

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Технология машиностроения»

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Методические указания
к выполнению лабораторных работ № 1 - 4
по дисциплине «Материаловедение»
для студентов Политехнического института
и Института ядерной энергии и промышленности
дневной и заочной форм обучения

В двух частях

Часть 1

Севастополь
СевГУ
2022

УДК 669.018.29(076.5)

ББК 34.43я73

М34

Р е ц е н з е н т :

П.А. Новиков - канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры «Технология машиностроения»

Составители: Л. Б. Шрон, Э. С. Гордеева, А. Г. Колесов, Э.Э. Ягьяев

М34 Материаловедение. Технология конструкционных материалов : методические указания к выполнению лабораторных работ № 1 - 4 по дисциплине «Материаловедение» для студентов Политехнического института и Института ядерной энергии и промышленности дневной и заочной форм обучения. – В 2-х частях. Ч. 1 / Севастопольский государственный университет, Политехнический институт, кафедра «Технология машиностроения» ; сост. : Л. Б. Шрон, Э. С. Гордеева, А. Г. Колесов, Э.Э. Ягьяев. – Севастополь: СевГУ, 2022. – 48 с. – Текст : электронный.

Целью издания методических указаний является помощь студентам при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Материаловедение» для студентов Политехнического института дневной и заочной форм обучения направлений подготовки: 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.04 - Автоматизация технологических процессов и производств, 12.03.01 - Приборостроение, 12.03.04 - Биотехнические системы и технологии, 19.03.04 - Технология продукции и организация общественного питания, 20.03.01 - Техносферная безопасность, 23.03.01 - Технология транспортных процессов, 23.03.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 27.3.1 - Стандартизация и метрология, Института ядерной энергии и промышленности дневной и заочной форм обучения направлений подготовки: 0.03.02 - Природообустройство и водопользование, 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника, 14.05.02 - Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг, 16.03.03 - Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения, 18.03.01 - Химическая технология.

УДК 669.018.29(076.5)

ББК 34.43я73

Методические указания обсуждены и утверждены на заседании кафедры «Технология машиностроения», протокол № 9 от 12 апреля 2022 г.

Изд. № 103/2022. Объем 3 п.л. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,94.

РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа № 1. Определение твердости металлов и сплавов	4
2. Лабораторная работа № 2. Определение основных механических свойств конструкционных материалов при статических нагрузках	14
3. Лабораторная работа № 3. Основные методы исследования структуры металла	22
4. Лабораторная работа № 4. Влияние пластической деформации и нагрева на структуру и свойства металлов и сплавов	27
Библиографический список	32
Приложение	33

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с существующими методами измерения твердости конструкционных материалов.
2. Замерить твердость чугуна, бронзы, отожженной и закаленной стали.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Детали машин и механизмов работают под нагрузками различного вида: одни детали нагружены постоянно действующей в одном направлении силой, другие подвержены ударам, у третьих нагрузки изменяются по величине и направлению.

В соответствии с этим разработаны методы испытания, с помощью которых определяются механические свойства металлов.

К механическим свойствам металлов и сплавов относятся прочность, упругость, пластичность, вязкость, выносливость (усталость) и др.

Твердость является одним из наиболее часто контролируемых параметров. Под твердостью металла понимают сопротивление, оказываемое материалом при вдавливании в него более твердого тела. Вдавливаемый предмет при использовании прибора-твердомера называется индентором.

Между твердостью и другими характеристиками механических свойств существуют довольно постоянные соотношения, в частности, по твердости можно с достаточной точностью определить предел прочности материала и другие характеристики (см. таблицу А5 приложения А)

Для определения твердости применяют различные методы: царапання, вдавливания, упругий отскок и другие (рисунок 1).



Рисунок 1 – Классификация основных методов определения твердости

2.1. Методы определения твердости

2.1.1. Измерение твердости тарированным напильником (метод царапанья) ГОСТ 21318-75

На практике для определения твердости стальных закаленных деталей иногда используют принцип царапанья тарированными напильниками, т.е. серией напильников, имеющих определенную твердость. Напильник с твердостью большей, чем у испытуемой детали оставляет на ней царапины. Этот метод требует высокой квалификации работника и не претендует на точность.

2.1.2. Измерение твердости стальным шариком (метод Бринелля, ГОСТ 9012-59)

Испытания твердости по Бринеллю производится вдавливанием стального закаленного шарика (диаметром 2,5, 5 или 10 мм) в испытуемый образец под действием предварительной P_0 и основной P (3 0000, 10000, 7500, 2500 Н и др.) нагрузок.

В результате вдавливания шарика-индентора 2 на поверхности образца или изделия 1 получается отпечаток-лунка в форме шарового сегмента диаметром d (рисунок 2).

Число твердости по Бринеллю определяется как отношение нагрузки P , передаваемой через шарик на образец, к площади отпечатка:

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \quad H / \text{мм}^2 (\text{единиц HB}), \quad (1)$$

где P – нагрузка на шарик, Н; F – поверхность отпечатка, мм^2 ; D – диаметр шарика, мм; d – диаметр отпечатка, мм.

Диаметр отпечатка d измеряют при помощи специальных отсчетных микроскопов с точностью до 0,05 мм. Выбор диаметра шарика, нагрузки и продолжительность выдержки под нагрузкой производится в зависимости от предполагаемой твердости материала и толщины образца или изделия (таблица А1 приложения А).

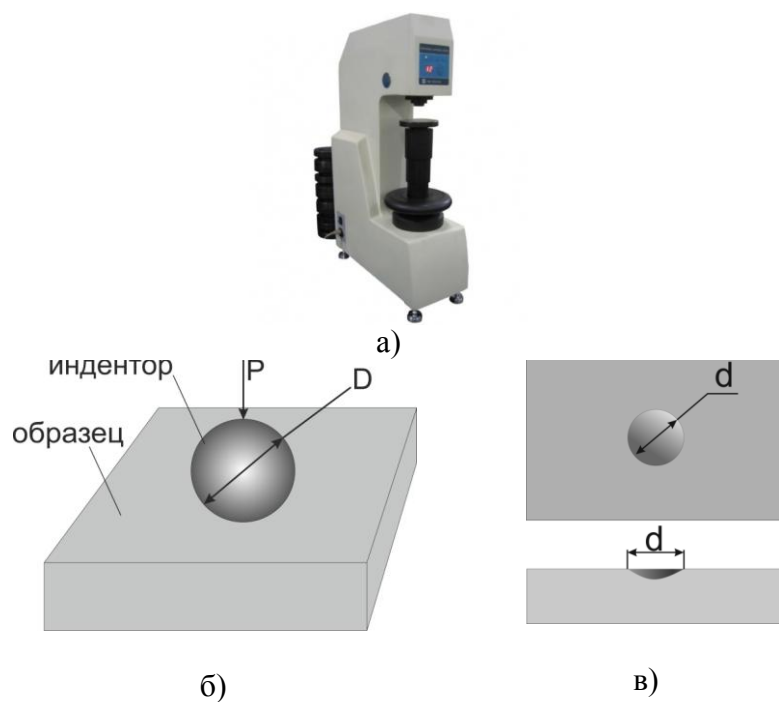


Рисунок 2 – Испытания твердости по методу Бринелля:
а) общий вид твердомера Бринелля; б) схема испытания; в) диаметр отпечатка

В практике определения твердости по Бринеллю вычисления по формуле (1) не делают, а пользуются таблицей, составленной для установленных диаметров шарика D и отпечатка d , а также нагрузки P (таблица А2 приложения А).

По методу Бринелля, применяя индентор из закаленной стали, можно измерять твердость пластмасс, цветных и черных металлов и сплавов в пределах от 8 до 450 единиц НВ. Перед испытанием поверхность образца или изделия обрабатывается напильником или наждачной бумагой, чтобы она была ровной, гладкой, без дефектов.

2.1.3. Измерение твердости по методу Роквелла (ГОСТ 9013-59)

Испытание на твердость по методу Роквелла производится вдавливанием в испытуемый образец стального закаленного шарика диаметром 1,588 мм (для относительно мягких материалов, твердость которых ниже твердости закаленной стали), конуса из твердого сплава или алмазного конуса с углом при вершине 120° под действием двух нагрузок: предварительной P_0 и основной P_1 , т.е. $P = P_0 + P_1$.

За единицу твердости принимается величина, соответствующая осевому перемещению индентора на 0,002 мм.

Число твердости по Роквеллу HR является условной величиной и определяется разностью глубин, на которые переместился индентор под действием последовательно приложенных предварительной и общей нагрузок (рисунок 3).

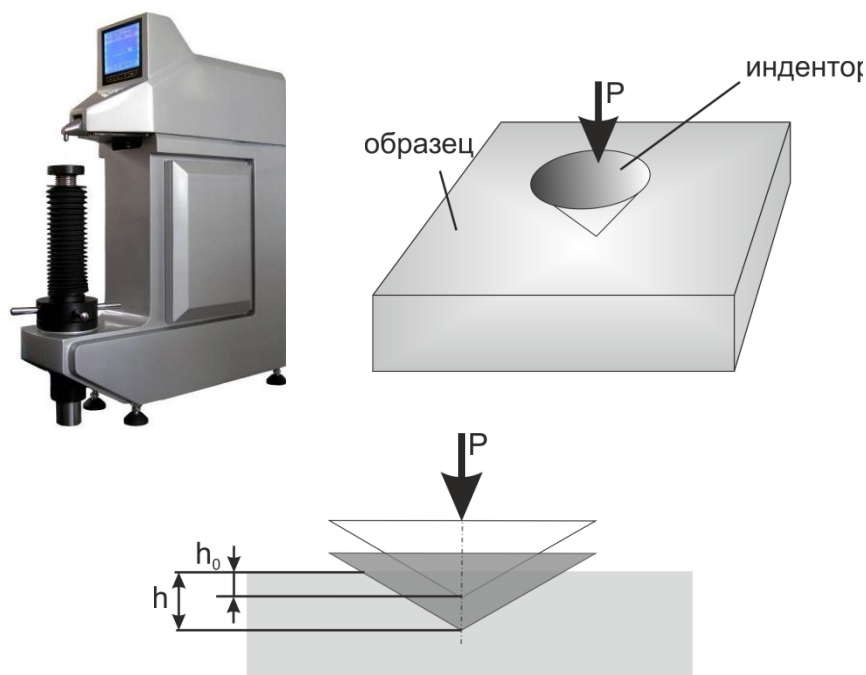


Рисунок 3 – Испытания твердости по методу Роквелла:

а) общий вид твердомера Роквелла; б) схема испытания; в) глубина внедрения конуса

Твердость вычисляется как безразмерная величина по формуле

$$HR = \frac{k - (h - h_0)}{0,002}, \quad (2)$$

где h и h_0 – величины перемещения индентора под действием соответственно предварительной ($P_0=h_0$) и общей ($P=h$) нагрузок; k – постоянная величина, равная при испытании конусом 0,2 мм, шариком 0,26 мм.

