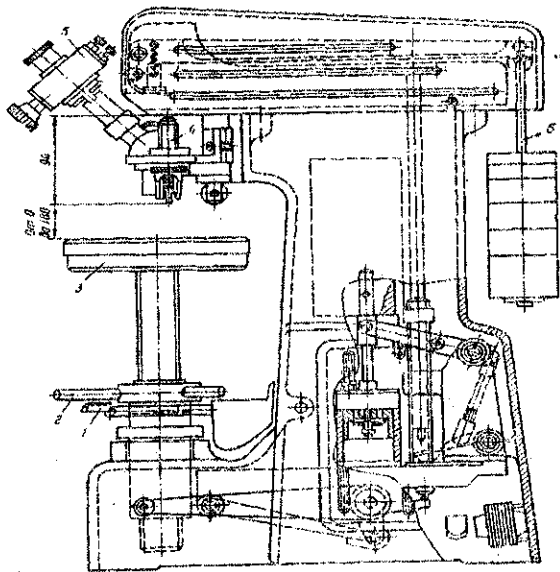
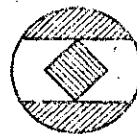


Рисунок 5 - Схема прибора для измерения твердости вдавливанием алмазной пирамиды (измерение по Виккерсу)

установлен столик 3, перемещающийся по вертикали вращением маховика 2. Образец устанавливают на столике сверху испытываемой поверхностью (перпендикулярной действующей силе) и затем поднимают столик почти до соприкосновения образца с алмазной пирамидой, закрепленной в штоке 4. Нажатием педали пускового рычага 1 приводят в действие нагружающий механизм, который через рычаг передает давление предварительно поднятых грузов 6 на алмазную пирамиду. После этого опускают столик прибора и подводят микроскоп 5, установленный на штанге, прикрепленной к станине. С помощью микроскопа определяют длину диагоналей полученного отпечатка. На окуляре микроскопа имеются две шторки: подвижная и неподвижная. Микрометрический винт соединен с вращающимся указателем (барabanом) с цифрами. Передвижение подвижной шторки вызывает вращение цифровой ленты указателя. Цифру, которая будет соответствовать положению подвижной шторки, когда она соприкасается с углом отпечатка (рисунок 6), переводят по



$$HV = [2P \sin \alpha/2] / d^2 = 1,854P/d^2 \text{ кг/мм}^2,$$

Рисунок 6 - Схема измерения отпечатка, полученного вдавливанием алмазной пирамиды (измерение по Виккерсу)

таблице на числа твердости по Виккерсу. В этом приборе можно создавать нагрузки в 1, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 и 120 кг.

В настоящее время имеются приборы для определения микротвердости (ПМТ-3) (твердости металлов в малых объемах) путем вдавливания 4-х гранной алмазной пирамиды под небольшими нагрузками (метод Хрущева-Берковича).

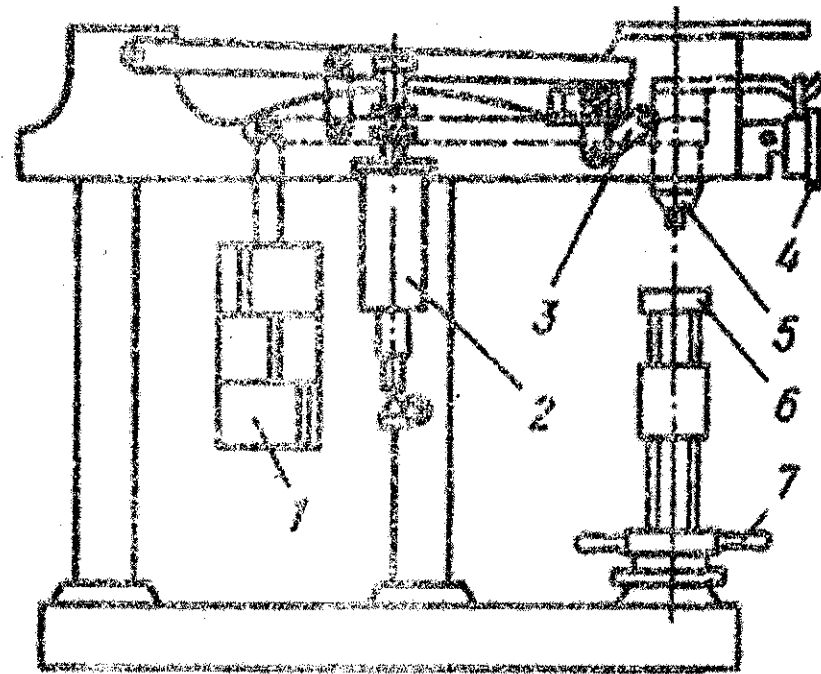


Рисунок 3 - Схема прибора для измерения твердости вдавливанием алмазного конуса или стального шарика (измерение по Роквеллу)

### 1.3 Экспериментальная часть

#### 1.3.1 Испытания по методу Бринелля

Производят в такой последовательности:

1. Изготавливают и подготавливают образцы к испытанию. Образец изготавливают с минимальной толщиной не менее 10-кратной глубины отпечатка и с наименьшей шириной, равной 2-м диаметрам шарика. Поверхность образца должна быть плоской и чистой от загрязнения и окалина.

2. Выбирают в зависимости от заданных условий испытания и типа образца, диаметр шарика, нагрузку и время выдержки под нагрузкой.

3. Закрепляют шариковый наконечник в шпинделе установочным винтом.

4. Накладывают на подвеску требуемое для испытания количество сменных грузов

5. Устанавливают упор на нужную продолжительность выдержки и закрепляют стопорным винтом.

6. Устанавливают на столик (испытание круглых образцов производят с помощью специальной подставки) испытуемый образец и вращением маховика поднимают его к шариковому наконечнику, оказывая предварительную нагрузку на образец порядка 100 кг. Нагрузка должна быть приложена в направлении, перпендикулярном к плоскости образца. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее диаметра шарика, а от центра соседнего отпечатка - на расстоянии не менее 2-х диаметров шарика.

7. Нажимают на пусковую кнопку, приводя в движение электродвигатель и передавая нагрузку на образец.

8. После окончания испытания опускают столик, снимают образец и измеряют диаметр отпечатка в 2-х взаимно-перпендикулярных направлениях при помощи лупы. Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм при испытании шарика диаметром 2,5 мм.

По величине диаметра отпечатка в таблицах или по формуле находят число твердости HB.

Результаты измерений заносят в протокол (таблица 3)

Таблица 3-Протокол испытаний на твердость по методу Бринелля

№ п/п	наименование материала	диаметр шарика в мм	нагрузка Р в кг	диаметр отпечатка в мм D	твердость по Бринеллю HB			
					первое знач.	второе знач.	третье знач.	четвертое знач.

#### 1.3.2 Испытания твердоси по методу Роквелла

1. Подготавливают образцы к испытанию. Поверхность образца должна быть чистой, без следов масла и других загрязнений. Гальванические покрытия, окалина и обезуглероженный слой должны быть удалены, а поверхность отшлифована при помощи наждачного полотна или шлифовального круга. Опорная поверхность должна быть плоской и плотно прилегать к опорному столику. Можно производить испытание образцов с изогнутыми поверхностями при условии, что радиус кривизны будет более 5 мм. Минимальная толщина испытуемого образца должна быть не менее 8-кратной глубины внедрения наконечника после снятия основной нагрузки Р.

2. Подбирают опорный столик в соответствии с профилем испытуемого образца. Поверхность опорного столика должна быть чистой и гладкой. При испытании цилиндрических образцов, пользуясь столиками с v-образными канавками, проверяют совпадение конца наконечника с центром столика.

3. Подбирают наконечник и закрепляют его в шпинделе при помощи установочного винта.

4. Подбирают грузы соответственно выбранному наконечнику и применительно к шкале, по которой предлагается вести испытание и подвешивают их.

5. Устанавливают испытуемый образец на столик прибора.

6. Вращением маховика постепенно подводят испытуемую поверхность до соприкосновения с наконечником, а затем, вращая маховик дальше, производят предварительное нагружение до тех пор, пока малая стрелка индикатора не совпадет с красной точкой на шкале, а большая стрелка индикатора перейдет за красную точку, то необходимо выбрать на испытуемой поверхности другую точку и начать испытание сначала. Затем повернуть ободок индикатора до совпадения нуля черной шкалы с большой стрелкой.