Численная величина твердости отсчитывается по шкале индикатора часового типа, имеющей 100 делений, каждое из которых соответствует углублению наконечника на 0,002 мм (2 мкм).

Циферблат индикатора прибора имеет шкалы: черные (А, С) для проведения испытаний с алмазным конусом и конусом из твердого сплава, и красную (В) для испытаний с шариковым индентором. Шкалу А применяют для испытания твердых сплавов тонкого твердого листового материала или тонкого верхнего слоя высокой твердости. Шкалу С применяют для определения твердости термически обработанной стали (закалка, отпуск). Шкала В служит для испытания металлов и сплавов средней твердости (отожженная и нормализованная сталь, чугун, цветные сплавы и др.).

В зависимости от типа индентора шарика или конуса, а также от нагрузки, при которой проводят испытания, число твердости обозначают HRB, HRC, HRA.

2.1.4. Измерение твердости алмазной пирамидой (метод Виккерса, ГОСТ 2999-75)

Испытание на твердость по методу Виккерса производят вдавливанием в испытуемый образец четырехгранной алмазной пирамиды с углом при вершине 136° , под действием нагрузок 10, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 и 1200Н. (рисунок 4).

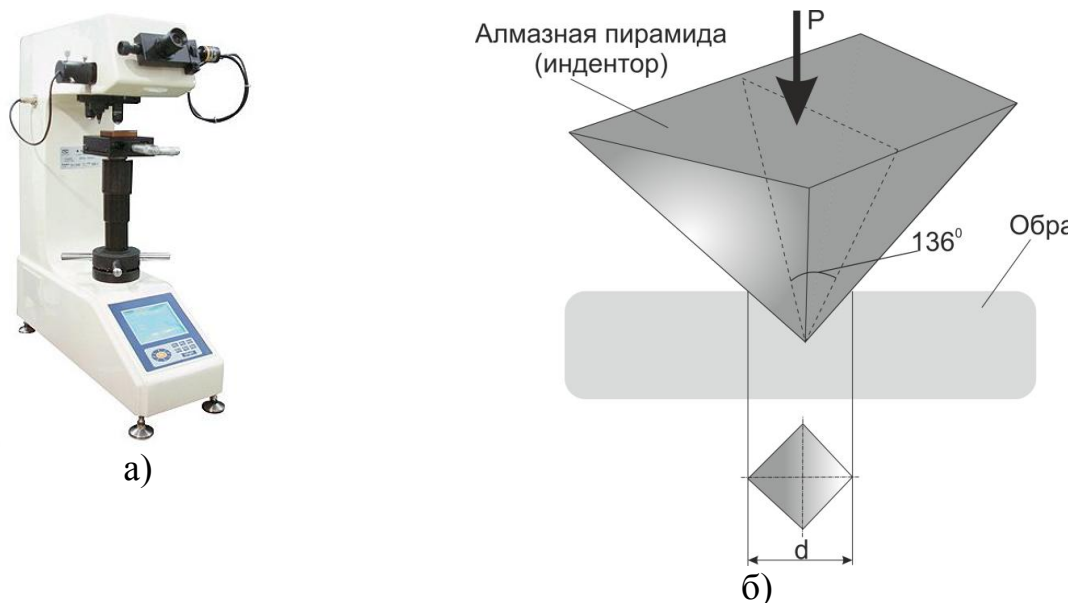


Рисунок 4 – Определение твердости по методу Виккерса:
а) общий вид твердомера; б) схема испытаний

Число твердости по Виккерсу HV определяется, как соотношение нагрузки к площади пирамидального отпечатка, т.е.

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2H}{d^2} \sin \frac{\alpha}{2} = 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad H / \text{мм}^2, \quad (3)$$

где P – нагрузка на пирамиду, Н; F – площадь отпечатка, мм^2 ; d – среднее арифметическое длин обеих диагоналей отпечатка, мм; $\alpha = 136^\circ$ – угол между противоположными гранями пирамиды.

По методу Виккерса можно замерять твердость, как мягких, так и твердых материалов.

Числа твердости по Виккерсу и Бринеллю имеют одинаковую размерность, а для материалов с твердостью до 450 ед. они совпадают.

Измерение твердости алмазной пирамидой дает более точные значения для материалов с высокой твердостью, чем измерения шариком или конусом. Величину нагрузки выбирают в зависимости от толщины образца. Продолжительность выдержки под нагрузкой составляет для черных металлов 10-15 с, а для цветных – 30 с.

Поверхность образцов должна быть тщательно отшлифована наждачной бумагой. Толщина испытуемого образца должна быть менее 1,5 диагонали отпечатка.

2.1.5. Измерение твердости динамическим вдавливанием шарика (способ Польди, ГОСТ 18661-73)

Переносной прибор Польди предназначен для приближенного определения твердости, непосредственно в цехах, заготовок и других крупных деталей, которые не могут быть испытаны на других приборах. Испытание проводится ударом молотка по бойку прибора, при этом удар передается стальному шарик-индентору 2 диаметром 10 мм, который вдавливается одновременно в поверхность испытуемого изделия 1 и эталонного образца 3, твердость которого (обозначаемая HB) – известна (рисунок 5).

Так как твердость приблизительно пропорциональны квадратам диаметров отпечатка на образце (изделии) и эталоне, а твердость эталона известна, то твердость изделия может быть определена по формуле:

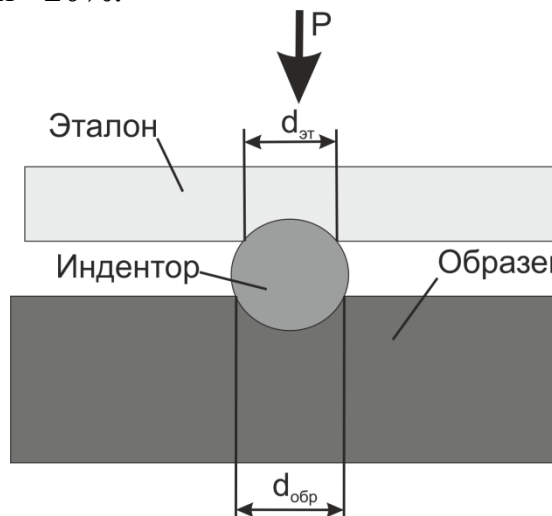
$$HB_{обр} = HB_{эт} \frac{d_{эт}^2}{d_{обр}^2}, \quad (4)$$

где $HB_{обр}$ – твердость образца (изделия) по Бринеллю, Н/мм²; $HB_{эт}$ – твердость эталона по Бринеллю, Н/мм²; $d_{обр}$ – диаметр отпечатка на образце, мм.

Точность измерения по методу Польди $\pm 20\%$.



а)



б)

Рисунок 5 – Схема испытания твердости по методу Польди:
а) общий твердомера; б) схема испытания

2.1.6. Измерение твердости падающим бойком (метод Шора, ГОСТ 23273-78)

Испытание на твердость этим методом определяется высотой отскока бойка, свободно падающего на испытуемую деталь. При падении с определенной высоты энергия бойка расходуется в основном на работу

пластической деформации в месте удара и на упругую деформацию – отскок бойка после удара. Причем, чем тверже материал, тем выше его упругость, а, следовательно, на большую высоту подскочет боек после удара.

Прибор ШРС-3 работающий по методу упругой отдачи, состоит из стального бойка 1, на конце которого помещен колпачек с алмазом в форме конуса со сферическим закруглением на конце 2 и вертикальной трубки 3 (рисунок 6).

Число твердости H в условных единицах фиксируется стрелочным индикатором на линейке прибора. Шкала имеет 140 делений для оценки высоты отскока, причем 100 единиц соответствуют твердости закаленной на мартенсит инструментальной стали. Число твердости по методу Шора является величиной условной и обозначается HSD .