7. Слегка нажимают на рукоятку (отталкивают ее от себя), освобождая основной грузовой рычаг, и, тем самым производят нагружение наконечника общей нагрузкой (предварительная + основная). Рычаг медленно опускается до упора, а затем останавливается. В это время большая стрелка поворачивается против часовой стрелки, затем - по часовой стрелке и занимает автоматически исходное положение для отсчета чисел твердости по шкале индикатора (для алмазного наконечника отсчет производят по черной наружной шкале С, при шариковом наконечнике - по красной внутренней шкале В. Далее опускают столик вращением маховичка и снимают образец.

8. Результаты испытания заносят в протокол испытания (таблица 4).

Таблица 4. Протокол испытания по методу Роквелла

№ п/п	Наименование материала	Нагрузка в кг	Шкала тверд. по Роквеллу			Средн. знач. HR
			1 замер	2 замер	3 замер	

9. Используя приложения А определяют прочность, переводят исследованные значения чисел твердости и данные заносят в таблицу 5.

Таблица 5 - Определение различных твердостей и прочности испытанных материалов

№ п/п	Наименование материала	Твердость					Прочность $\sigma_{в}$ , МПа
		НВ	НV	HRB	HRC	HRA	

#### 1.4 Характеристики механических свойств, определяемые при динамических нагрузках

Ударная вязкость **КС** характеризует склонность металла к хрупкому разрушению. **КС** определяют при динамических испытаниях на маятниковом копре образцов без надреза - **КСи** с надрезом (рис.9): U-образным - **КСU**, V-образным - **КСV**, в виде трещины - **КСТ**. Определяют работу **A** по разрушению образца при ударе, отнесенную к площади поперечного сечения в месте надреза  $F_0$ , в МДж/м<sup>2</sup>:  $КС = A/F_0$

Ударная вязкость зависит от:

- размера зерна: чем мельче зерно, тем выше **КС**;
- типа концентратора напряжений;
- наличия вредных примесей;
- температуры (рис. 7).

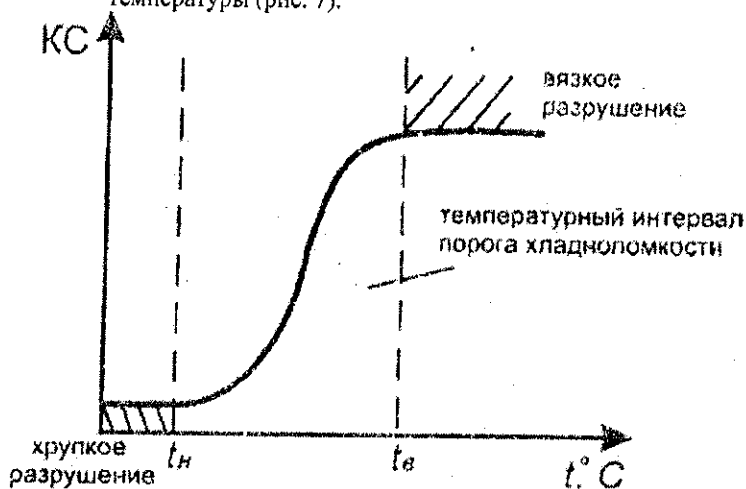


Рисунок 7- Зависимость ударной вязкости от температуры

Хладноломкость - свойство металла терять вязкость и хрупко разрушаться при понижении температуры. Хрупкое разрушение всегда внезапно и в эксплуатации недопустимо. Порог хладноломкости - температура (интервал температур от  $t_{(от)}$ ) перехода вязкого разрушения в хрупкое. При этом структура излома изменяется от волокнистого, при вязком разрушении, до кристаллического блестящего - при хрупком. За порог хладноломкости принимают температуру  $T_{50}$ , при которой в изломе имеется 50% волокон. Температура эксплуатации детали должна быть выше порога хладноломкости.

#### 1.5. Характеристики механических свойств, определяемые при циклических нагрузках

Многие детали машин (валы, шестерни, винты и др.) работают в условиях знакопеременных (циклических) нагрузок. Разрушение детали под действием циклических нагрузок называют усталостью, а свойство противостоять усталости - выносливостью, которая характеризуется пределом выносливости,  $\sigma_{-1}$ .

Усталостные испытания проводят на машинах, создающих в образцах циклические изменения напряжения. Проводят серию испытаний при последовательно уменьшающихся нагрузках, начиная  $\sigma_1 = 0,6 \cdot \sigma_{в}$ , при этом определяют число циклов **N** до разрушения. По результатам испытаний строят кривую усталости  $\sigma=f(N)$  (рис. 8) и определяют предел выносливости,  $\sigma_{-1}$  - максимальное напряжение, которое выдерживает образец без разрушения бесконечное или базовое число циклов. Для стали за базу принимают  $10^6 \dots 10^8$  циклов. Предел выносливости зависит от состояния поверхности и размера зерна: при полированной поверхности значение  $\sigma_{-1}$  максимально, при шлифованной - меньше на 10... 15%. Чем мельче зерно, тем выше  $\sigma_{-1}$ . Для повышения  $\sigma_{-1}$  применяют методы поверхностного упрочнения.



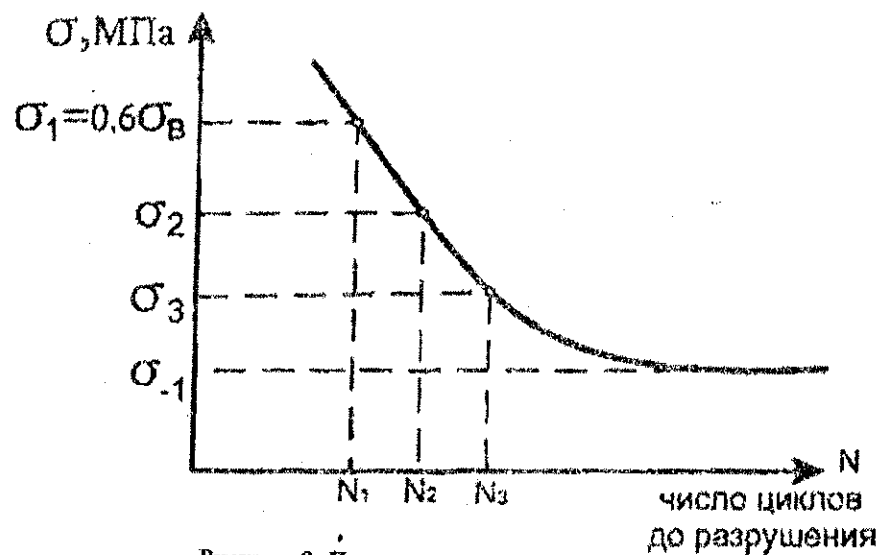


Рисунок 8 - Построение кривой усталости

## 2 Экспериментальная часть

### 2.1 Испытания по методу Бринелля.

Производят в такой последовательности:

1. Изготавливают и подготавливают образцы к испытанию. Образец изготавливают с минимальной толщиной (не менее 10-кратной глубины отпечатка) и с наименьшей шириной, равной 2-м диаметрам шарика. Поверхность образца должна быть плоской и чистой от загрязнения и окислы.

2. Выбирают в зависимости от заданных условий испытания и типа образца, диаметр шарика, нагрузку и время выдержки под нагрузкой.

3. Закрепляют шариковый наконечник в шпинделе установочным винтом.

4. Накладывают на подвеску требуемое для испытания количество сменных грузов

5. Устанавливают упор на нужную продолжительность выдержки и закрепляют стопорным винтом.

6. Устанавливают на столик (испытание круглых образцов производят с помощью специальной подставки) испытуемый образец и вращением маховика поднимают его к шариковому наконечнику, оказывая предварительную нагрузку на образец порядка 100 кг. Нагрузка должна быть приложена в направлении, перпендикулярном к плоскости образца. Центр отпечатка должен находиться от края образца на расстоянии не менее диаметра шарика, а от цен-

тра соседнего отпечатка - на расстоянии не менее 2-х диаметров шарика.