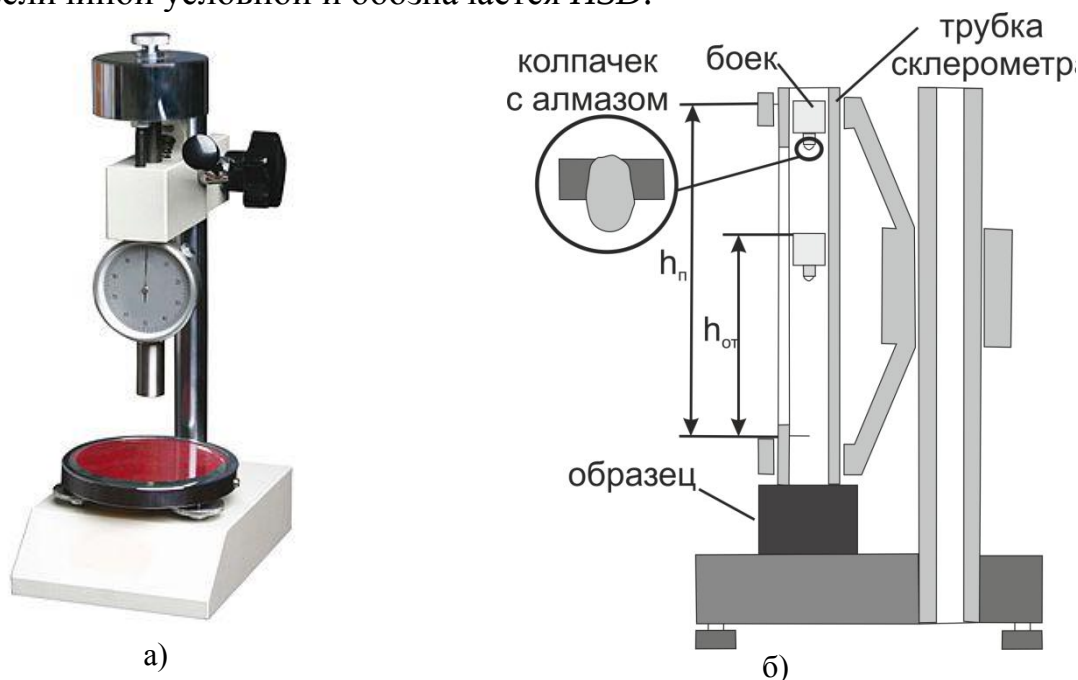


Рисунок 6 – Схема испытания твердости падающим бойком

2.1.7. Измерение микротвердости (ГОСТ 9450-76)

Метод измерения микротвердости предназначен для определения твердости отдельных зерен, фаз и структурных составляющих сплава. Кроме того, микротвердость измеряют для контроля качества материала очень малых по размерам деталей (деталей ручных часов, лент, фольги, проволоки), а также хрупких неметаллических материалов (абразивов, минералов, стекла), полимеров и др.

При определении микротвердости четырехгранная алмазная пирамида (с углом между противоположными гранями при вершине 136^0) вдавливается в испытуемый материал под очень небольшой нагрузкой от 5 до 500 гс.

Принцип измерения твердости такой же, как по Виккерсу, только пирамида отличается более высокой точностью изготовления, а величина диагонали отпечатка в микронах измеряется с помощью микроскопа и окулярмикрометра. Числа твердости обозначаются символом H_{μ} , с указанием в индексе величины нагрузки в граммах (например, $H_{50} = 220$ означает, что число микротвердости 220 получено при нагрузке в 50 г). Вместо расчета числа твердости по формуле Виккерса пользуются готовыми таблицами, рассчитанными для определенных нагрузок. Соотношения между значениями твердости, измеренной различными методами, представлены в таблице 4 приложения.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, ИНСТРУМЕНТ

3.1. 3.1. Приборы Бринелля, Роквелла, и стационарный универсальный твердомер HBRV-187.5.

03.2. Отсчетный микроскоп для измерения отпечатков.

3.3. Образцы стали нормализованной, закаленной и отпущенной, цветных сплавов и чугуна.

3.4. Наждачная бумага, напильники.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Студенты делятся на подгруппы, которые последовательно знакомятся с устройством приборов и методами испытания твердости.

4.2. Производится испытание твердости на приборах Бринелля образцов из цветных сплавов (индентор-шарик диаметром 5 мм, нагрузка 2500Н) и чугуна (индентор-шарик диаметром 10 мм, нагрузка 30000Н). Измеряются диаметры отпечатка, и находится число твердости по таблице (таблица 2 приложения). Продублировать испытания на стационарном универсальном твердомере HBRV-187.5.

4.3. Производятся испытания твердости на приборе Роквелла образцов из отожженной стали (индентор-шарик диаметром 1,58 мм, нагрузки: предварительная 100 Н, общая 1000 Н), закаленной и отпущенной стали (индентор-конус из твердого сплава, нагрузки: предварительная 100 Н, общая 1500 Н). Продублировать испытания на стационарном универсальном твердомере HBRV-187.5.

4.4. Полученные числа твердости вместе с обозначением твердости и характеристикой приборов записываются в таблицу 1 (таблицу экспериментальных данных)

4.5. Производится перевод значений твердости по Роквеллу в числа твердости по Бринеллю (таблица А3 приложения А) и записываются в соответствующую графу таблицы экспериментальных данных.

Таблица 1 – Таблица экспериментальных данных

Тип прибора	Обозначение твердости	Вид индентора	Нагрузки		Испытуемый материал	Результаты измерений		
			Предварительная $P, Н$	Общая $P, Н$		Показания индикатора	Диаметр отпечатка, мм	Расчетная и переводная твердость (ед. HB)
ТШ2	HB	Шарик $\varnothing 10$ мм		30000	Серый чугун	-		
ТШ2	HB	Шарик $\varnothing 5$ мм		2500	Бронза	-		
ТК2	HRB	Шарик $\varnothing 1,58$ мм	100	1000	Сталь отож.		-	
ТК2	HRC	Конус	100	1500	Сталь закал.		-	

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 5.1. Наименование работы.
- 5.2. Цель работы
- 5.3. Таблица Экспериментальных данных (таблица 1).
- 5.4. Схемы испытаний (рисунки 2, 3, 4, 5)
- 5.5. Анализ результатов испытаний твердости заданных материалов.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Что такое твердость?
- 6.2. Твердость каких материалов можно измерить методом Бринеля?
- 6.3. Какой индентор используется на приборе Бринеля?
- 6.4. Как обозначается твердость по методу Бринеля?
- 6.5. Твердость каких материалов можно измерить методом Роквелла?
- 6.6. Какой индентор используется на приборе Роквелла?
- 6.7. Как обозначается твердость по методу Роквелла
- 6.8. В каких случаях используется замер твердости по методу Виккерса?
- 6.9. Какой индентор используется на приборе Виккерса?
- 6.10. Как обозначается твердость по методу Виккерса?
- 6.11. В каких случаях используется замер твердости по методу Шора?
- 6.12. Как обозначается твердость по методу Шора?
- 6.13. Что обозначает надпись $H_{50} = 220$?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение характеристик механических свойств конструкционных материалов при статических нагрузках.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Для обеспечения надежности и долговечности работы деталей в узлах механизмов, машин и конструкций, применяемый конструкционный материал должен обладать комплексом определенных свойств, важнейшими из которых являются прочность и пластичность материала.

Прочность – это способность материала сопротивляться пластической деформации и разрушению под действием статических и динамических нагрузок.

Пластичность – это способность материала изменять свою форму и размеры под действием приложенных механических нагрузок, т.е. пластически деформироваться.

Для определения этих свойств применяют различные методы испытаний материалов по методикам согласно ГОСТ. При этом условия создания напряженного состояния материала во время испытания должны по возможности приближаться к условиям работы заданной детали.

Статические испытания на растяжение (ГОСТ 1497-84), сжатие, изгиб, кручение и срез проводятся при плавном и постепенно возрастающем нагружении образца вплоть до его разрушения. При этом в любой момент можно с достаточной точностью при помощи силоизмерительного устройства испытательной машины определить величину усилия, приложенного к образцу, а при помощи тензометров измерить величину деформации образца.

Наиболее часто проводят испытания материалов на разрыв при растяжении на специальных разрывных машинах МР-0,05, МР-0,5 или гидравлических прессах.

Испытуемый образец первоначальной длины l_0 прямоугольного или круглого сечения F_0 с головками на концах (рисунок 1а) закрепляется в специальных зажимах машины или пресса и подвергается плавно возрастающей нагрузке вплоть до разрушения. В процессе испытания образец удлиняется до l_k , образуется утонение поперечного сечения до F_k (рисунок 1б).

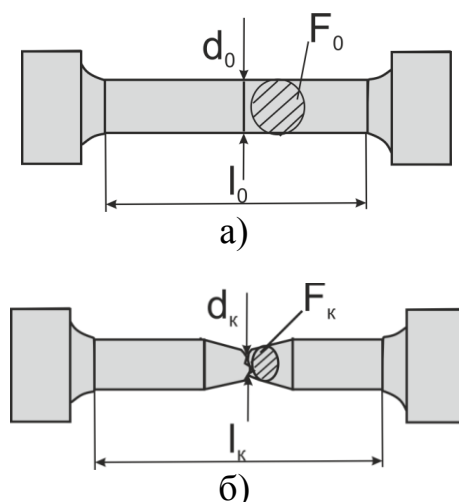


Рисунок 1 – Схема образца до (а) и после (б) испытания на разрыв при растяжении

При этом на диаграммном приборе, которым обычно снабжены испытательные машины, автоматически вычерчивается кривая, показывающая функциональную зависимость между силой, действующей на образец P и его удлинением (диаграмма растяжения).

На рисунке 2 представлены типовые диаграммы растяжения различных материалов. Диаграмма с постепенным переходом из упругой в пластическую область (рисунок 2, а) свойственна большинству металлов в пластичном состоянии (легированная сталь, медь, бронза и т.д.)

Диаграмма со скачкообразным переходом в пластическую область в виде четко обозначенной «площадки текучести» (рисунок 2б) свойственна некоторым металлам. К таким металлам можно отнести мягкую отожженную углеродистую сталь, а также некоторые отожженные марганцовистые и алюминиевые бронзы.

На рисунке 2в дана диаграмма растяжения хрупких металлов. Хрупкие материалы разрушаются при малых остаточных деформациях. К хрупким материалам можно отнести закаленную и не отпущенную сталь, серый чугун, стекло, бетон и др.

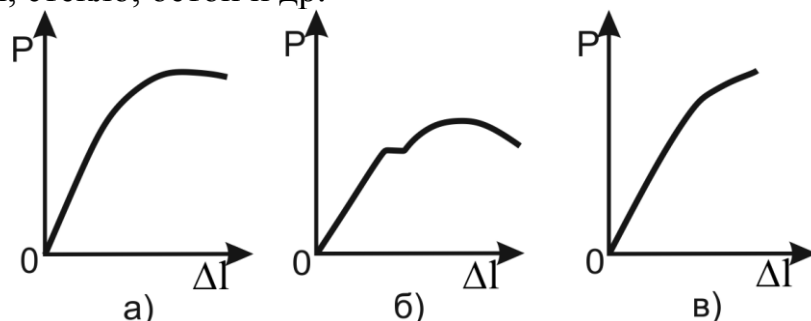


Рисунок 2 - Диаграммы растяжения различных материалов:

- а) для большинства металлов в пластичном состоянии с постепенным переходом из упругой в пластическую область;
- б) для некоторых металлов в пластичном состоянии со скачкообразным переходом в пластическую область;
- в) для хрупких металлов

Характерные участки и точки диаграммы растяжения показаны на рисунке 3.

По оси абсцисс откладываются абсолютные удлинения Δl образца, а по оси ординат - значение растягивающей силы P . На первом участке диаграммы $0 - P_{пр}$ существует прямолинейная зависимость между силой и удлинением, что отражает закон Гука. Это участок упругой деформации, который характеризует жесткость материала. Модуль упругости E (модуль Юнга) равен численному значению тангенса угла наклона прямолинейного участка диаграммы.

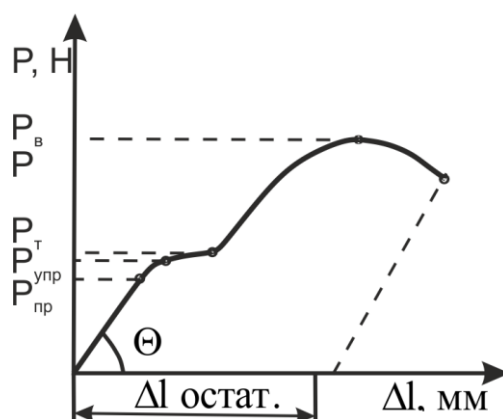


Рисунок 3 – Диаграмма растяжения «нагрузка – деформация» для пластичного материала

При дальнейшем увеличении силы за точкой $P_{пр}$ прямолинейная зависимость между P и Δl нарушается из-за упругих несовершенств материала, связанных с дефектами решетки. За точкой $P_{пр}$ находится точка $P_{упр}$, где заканчивается участок упругой деформации.

За точкой $P_{упр}$ возникают заметные остаточные деформации, возникает явление текучести образца. На этом участке происходит рост деформации без заметного увеличения нагрузки. Величину нагрузки, соответствующей площадке текучести, обозначают P_m .

При увеличении нагрузки сверх P_m при растяжении в результате сильной деформации происходит упрочнение материала и сопротивление деформации увеличивается, поэтому за участком текучести наблюдается подъем кривой растяжения. Наибольшее значение нагрузки, предшествующей разрушению образца, обозначается P_B .

В момент, соответствующий нагрузке P_B , появляется заметное местное сужение образца (шейка). Если до этого момента образец имел цилиндрическую форму, то теперь растяжение образца сосредотачивается в области шейки.

Участку $P_B - P_K$ соответствует быстрое уменьшение сечения шейки, вследствие этого растягивающая сила уменьшается. При дальнейшей

деформации шейка сужается, и образец разрывается по наименьшему сечению F_k .

Любая механическая нагрузка, действующая на материал, вызывает в нем напряжение σ , которое вычисляется по формуле

$$\sigma = P / F \text{ [МПа]},$$

где P – действующая нагрузка, Н; F – площадь сечения образца, мм^2 .

Диаграмма «Нагрузка – удлинение» просто преобразуется в диаграмму «Напряжение – деформация» ($\sigma = P / F_0$; $\delta = \Delta l / l_0$), где F_0 и l_0 – площадь поперечного сечения и длина образца перед испытанием). Диаграмма «Напряжение – деформация» изображена на рисунке 4, на которой указаны характеристики статической прочности.

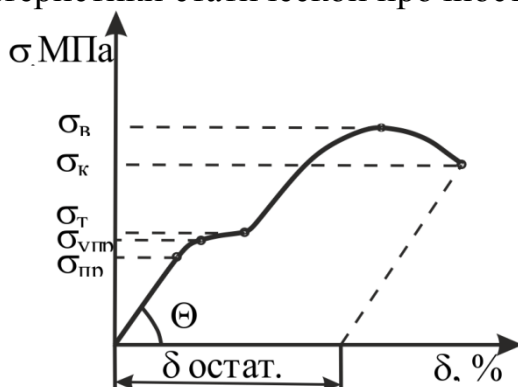


Рисунок 4 – Диаграмма «Напряжение – деформация»

Характеристики статической прочности:

Предел пропорциональности σ_{np} – максимальное напряжение в материале, при котором сохраняется прямая пропорциональность между нагрузкой и удлинением.

$$\sigma_{np} = P_{np} / F_0, \quad (1)$$

где P_{np} – нагрузка при пределе пропорциональности, а F_0 – площадь сечения образца до испытания.

Предел упругости $\sigma_{упр}$ (физический) – максимальное напряжение в материале, при котором отсутствует остаточная деформация после снятия нагрузки

$$\sigma_{упр} = P_{упр} / F_0, \quad (2),$$

где $P_{упр}$ – нагрузка при пределе упругости, а F_0 – площадь сечения образца до испытания.

Реальные металлы не имеют физического предела упругости. По ГОСТу предел упругости задается и обозначается σ_{005} .

Условный предел упругости σ_{005} – максимальное напряжение в материале, при котором после снятия растягивающей нагрузки образец испытывает удлинение $\delta = 0,05 \%$.

Предел текучести σ_m (физический) – минимальное напряжение в материале, при котором образец деформируется без заметного увеличения растягивающей нагрузки

$$\sigma_T = P_T / F_0 , \quad (3)$$

где P_m – нагрузка при пределе текучести, а F_0 – площадь сечения образца до испытания.

Текучестью обладают небольшое количество материалов, у которых имеется «площадка текучести», поэтому для большинства материалов, не имеющих этой площадки, введено понятие условного предела текучести σ_{02} .

Условный предел текучести σ_{02} – минимальное напряжение, при котором без заметного увеличения растягивающей нагрузки образец испытывает удлинение $\delta = 0,2\%$.

Условный предел прочности (или временное сопротивление разрыву) σ_b – напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, выдерживаемой образцом в процессе испытания

$$\sigma_b = P_b / F_0 , \quad (4)$$

где P_b – максимальная нагрузка, которую может выдержать материал, не разрушаясь, а F_0 – площадь сечения образца до испытания.

Истинный предел прочности (истинное сопротивление разрыву) – напряжение в момент разрыва σ_k .

$$\sigma_k = P_k / F_k , \quad (5)$$

где P_k – усилие разрыва образца, а F_k – действительная площадь сечения образца в момент разрыва.

При испытаниях на растяжение можно также определить характеристики пластичности материала.

Характеристики пластичности:

К характеристикам пластичности относятся относительное удлинение δ (дельта) и относительное сужение Ψ (пси).

Относительное удлинение δ (дельта) – это отношение приращения расчетной длины образца после разрыва $\Delta l_{\text{ост}}$ (рисунок 3) к первоначальной длине образца l_0 в процентах.

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% , \quad (6)$$

где l_0 и l_k – длины образцов до и после растяжения соответственно.

Относительное сужение Ψ (пси) – это отношение разности начальной площади и минимальной площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади поперечного сечения образца

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\% , \quad (7)$$

где F_0 и F_k – площади поперечного сечения образцов до и после разрыва.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ

- 3.1. Образцы для испытания на разрыв.
- 3.2. Штангенциркуль.
- 3.3. Гидравлический пресс.
- 3.4. Калькулятор.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 4.1. Изучить приведенный теоретический раздел.
- 4.2. Зарисовать рисунки 1 и 2.
- 4.3. Подготовить в тетради таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний на механические свойства

Материал	d_0 , мм	l_0 , мм	$F_{\text{поршня}}$, мм ²	$p_{\text{ман}}$, Н/мм ²	d_k , мм	l_k , мм	F_0 , мм ²	F_k , мм ²	P_b , Н	σ_b , МПа	δ , %	Ψ , %
			2640									

4.4. Получить образцы и проанализировать методику испытаний и технику безопасности при работе на разрывной машине МИМ-5ЛР-017.

4.5 Запустить на ПЭВМ программу обработки информации «МиМ»

4.6. Повернуть ручку регулировки скорости на максимум (по ходу часовой стрелки до упора) (за 20 мин до начала измерений).

4.7. Включить насосный агрегат и тумблер «Питание системы управления»

4.8. Установить в верхнюю и нижнюю опорные вилки переходники со сферическими шарнирами, зафиксировав их с помощью пальцев.

4.9. При помощи штангенциркуля измерить длину l_0 и диаметр d_0 образцов, вычислить площадь поперечного сечения F_0 и занести результаты измерений в таблицу 1.

4.10. Навернуть на резьбовые головки образца соответствующие резьбовые захваты (на всю длину резьбовых концов).

4.11. С помощью ручного управления переместить подвижную траверсу в позицию, обеспечивающую возможность установки образца с захватами в переходники с помощью пальцев и установить образец.

4.12. Установить:

4.12.01. Регулятор скорости хода подвижного захвата на значение от 1,5 до 2.

4.12.02. Регулятор нагрузки на минимальное значение, вывернув ручку против хода часовой стрелки. Вручную сдвинуть подвижный захват вниз, до его остановки.

4.12.03. Регулятор скорости хода подвижного захвата на значение от 1,2 до 1,4.

4.12.04. Регулятор нагрузки на максимальное значение, полностью завернув ручку по ходу часовой стрелки.