7. Нажимают на пусковую кнопку, приводя в движение электродвигатель и передавая нагрузку на образец.

8. После окончания испытания опускают столик, снимают образец и измеряют диаметр отпечатка в 2-х взаимно-перпендикулярных направлениях при помощи, лупы. Диаметр отпечатка измеряют с точностью до 0,05 мм при испытании шарика диаметром 2,5 мм.

По величине диаметра отпечатка в таблицах или по формуле находят число твердости НВ.

Результаты измерений заносят в протокол (таблица 3)

Таблица 3-Протокол испытаний на твердость по методу Бринелля

№ п/п	наименование материала	диаметр шарика в мм	нагрузка Р в кг	диаметр отпечатка в мм D	твердость по Бринеллю НВ			
					первое знач.	второе знач.	третье знач.	четвертое знач.

### 2.2 Испытания по методу Роквелла

1. Подготавливают образцы к испытанию. Поверхность образца должна быть чистой, без следов масла и других загрязнений. Гальванические покрытия, окислы и обезуглерожженный слой должны быть удалены, а поверхность отшлифована при помощи наждачного полотна или шлифовального круга. Опорная поверхность должна быть плоской и плотно прилегать к опорному столику. Можно производить испытание образцов с изогнутыми поверхностями при условии, что радиус кривизны будет более 5 мм. Минимальная толщина испытуемого образца должна быть не менее 8-кратной глубины внедрения наконечника после снятия основной нагрузки Р.

2. Подбирают опорный столик в соответствии с профилем испытуемого образца. Поверхность опорного столика должна быть чистой и гладкой. При испытании цилиндрических образцов, пользуясь столиками с v-образными канавками, проверяют совпадение конца наконечника с центром столика.

3. Подбирают наконечник и закрепляют его в шпинделе при помощи установочного винта.

4. Подбирают грузы соответственно выбранному наконечнику и применительно к шкале, по которой предлагается вести испытание и подвешивают их.

5. Устанавливают испытуемый образец на столик прибора.

6. Вращением маховичка постепенно подводят испытуемую поверхность до соприкосновения с наконечником, а затем, вращая маховичок дальше, про-

изводят предварительное нагружение до тех пор, пока малая стрелка индикатора не совпадет с красной точкой на шкале, а большая стрелка не примет вертикального положения. Если малая стрелка индикатора перейдет за красную точку, то необходимо выбрать на испытуемой поверхности другую точку и начать испытание сначала. Затем повернуть ободок индикатора до совпадения нуля черной шкалы с большой стрелкой.

7. Слегка нажимают на рукоятку (отталкивают ее от себя), освобождая основной грузовой рычаг, и тем самым производят нагружение наконечника общей нагрузкой (предварительная + основная). Рычаг медленно опускается до упора, а затем останавливается. В это время большая стрелка поворачивается против часовой стрелки, затем - по часовой стрелке и занимает автоматически исходное положение для отсчета чисел твердости по шкале индикатора (для алмазного наконечника отсчет производят по черной наружной шкале С, при шариковом наконечнике - по красной внутренней шкале В. Далее опускают столлик вращением маховичка и снимают образец.

8. Результаты испытания заносят в протокол испытания (таблица 4).

Таблица 4 - Протокол испытания по методу Роквелла

№ п/п	Наименование материала	Нагрузка в кг	Шкала твер.по Роквеллу			Средн. знач. HR
			1 замер	2 замер	3 замер	

9. Используя приложения А определяют прочность, переводят исследованные значения чисел твердости и данные заносят в таблицу 5.

Таблица 5 – Определение различных твердостей и прочности испытанных материалов

№ п/п	Наименование материала	Твердость					Прочность $\sigma_{\text{в}}$ , МПа
		HB	HV	HRB	HRC	HRA	

### 2.3 Форма отчета по лабораторной работе Определение твердости материалов

#### Цель работы:

Оборудование: а) приборы;  
б) образцы;  
в) измерительные линейки, лупа.