4.13. В программе выбрать пункт меню «Диаграммы деформирования», в окне установить флажок «Испытание на растяжение». Ввести геометрические характеристики образца: F_0 , l_0 .

4.14. Нажать кнопку «Начать испытание», после чего начнется движение подвижного захвата и нагружение образца.

4.15. После разрушения образца, в случае, если не произойдет автоматической остановки захвата, необходимо нажать кнопку «Завершить испытание».

4.16. Повернуть ручку регулировки скорости на максимальную скорость (по ходу часовой стрелки до упора).

4.17. Выключить насосный агрегат.

4.18. Сохранить диаграммы и данные в файлы, для написания отчета.

4.19. Снять резьбовые захваты и вывернуть части образца и снять переходники со сферическими шарнирами. Измерить d_k и l_k .

4.20. Сделать вычисления

4.20.1. Площади поперечного сечения образца до и после испытания:

$$F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}, \text{ мм}^2; \quad F_k = \frac{\pi d_k^2}{4}, \text{ мм}^2$$

где d_0 и d_k – диаметры образцов до и после разрыва.

4.20.2. Максимальную нагрузку, которую выдерживает материал в процессе испытания:

$$P_v = p_{\text{ман}} \cdot F_{\text{порш.}}, \text{ Н}$$

4.20.3. Предел прочности σ_v , относительное удлинение δ и относительное сужение Ψ по соответствующим формулам (4), (6), (7). Числовые вычисления производить в тетради, результаты расчетов занести в таблицу 1.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Наименование работы.

5.2. Цель работы.

5.3. Таблица экспериментальных данных (таблица 1).

5.4. Рисунок 1 – Схема образца до (а) и после испытания (б) образца на разрыв при растяжении.

5.5. Рисунок 2 – Диаграмма растяжения «нагрузка – деформация» для пластичного материала.

5.6. Расчет максимального усилия P_v , предела прочности σ_v , относительного удлинения δ и относительного сужения Ψ .

5.7. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Что такое статические и динамические нагрузки?

6.2. Перечислите основные механические свойства конструкционных материалов.

6.3. Дайте определение статической прочности.

6.4. Назовите характеристики статической прочности.

6.5. Что такое временное сопротивление на разрыв или условный предел прочности и какова его размерность?

6.6. Что такое предел текучести и какова его размерность?

6.7. Что обозначает $\sigma_{0.2}$ и какова размерность этой характеристики?

6.8. Какие испытания проводятся для выявления характеристик статической прочности?

6.9. Что такое пластичность?

6.10. Назовите характеристики пластичности и приведите их размерности.

Лабораторная работа № 3

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- 1.1. Ознакомиться с основными методами изучения структуры металла.
- 1.2. Приобрести практические навыки исследования макро- и микроструктуры стали.
- 1.3. Закрепить лекционный материал по влиянию структуры на свойства металла.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Исследование структуры металла имеет большое значение при изучении курса материаловедения, поскольку уровень механических свойств любого материала определяется его внутренним строением.

В промышленных условиях для контроля качества металла, в том числе для уточнения технологических параметров литья,ковки, термической обработки, наиболее часто используют исследование макро- и микроструктуры.

Макроструктуру исследуют (ГОСТ 10243-75) путем осмотра невооруженным глазом либо при помощи лупы (при увеличении до 20...50 раз) образца любых размеров. Изучаемый образец обычно представляют из себя плиту, поверхность которой подвергается шлифованию и химическому травлению (макротемплет). Иногда при исследовании макроструктуры рассматривают поверхность металла в изломе. Контроль макроструктуры позволяет выявить объекты размером более 0,2 ... 0,5 мм: зерна в литом металле, дефекты литого металла, такие как газовые пузыри, трещины, скопления примесей и т.д. Плакат «Схемы макроструктур»

Изучение **микроструктуры** (ГОСТ 5639-82) проводят обычно с помощью оптических микроскопов при увеличении 100 ... 1500 раз (чаще 100 ... 300). В этом случае выявляются объекты размерами крупнее 0,5 ... 1 мкм: границы зерен деформированного металла, фазы и структурные составляющие сплавов, неметаллические фазы типа карбидов, сульфидов, оксидов и т.п. В этом случае образцы исследуемого материала (микрошлифы) имеют сравнительно небольшие размеры (площадью порядка 1 ... 5 см²). Изучаемая поверхность после шлифования подвергается полировке, а при необходимости более четкого выявления отдельных структурных составляющих дополнительно протравливается специальными химическими реактивами.

Для изучения более тонких элементов структуры (**атомно-кристаллической**) применяют электронную микроскопию (при исследовании дислокаций, границ блоков и других объектов размерами порядка $10^{-2} \dots 10^{-4}$ мкм, при увеличении в десятки и сотни тысяч раз), **рентгеноструктурный анализ** (для определения типа и параметров элементарной кристаллической решетки с точностью до долей ангстрема, $1\text{ \AA} = 10^{-10} \text{ мкм}$).

Влияние количества дислокаций на прочность металла характеризуется кривой Одингга - Бочвара, пример которой применительно к железу показан на рисунке 1.

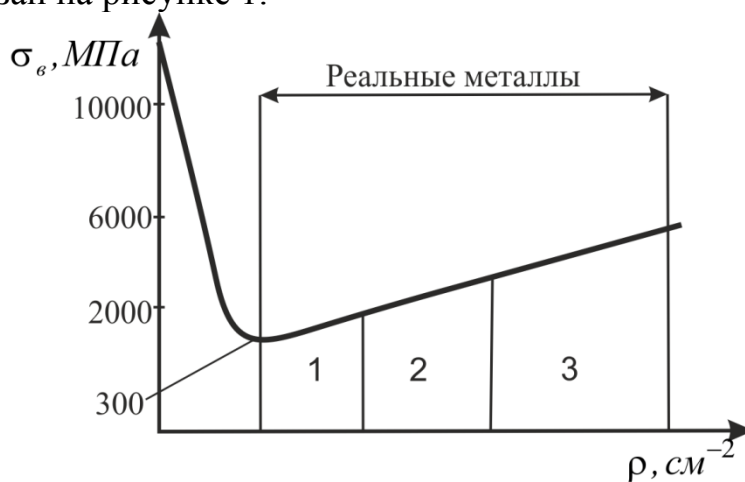


Рисунок 1 – Влияние плотности дислокаций на прочность железа

Основными способами увеличения количества дислокаций в реальных металлах являются:

- 1 – холодная деформация (наклеп),
- 2 – легирование (замена чистых металлов сплавами),
- 3 – неравновесная термообработка (закалка).

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ, НАГЛЯДНЫЕ ПОСОБИЯ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- 3.1. Продольные макротемплеты обычных и электрошлаковых слитков.
- 3.2. Наглядное пособие «Продольный макротемплет хромоникелевой стали»
- 3.3. Альбомы «Дефекты макроструктуры литого и деформированного металла»
- 3.4. Плакат «Схемы макроструктур продольных макротемплетов обычного (а) и электрошлакового (б) слитков стали 40Х»
- 3.5. Микроскопы металлографический 4ХВ.
- 3.6. Микрошлифы крупнозернистой (2...5 балла) и мелкозернистой (6...10 балла) стали.

3.7. Эталонные шкалы для оценки величины зерна аустенита по ГОСТ 5936-65.

3.8. Наглядное пособие «Дислокационная структура стали 45Г17Ю3».

3.9. Макеты элементарных кристаллических решеток α и γ - железа.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед выполнением работы студенты разбиваются на группы по 3...5 человек.

4.1. Изучить настоящие методические указания.

4.2. **Исследовать макроструктуру:**

4.2.1. Рассмотреть и заэскизировать продольные макротемплеты обычного и электрошлакового слитков, используя наглядные пособия 3.1. и 3.4.

4.2.2. Сделать описание заэскизированных макротемплетов, указав ориентировочные размеры зерен в каждой зоне и сопоставив оба слитка по однородности структуры и уровню свойств.

4.2.3. Рассмотреть макротемплет хромоникелевой стали, обращая внимание на наличие зон с различной структурой (величина и форма зерен, присутствие пустот и участков повышенной травимости).

4.3. **Исследовать микроструктуру:**

4.3.1. Под руководством преподавателя ознакомиться с устройством и правилами работы с оптическим металлографическим микроскопом 4ХВ.

4.3.2. С помощью оптического микроскопа и эталонных шкал (п.3.7.) определить величину зерна аустенита (номер балла) на 2-х микрошлифах с крупно и мелкозернистой структурой (п.3.6.).

4.3.3. Заэскизировать наблюдаемые микроструктуры в квадратах 40х40(мм).

4.3.4. Указать ориентировочные размеры зерен, для чего подсчитать количество зерен, приходящееся на 1мм^2 площади образца с крупнозернистой и мелкозернистой структурой по формуле:

$$n = 2^{N+3},$$

где n – количество зерен, штук/ мм^2 , N – номер балла.

4.3.5. Описать влияние размеров зерен на свойства стали.

4.4. **Исследовать тонкую атомно-кристаллическую структуру:**

4.4.1. По наглядному пособию 3.8. заэскизироовать внешний вид дислокаций в стали, описав способ выявления дислокационной структуры.

4.4.2. Зарисовать график влияния плотности дислокаций на прочность железа (кривая Одингга-Бочвара)

4.4.3. По наглядным пособиям 3.9. заэскизировать элементарные кристаллические решетки α и γ - железа. Указать способ определения типа

атомно-кристаллической решетки, температурные области существования различных модификаций железа, влияние типа решетки на свойства.

4.5. По материалам работы оформить индивидуальный отчет.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Наименование работы.

5.2. Цель работы.

5.3. Исследование макроструктуры:

5.3.1. Рисунок 1 – Продольные макротемплеты обычного (а) и электрошлакового (б) слитков стали 40Х

5.3.2. Описание заэскизированных макротемплетов, с указанием ориентировочных размеров зерен в каждой зоне и сопоставлением обоих слитков по однородности структуры и уровню свойств

5.4. Исследование микроструктуры:

5.4.1. Рисунок 2 - Эскизы микроструктур крупнозернистого и мелкозернистого металла (в квадратах 40х40(мм).).

5.4.2. Расчет количества зерен аустенита на 1мм^2 площади образца для крупнозернистого (n_1) и мелкозернистого (n_2) металла.

5.4.3. Описание влияния размеров зерен на свойства стали.

5.5. Исследование тонкой атомно-кристаллической структуры:

5.5.1. Рисунок 3 - Внешний вид дислокаций в стали.

5.5.2. Описание способа выявления дислокационной структуры.

5.5.3. Рисунок 4 - График влияния плотности дислокаций на прочность железа (кривая Одинга-Бочвара).

5.5.4. Описание основных способов увеличения количества дислокаций в реальных металлах.

5.5.5. Рисунок 5 - Элементарные кристаллические решетки α и γ - Fe

5.5.6. Описание способа определения типа атомно-кристаллической решетки, температурные области существования различных модификаций железа, влияние типа решетки на свойства металла.

5.6. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Что такое макроструктура и как она выявляется?

6.2. Что служит образцами для выявления макроструктуры?

6.3. Что можно выявить макроструктурным анализом?

6.4. Что такое микроструктура и как она выявляется?

6.5. Что служит образцами для выявления микроструктуры?

6.6. Что можно выявить микроструктурным анализом?

6.7. Как влияет величина зерна на свойства металлов?

6.8. Какие приборы необходимы для выявления тонкой атомно-кристаллической структуры?

6.9. Что такое дислокации и как их можно выявить?

6.10. Какое влияние оказывают дислокации на свойства реальных металлов?

6.11. Назовите основные способы увеличения плотности дислокаций.

6.12. Как можно выявить тип атомно-кристаллической решетки?

6.13. Что такое температурный полиморфизм?

6.14. Какие вы знаете полиморфные металлы?

Лабораторная работа № 4

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование влияния степени обжата и температуры рекристаллизации на структуру и свойства металлов и сплавов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

В результате пластической деформации происходит изменение не только формы и размеров изделия, но и изменение структуры металла, которая приводит к изменению механических свойств.

При деформации металла в холодном состоянии образуется наклеп – упрочнение металла, которое объясняется увеличением числа дефектов кристаллического строения (дислокаций, межузельных атомов).

Влияние количества дислокаций на прочность металла характеризуется кривой Одингга - Бочвара, пример которой применительно к железу показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Влияние плотности дислокаций на прочность металла

Основными способами увеличения количества дислокаций в реальных металлах являются:

- 1 - холодная деформация (наклеп),
- 2 - легирование (замена чистых металлов сплавами),
- 3 - неравновесная термообработка (закалка).

Все дефекты кристаллического строения повышают сопротивление деформации и уменьшают пластичность.

Наклеп широко используется в промышленности для упрочнения термически не упрочняемых сплавов. В то же время снижение

пластичности, возникающее при холодном деформировании металла, создает технологические трудности для дальнейшей обработки (резанием, давлением).

К недостаткам наклепа можно также отнести ухудшение коррозионной стойкости металла и анизотропию свойств (разные свойства в разном направлении).

Для снятия наклепа металл подвергают термической обработке - рекристаллизационному отжигу. Рекристаллизационный отжиг – это термическая обработка холоднодеформированного металла или сплава, при которой главным процессом является рекристаллизация, в результате которой восстанавливается структура и свойства наклепанного металла.

$$t_{p.o.} = (T_{рек} - 273^{\circ}) + (100..150)^{\circ}C,$$

Где $t_{p.o.}$ – оптимальная температура рекристаллизационного отжига, $^{\circ}C$;
 $T_{рек.}$ – абсолютная температура начала рекристаллизации, выраженная в $^{\circ}K$.

Температура начала рекристаллизации - это минимальная температура, при которой происходит зарождение новых равноосных зерен на границе текстуры.

Эта температура определяется двумя способами:

1 Способ – аналитический (по формуле)

$$T_{рек} = aT_{пл},$$

где $T_{пл}$ – абсолютная температура плавления, $^{\circ}K$; a - коэффициент, учитывающий чистоту металла:

для технически чистых металлов $a = 0,4$,

для сплавов $a = 0,6 - 0,8$.

2 Способ – графический – по кривым изменения механических свойств.

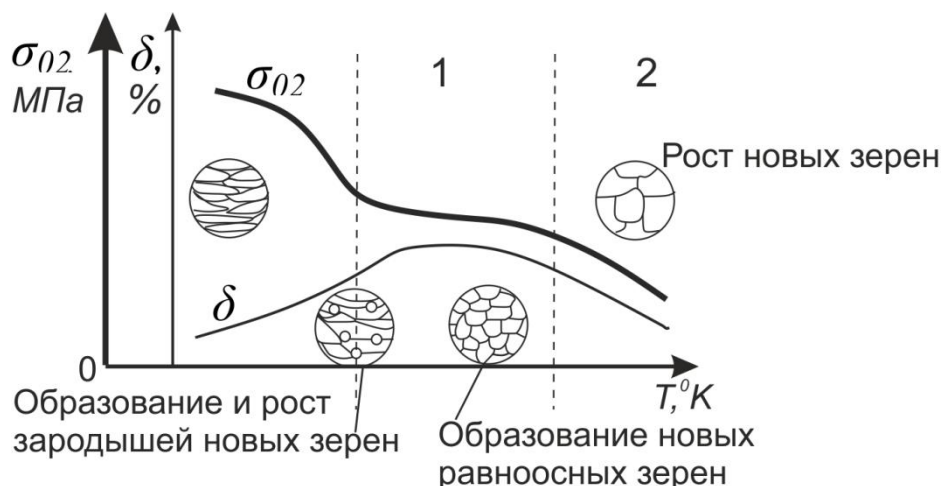


Рисунок 2 – Влияние нагрева на механические свойства и структуру металла, упрочненного деформацией

Перпендикуляр, касательный к перегибу кривых и есть температура рекристаллизации $T_{рек.}$ За температурой рекристаллизации наблюдается два участка кривых:

I участок – первичная рекристаллизация, которая наблюдается при небольшом перегреве над T_p . на этом участке металл имеет мелкое зерно.

II участок – собирательная рекристаллизация, которая наблюдается при большом перегреве над T_p . Она примечательна крупнозернистой структурой, которая образуется за счет поедания мелких зерен друг другом. Следствием этого является ухудшение свойств стали.

Рекристаллизационный отжиг часто применяют как межоперационную термическую обработку при холодной прокатке, волочении, штамповке и т.д.

В зависимости от соотношения температур деформации и рекристаллизации различают холодную и горячую деформации.

$T_{деф.} < T_{рек.}$ – холодная пластическая деформация;

$T_{деф.} > T_{рек.}$ – горячая пластическая деформация.

В результате горячей пластической деформации не происходит упрочнение металла, т.к. оно устраняется рекристаллизацией, которая происходит после окончания горячей деформации.

3. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ

3.1. Лабораторная клеть прокатного стана.

3.2. Стационарный универсальный твердомер HBRV-187.5.

3.3. Муфельные электрические печи.

3.4. Образцы из алюминиевой и медной проволоки.

3.5. Вспомогательные инструменты.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Изучить приведенный теоретический раздел.

4.2. Провести холодную прокатку алюминиевой и медной проволоки, для чего:

4.2.1. Замерить поперечные размеры алюминиевой и медной проволоки.

4.2.2. На твердомере HBRV-187.5 замерить твердость алюминиевой и медной проволоки в исходном состоянии.

4.2.3. Прокатать алюминиевую и медную проволоку в прокатном стане в первом ручье.

4.2.4. Замерить поперечные размеры проволоки после первой прокатки.

4.2.5. Замерить твердость алюминиевой и медной проволоки на твердомере HBRV-187.5 после первой прокатки.

4.2.6. Прокатать алюминиевую и медную проволоку во втором ручье.

4.2.7. Замерить поперечные размеры проволоки после второй прокатки

4.2.8. Замерить твердость алюминиевой и медной проволоки после второй прокатки на твердомере HBRV-187.5.

4.2.9. Расчетным путем определить степень деформации (обжатия) проволоки после каждой прокатки по формуле

$$E = \frac{H_0 - H_i}{H_0} \times 100\%,$$

где H_0 – поперечный размер (диаметр проволоки) в исходном состоянии, мм; H_i – поперечный размер проволоки после i -ой операции, мм.

4.2.10. Заполнить таблицу 1 по результатам замеров.

4.3. Рассчитать температуру рекристаллизационного отжига для алюминия и меди. Результаты занести в таблицу 1.

4.4. Провести рекристаллизационный отжиг наклепанного материала при расчетных температурах с последующим охлаждением на воздухе.

4.4.1. Провести замер твердости на твердомере HBRV-187.5 образцов после рекристаллизационного отжига. Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Значения экспериментальных данных

Материал (температура плавления $^{\circ}\text{C}$)	Состояние	Толщина, мм	Степень деформации E , %	Твердость HRB
1. Al (660 $^{\circ}\text{C}$)	Исходное			
	Деформация 1			
	Деформация 2			
	Отожженное при t , $^{\circ}\text{C}$			
2. Cu (1083 $^{\circ}\text{C}$)	Исходное			
	Деформация 1			
	Деформация 2			
	Отожженное при t , $^{\circ}\text{C}$			

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

5.1. Наименование работы.

5.2. Цель работы.

5.3. Таблица 1 – Значения экспериментальных данных.

5.4. Графики зависимости $HRB = f(E)$ для алюминиевой и медной проволоки.