#### Порядок выполнения работы

1. Краткое изложение теоретической части работы (п. 1.1).
2. Испытания по методу Бринелля согласно п. 2.1.
3. Испытания по методу Роквелла согласно п. 2.2.
4. Заполнение таблиц 3, 4, 5.
5. Ответить на контрольные вопросы по лабораторной работе

#### 2.4 Контрольные вопросы

1. Характеризуйте твердость материалов?
2. Назовите основные способы определения твердости материалов?
3. По какой формуле можно определить твердость по Бринеллю?
4. Как испытывают твердость по Бринеллю?
5. Какие условия испытаний материалов на твердость по Бринеллю?
6. Какие недостатки метода Бринелля?
7. Как определяют твердость по методу Роквелла?
8. По какой формуле можно определить твердость по методу Роквелла?
9. Расскажите порядок измерения твердости на приборе типа ТК?
10. Каковы условия испытания методом по Роквелла?
11. Какие материалы измеряют конусом с нагрузкой 150 кг (HRC)?
12. Какие материалы измеряют шариком с нагрузкой 100 кг (HRB)?
13. Какие материалы измеряют конусом с нагрузкой 60 кг (HRA)?
14. Какова зависимость между числами HRA и HRC?
15. Как измеряют твердость по способу Виккерса?
16. Расскажите порядок измерения твердости по методу Виккерса?
17. Какие нагрузки используют на прибора для измерения твердости по методу Виккерса?
18. По какой формуле можно определить твердость по методу Виккерса?
19. В чем заключается измерение твердости методом Хрущева-Берковича?
20. В каких состояниях может находиться сталь в зависимости от термообработки?
21. Влияние углерода на механические свойства стали.
22. Структура и свойства, маркировка и применение конструкционных углеродистых сталей.
23. Как определяют твердость материалов?
24. Как определяют прочностные характеристики

материалов?

25. Как определяют краснотемпность материалов?
26. Как определяют ударную вязкость материалов?
27. Как определяют упругие свойства материалов?
28. Как определить относительное удлинение и сужение материалов?
29. Какие ГОСТы используются при определении механических свойств?

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедпашаев М. У. Материаловедение: учебное пособие. Махачкала, М.: ИПЦ «ДГТУ», 2019. 92 с. <http://bib.dgtu.ru/catalog/fo12>
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник / Под ред. В.Б.Арзамасова, А.А.Черепанина. М.: Машиностроение, 2013.-174 с
3. Материаловедение: учебное пособие / Под общ.ред. Л.Г. Петровой. М: МАДИ (ГТУ), 2008.-288 с
4. Гуляев А.П. Металловедение. Учебн. для вузов. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
5. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: учебник для высших технических учебных заведений. 3-изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1990. 528 с

### ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ.....	3
1.1 Теоретические основы.....	3
1.1 Характеристики механических свойств, определяемые при статическом растяжении.....	3
1.1.1 Характеристики прочности.....	4
1.1.2 Характеристики пластичности.....	4
1.2 Методы определения твердости металлов.....	5
1.2.3 Измерение твердости вдавливанием алмазной пирамиды (твердость по Виккерсу).....	9
1.3 Экспериментальная часть.....	12
1.3.1 Испытания по методу Бринелля.....	12
1.3.2 Испытания твердости по методу Роквелла.....	13
1.4 Характеристики механических свойств, определяемые при динамических нагрузках.....	14
1.5. Характеристики механических свойств, определяемые при циклических нагрузках.....	15
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	20

### Приложение А

Таблица А1-Механические свойства конструкционной качественной углеродистой стали в нормализованном состоянии

Марка стали	Временное сопротивление разрыву $\sigma_b$ , МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение $\delta$ , %	Относительное сужение $\psi$ , %	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Твердость по нелю, НВ, МПа
			не менее			
08кп	300	180	35	60	-	1310
08	330	200	33	60	-	1330
10кп	320	190	33	55	-	1370
10	340	210	31	55	-	1400
15кп	360	210	29	55	-	1430
15	380	230	27	55	-	1460
20кп	390	230	27	55	-	1560
25	460	280	25	50	90	1700
30	500	300	21	50	80	1790
35	540	320	20	45	70	1870
40	580	340	19	45	60	2170
45	610	360	16	40	50	2290
50	640	380	14	40	40	2410
55	660	390	13	35	-	2550
60	690	410	12	35	-	2580
65	710	420	10	30	-	2600
70	730	430	9	30	-	2650
75	1000	900	7	30	-	2680
80	1100	950	6	30	-	2700
85	1150	1100	6	30	-	2720