5.5. Выводы по работе.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Что такое наклеп и какова причина его возникновения?
- 6.2. Назовите положительные и отрицательные качества наклепанного металла.
- 6.3. Как меняется зеренная и тонкая атомно-кристаллическая структура при наклепе?
- 6.4. Как восстановить структуру и свойства, которые металл имел до возникновения наклепа?
- 6.5. Что такое температура рекристаллизации, и какое практическое значение она имеет?
- 6.6. Как определяется температура рекристаллизации?
- 6.7. Происходит ли упрочнение металла при горячей пластической деформации?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов / Л.В. Тарасенко, С.А. Пахомова, М.В. Унчикова, С.А. Герасимов; Под ред. Л.В. Тарасенко. - М.: НИЦ Инфра-М, 2012. - 475 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004868-0 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/25740>

2. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие / И.С. Давыдова, Е.Л. Максина. - 2-е изд. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 228 с.: 70х100 1/32. - (ВПО: Бакалавриат). (обложка, карм. формат) ISBN 978-5-369-01222-2 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/413652>

3. Материаловедение и технология конструкционных материалов и технология материалов: Учебное пособие / Под ред. А.И. Батышева, А.А. Смолькина. - М.: ИНФРА-М, 2012. - 288 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004821-5 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/232019>

4. Материаловедение и технология конструкционных материалов и технология материалов: Учебник / Г.П. Фетисов, Ф.А. Гарифуллин. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 397 с.: 60х90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-006899-2 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/413166>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

Таблица А1 – Толщина испытываемого изделия и продолжительность выдержки под нагрузкой при измерении по Бринеллю

Материалы	Твердость, НВ	Толщина образца, мм	Диаметр шарика, мм	Нагрузка, Р, Н	Выдержка под нагрузкой, с
Черные	140-150	6...3	10	30000	10
		4...2	5	7500	10
		2	2,5	1875	10
Черные	140	6	10	30000	10
		6...3	5	2500	10
		3	2,5	625	10
Цветные	130	6...3	10	30000	30
		4...2	5	7500	30
		2	2,5	1875	30
Цветные	35-130	9...3	10	10000	30
		6...3	5	2500	30
		2...3	2,5	625	30
		6	10	2500	60
Цветные	8-35	6...3	5	625	60
		3	2,5	156	60

Таблица А2 – Величина чисел твердости по Бринеллю

Диаметр шарика 10 мм

Диаметр отпечатка, мм	Нагрузка Р, Н			Диаметр отпечатка, мм	Нагрузка Р, Н		
	30000	10000	2500		30000	10000	2500
2,86	457			3,26	350	117	29,2
2,87	454			3,27	347	116	29
2,88	451			3,28	345	115	28,8
2,89	448			3,29	343	114	28,6
2,90	444			3,3	341	114	28,4
2,91	441			3,31	337	112	28,1
2,92	438			3,32	335	112	27,9
2,93	435			3,33	333	11	27,7
2,94	432			3,34	331	110	27,6
2,95	429			3,35	329	110	27,4
2,96	426			3,36	327	109	27,2
2,97	423			3,37	325	108	27,1
2,98	420	140	35	3,38	323	108	26,9
2,99	417	139	34,8	3,39	321	107	26,7
3,0	415	138	34,6	3,4	319	106	26,6
3,01	412	137	34,3	3,41	317	106	26,4
3,02	409	136	34,1	3,42	315	105	26,2
3,03	406	135	33,9	3,43	313	104	26,1
3,04	404	135	33,7	3,44	311	104	25,9
3,05	401	134	33,4	3,45	309	103	25,8
3,06	398	133	33,2	3,46	307	102	25,6
3,07	395	132	33	3,47	306	102	25,5

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
3,08	393	131	32,7	3,48	304	101	25,3
3,09	390	130	32,5	3,49	302	101	25,2
3,1	388	129	32,3	3,5	300	100	25
3,11	385	128	32,1	3,51	298	99,5	24,9
3,12	383	128	31,9	3,52	297	98,9	24,7
3,13	380	127	31,7	3,53	295	98,3	24,6
3,14	378	126	31,5	3,54	293	97,7	24,5
3,15	373	125	31,1	3,55	292	97,2	24,3
3,16	372	124	30,9	3,57	290	96,6	24,2
3,17	370	123	30,8	3,58	288	96,1	24
3,18	368	123	30,7	3,59	286	95,5	23,9
3,19	366	122	30,5	3,6	285	95	23,7
3,2	363	121	30,3	3,61	283	94,4	23,6
3,21	361	120	30,1	3,62	282	93,9	23,5
3,22	359	120	29,9	3,63	280	93,3	23,3
3,23	356	119	29,7	3,64	278	92,8	23,2
3,24	354	118	29,5	3,65	277	92,3	23,1
3,25	352	117	29,3	3,66	275	91,8	22,9
3,67	274	91,2	22,8	4,11	216	72	18
3,68	272	90,7	22,7	4,12	215	71,9	17,9
3,69	271	90,2	22,6	4,13	214	71,3	17,8
3,7	270	89,1	22,5	4,14	213	71	17,7
3,71	268	89,3	22,3	4,15	212	70,6	17,6
3,72	266	88,7	22,2	4,16	221	70,2	17,6
3,73	265	88,2	22,1	4,17	210	69,9	17,5

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
3,74	263	87,7	21,9	4,18	209	69,5	17,4
3,75	262	87,2	21,8	4,19	208	69,2	17,3
3,76	260	86,8	21,7	4,2	207	68,8	17,2
3,77	259	86,3	21,6	4,21	205	68,5	17,1
3,78	257	85,8	21,5	4,22	204	68,2	17
3,79	256	85,3	21,3	4,23	203	67,8	17
3,8	255	84,9	21,2	4,24	202	67,5	16,9
3,81	253	84,4	21,1	4,25	201	67,1	16,8
3,82	252	84	21	4,26	200	66,8	16,7
3,83	250	83,5	20,9	4,27	199	66,5	16,6
3,84	249	83	20,8	4,28	198	66,2	16,5
3,85	248	82,6	20,7	4,29	198	65,8	16,5
3,86	246	82,1	20,5	4,3	197	65,5	16,4
3,87	245	81,7	20,4	4,31	196	65,2	16,3
3,88	244	81,3	20,3	4,32	195	64,9	16,2
3,89	242	80,8	20,2	4,33	194	64,6	16,1
3,9	241	80,4	20,1	4,34	193	64,2	16,1
3,91	240	80	20	4,35	192	63,9	16
3,92	239	79,6	19,9	4,36	191	63,6	15,9
3,93	237	79,1	19,8	4,37	190	63,3	15,8
3,94	236	78,7	19,7	4,38	189	63	15,8
3,95	235	78,3	19,6	4,39	188	62,7	15,7
3,96	234	77,9	19,5	4,4	187	62,4	15,6
3,97	232	77,5	19,4	4,41	186	62,1	15,5
3,98	231	77,1	19,3	4,42	185	61,8	15,5

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
3,99	230	76,1	19,2	4,43	185	61,5	15,4
4,0	229	76,3	19,1	4,44	184	61,2	15,3
4,01	228	75,9	19	4,45	183	60,9	15,2
4,02	226	75,5	18,9	4,46	182	60,6	15,2
4,03	225	75,1	18,8	4,47	181	60,4	15,1
4,04	224	74,7	18,7	4,48	180	60,1	15
4,05	223	74,3	18,6	4,49	179	59,8	15
4,06	222	73,9	18,5	4,5	179	59,5	14,9
4,07	221	73,5	18,4	4,51	178	59,2	14,8
4,08	219	73,2	18,3	4,52	177	59	14,7
4,09	218	72,8	18,2	4,53	176	58,7	14,7
4,1	217	72,4	18,1	4,54	175	58,4	14,6
4,55	174	58,1	14,5	4,99	143	47,7	11,9
4,56	174	57,9	14,5	5,0	143	47,5	11,9
4,57	173	57,6	14,4	5,01	142	47,3	11,8
4,58	172	57,3	14,3	5,02	141	47,1	11,8
4,59	171	57,1	14,3	5,03	141	46,9	11,7
4,6	170	56,8	14,2	5,04	140	46,7	11,7
4,61	170	56,5	14,1	5,05	140	46,5	11,6
4,62	169	56,3	14,1	5,06	139	46,3	11,6
4,63	168	56	14	5,07	138	46,1	11,5
4,64	167	55,8	13,9	5,08	138	45,9	11,5
4,65	167	55,5	13,8	5,09	137	45,7	11,4
4,66	166	55,3	13,8	5,1	137	45,5	11,4
4,67	165	55	13,8	5,11	136	45,3	11,3

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
4,68	164	54,8	13,7	5,12	135	54,1	11,3
4,69	164	54,5	13,6	5,13	135	45	11,3
4,7	163	54,3	13,6	5,14	134	44,8	11,2
4,71	162	54	13,5	5,15	134	44,6	11,2
4,72	161	53,8	13,4	5,16	133	44,4	11,1
4,73	161	53,5	13,4	5,17	133	44,2	11,1
4,74	160	53,3	13,3	5,18	132	44	11
4,75	159	53	13,3	5,19	132	43,8	11
4,76	158	52,8	13,2	5,2	131	43,7	10,9
4,77	158	52,6	13,1	5,21	130	43,5	10,9
4,78	157	52,3	13,1	5,22	130	43,5	10,8
4,79	156	52,1	13	5,23	129	43,1	10,8
4,8	156	51,9	13	5,24	129	42,9	10,7
4,81	155	51,7	12,9	5,25	128	42,8	10,7
4,82	154	51,4	12,9	5,26		42,6	10,6
4,83	154	51,2	12,8	5,27		42,4	10,6
4,84	153	51	12,8	5,28		42,2	10,6
4,85	152	50,7	12,7	5,29		42,1	10,5
4,86	152	50,5	12,6	5,3		41,9	10,5
4,87	151	50,3	12,6	5,31		41,7	10,4
4,88	150	50,1	12,5	5,32		41,5	10,4
4,89	150	49,8	12,5	5,33		41,4	10,3
4,9	149	49,6	12,4	5,34		41,2	10,3
4,91	148	49,4	12,4	5,35		41	10,3
4,92	148	49,2	12,3	5,36		40,9	10,2