Таблица А2 -

Механические свойства конструкционной углеродистой  
стали в состоянии поставки

Марка стали	Временное сопротивле- ние разрыву $\sigma_b$ , МПа	Предел текуче- сти $\sigma_s$ , МПа	Относитель- ное удлинение $\delta$ , %	Относитель- ное сужение $\psi$ , %	Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	Твер- дость по Бринел- лю, НВ, МПа
			не менее			
Ст.1	320-400	210	28	33	-	1380
Ст.2	340-420	220	26	31	15	1530
Ст.3	440-470	240	22	26	75	1740
Ст.4	450-480	260	20	24	45	2150
Ст.5	540-570	280	16	20	35	2400
Ст.5	640-670	310	15	14	20	2550
Ст.7	700-790	320	9	12	-	2600

Приложение Б  
Таблица перевода чисел твердости и прочности

Таблица Б.1 - Таблица перевода чисел твердости и прочности

Вик- керс HV	Бри- нелль НВ <sub>3000</sub>	Роквелл HRC	$\sigma_b$ МПа	Вик- керс HV	Бри- нелль НВ <sub>3000</sub>	Роквелл HRC	$\sigma_b$ МПа	Вик- керс HV	Рок- велл HRC
100	100	52,4	340	240	240	20,3	810	490	47,5
105	105	57,5	360	245	245	21,2	830	500	48,2
110	110	60,9	370	250	250	22,1	850	520	49,6
115	115	64,1	390	255	255	23,0	870	540	50,8
120	120	67,0	410	260	260	23,9	880	560	52,0
125	125	69,8	420	265	265	24,8	900	580	53,1
130	130	72,4	440	270	270	25,6	920	600	54,2
135	135	74,7	460	275	275	26,4	930	620	55,4
140	140	76,6	480	280	280	27,2	950	640	56,5
145	145	78,3	490	285	285	28,0	970	660	57,5
150	150	79,9	510	290	290	28,8	990	680	58,4
155	155	81,4	530	295	295	29,5	1000	700	59,3
160	160	82,8	540	300	300	30,2	1020	720	60,2
165	165	84,2	560	310	310	31,6	1050	740	61,1
170	170	85,5	580	320	319	33,0	1080	760	62,0
175	175	87,0	590	330	328	34,2	1110	780	62,8
180	180	88,3	610	340	336	35,3	1140	800	63,6
185	185	89,5	630	350	344	36,3	1170	820	64,3
190	190	90,6	650	360	352	37,2	1200	840	65,1
195	195	91,7	660	370	360	38,1	1220	860	65,8
200	200	92,8	680	380	368	38,9	1250	880	66,4
205	205	93,8	700	390	376	39,7	1280	900	67,0
210	210	94,8	710	400	384	40,5	1310		
215	215	95,7	730	410	392	41,3	1330		
220	220	96,6	750	420	400	42,1	1360		
225	225	97,5	760	430	408	42,9	1390		
230	230	98,4	780	440	416	43,7	1410		
235	235	99,2	800	450	425	44,5	1440		
240	240	100,0	810	460	434	45,3	1470		
				470	443	46,1	1510		
				480	452	46,8	1540		

Примечание. Погрешность перевода чисел твердости по Виккерсу в единицах Бринелля — ±НВ20, в единицах Роквелла — до ±HRC (HRC) 3, в значениях  $\sigma_b$  — до ±10%.

*Ахмедовичев М. У.*

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных и практических работ  
по дисциплине «**Материаловедение**»: раздел «**Определение механических  
свойств материалов**» для студентов направлений подготовки бакалавров  
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
производств, профиль «**Технология машиностроения**» и  
23.03.01 Технология транспортных процессов,  
профиль «**Организация и безопасность движения**»

*Формат 60 x 84 1/16. Бумага газетная.  
Печать ризограф. Усл. п. л. 1,4  
Тираж 50 экз. Заказ № 513*

*Отпечатано в ИПЦ ДГТУ.  
367015, г.Макачкала, пр.Имама Шамиля, 70.*