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
4,93	147	49	12,3	5,37		40,7	10,2
4,94	146	48,8	12,2	5,38		40,5	10,1
4,95	146	48,6	12,2	5,39		40,4	10,1
4,96	145	48,4	12,1	5,4		40,2	10,1
4,97	144	48,1	12	5,41		40	10
4,98	144	47,9	12	5,42		39,9	9,97
5,43		39,7	9,94	5,72		35,4	8,86
5,44		39,6	9,9	5,73		35,3	8,83
5,45		39,4	9,86	5,74		35,1	8,79
5,46		39,2	9,82	5,75		35	8,76
5,47		39,1	9,78	5,76		34,9	8,73
5,48		38,9	9,74	5,77		34,7	8,69
5,49		38,8	9,7	5,78		34,6	8,66
5,5		38,6	9,66	5,79		34,5	8,63
5,51		38,5	9,62	5,8		34,3	8,59
5,52		38,3	9,58	5,81		34,2	8,56
5,53		38,2	9,54	5,82		34,1	8,53
5,54		38	9,5	5,83		33,9	8,49
5,55		37,9	9,46	5,84		33,8	8,46
5,56		37,7	9,43	5,85		33,7	8,43
5,57		37,6	9,38	5,86		33,6	8,4
5,58		37,4	9,35	5,87		33,4	8,36
5,59		37,3	9,31	5,88		33,3	8,33
5,6		37,1	9,27	5,89		33,2	8,29
5,61		37	9,24	5,9		33,1	8,26

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
5,62		36,8	9,2	5,91		32,9	8,23
5,63		36,7	9,17	5,92		32,8	8,2
5,64		36,5	9,14	5,93		32,7	8,17
5,65		36,4	9,1	5,94		32,6	8,14
5,66		36,3	9,07	5,95		32,4	8,11
5,67		36,1	9,03	5,96		32,3	8,08
5,68		36	9	5,97		32,2	8,05
5,69		35,8	8,97	5,98		32,1	8,02
5,7		35,7	8,94	5,99		32	7,99
5,71		35,6	8,9	6,0		31,8	7,96

Диаметр шарика 5 мм

Диаметр отпечатка, мм	Нагрузка Р, Н			Диаметр отпечатка, мм	Нагрузка Р, Н		
	7500	2500	625		7500	2500	625
1	2	3	4	5	6	7	8
1,41	471			1,5	415	138	34,6
1,42	464			1,51	409	136	34,1
1,43	457			1,52	404	135	33,7
1,44	451			1,53	398	133	33,2
1,45	444			1,54	393	131	32,7
1,46	438			1,55	388	129	32,3
1,47	432			1,56	383	128	31,9
1,48	426			1,57	378	126	31,5
1,49	420	140	35	1,58	373	124	31,1

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
1,59	368	123	30,7	2,03	222	73,9	18,5
1,6	363	121	30,3	2,04	219	73,2	18,3
1,61	359	120	29,9	2,05	217	72,4	18,1
1,62	354	118	29,5	2,06	215	71,7	17,9
1,63	350	117	29,2	2,07	213	71	17,7
1,64	345	115	28,8	2,08	211	70,2	17,6
1,65	341	114	28,4	2,09	209	69,5	17,4
1,66	337	112	28,1	2,1	207	68,8	17,2
1,67	333	111	27,7	2,11	204	68,2	17
1,68	329	110	27,4	2,12	202	67,5	16,9
1,69	325	108	27,1	2,13	200	66,8	16,7
1,7	321	107	26,7	2,14	198	66,2	16,5
1,71	317	106	26,4	2,15	197	65,5	16,4
1,72	313	104	26,1	2,16	195	64,9	16,2
1,73	309	103	25,8	2,17	193	64,2	16,1
1,74	306	102	25,5	2,18	191	63,6	15,9
1,75	302	101	25,2	2,19	189	63	15,8
1,76	298	99,5	24,9	2,2	187	62,4	15,6
1,77	295	98,3	24,6	2,21	185	61,8	15,5
1,78	292	97,2	24,3	2,22	184	61,2	15,3
1,79	288	96,1	24	2,23	182	60,6	15,2
1,8	285	95	23,7	2,24	180	60,1	15
1,81	282	93,9	23,5	2,25	179	59,5	14,9
1,82	278	92,8	23,2	2,26	177	59	14,7
1,83	275	91,8	22,9	2,27	175	58,4	14,6

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
1,84	272	90,7	22,7	2,28	174	57,9	14,5
1,85	269	89,7	22,4	2,29	172	57,3	14,3
1,86	266	88,7	22,2	2,3	170	56,8	14,2
1,87	263	87,7	21,9	2,31	169	56,3	14,1
1,88	260	86,8	21,7	2,32	167	55,8	13,9
1,89	257	85,8	21,5	2,33	166	55,3	13,8
1,9	255	84,9	21,2	2,34	164	54,8	13,7
1,91	252	83,9	21	2,35	163	54,3	13,6
1,92	249	83	20,8	2,36	161	53,8	13,4
1,93	246	82,1	20,5	2,37	160	53,3	13,3
1,94	244	81,3	20,3	2,38	158	52,8	13,2
1,95	241	80,4	20,1	2,39	157	52,3	13,1
1,96	239	79,5	19,9	2,4	156	51,9	13
1,97	236	78,8	19,7	2,41	154	51,4	12,9
1,98	234	77,9	19,5	2,42	153	51	12,8
1,99	231	77,1	19,3	2,43	152	50,5	12,6
2,0	229	76,3	19,1	2,44	150	50,1	12,5
2,01	226	75,5	18,9	2,45	149	49,6	12,4
2,02	224	74,7	18,7	2,46	148	49,2	12,3
2,47	146	48,8	12,2	2,74		38,9	9,7
2,48	145	48,3	12,1	2,75		38,6	9,7
2,49	144	47,9	12	2,76		38,3	9,6
2,5	143	47,5	11,9	2,77		38	9,5
2,51	141	47,1	11,8	2,78		37,7	9,4
2,52	140	46,7	11,7	2,79		37,4	9,4

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
2,53	139	46,3	11,6	2,8		37,1	9,3
2,54	138	45,9	11,5	2,81		36,8	9,2
2,55	137	45,5	11,4	2,82		36,5	9,1
2,56	135	45,1	11,3	2,83		36,3	9,1
2,57	134	44,8	11,2	2,84		36	9
2,58	133	44,4	11,1	2,85		35,7	8,9
2,59	132	44	11	2,86		35,4	8,9
2,6	131	43,7	10,9	2,87		35,1	8,8
2,61	130	43,3	10,8	2,88		34,9	8,7
2,62	129	42,9	10,7	2,89		34,6	8,7
2,63	128	42,6	10,6	2,9		34,3	8,6
2,64	127	42,2	10,6	2,91			8,5
2,65	126	41,9	10,5	2,92			8,5
2,66		41,5	10,4	2,93			8,4
2,67		41,2	10,3	2,94			8,3
2,68		40,9	10,2	2,95			8,3
2,69		40,5	10,1	2,96			8,2
2,7		40,2	10	2,97			8,1
2,71		39,9	10	2,98			8,1
2,72		39,6	9,9	2,99			8
2,73		39,2	9,8	3,0			8

Диаметр шарика 2,5

Диаметр отпечатка , мм	Нагрузка Р, Н			Диаметр отпечатка , мм	Нагрузка Р, Н		
	187 5	625	156		1875	625	156
1	2	3	4	5	6	7	8
0,71	464			0,81	354	118	29,5
0,72	451			0,82	346	115	28,7
0,73	439			0,83	337	112	28
0,74	427	142	35,5	0,84	329	110	27,4
0,75	415	138	34,6	0,85	321	107	26,7
0,76	404	135	33,6	0,86	313	104	26,1
0,77	393	131	32,7	0,87	306	102	25,5
0,78	383	128	31,9	0,88	299	99,5	24,8
0,79	373	124	31,1	0,89	292	97,5	24,2
0,8	363	121	30,3	0,9	285	95	23,7
0,91	278	92,8	23,2	1,21	153	51	12,7
0,92	272	90,8	22,7	1,22	150	50,1	12,5
0,93	266	88,8	22,2	1,23	148	49,2	12,3
0,94	260	86,8	21,7	1,24	145	48,4	12,1
0,95	255	84,9	21,2	1,25	143	47,5	11,9
0,96	249	83,1	20,7	1,26	140	46,7	11,7
0,97	244	81,3	20,3	1,27	138	45,9	11,5
0,98	239	79,6	19,9	1,28	136	45,2	11,3
0,99	234	77,9	19,4	1,29	133	44,4	11,1
1,0	229	76,3	19	1,3	131	43,7	10,9
1,01	224	74,7	18,7	1,31	129	43	10,7
1,02	220	73,2	18,3	1,32		42,3	10,6
1,03	215	71,7	17,9	1,33		41,6	10,4

Продолжение таблицы А2

1	2	3	4	5	6	7	8
1,04	211	70,2	17,5	1,34		40,9	10,2
1,05	207	68,9	17,2	1,35		40,2	10
1,06	203	67,5	16,8	1,36		39,6	9,9
1,07	199	66,2	16,5	1,37		38,9	9,7
1,08	195	64,9	16,2	1,38		38,3	9,6
1,09	191	63,7	15,9	1,39		37,7	9,4
1,1	187	62,5	15,6	1,4		37,1	9,3
1,11	184	61,3	15,3	1,41		36,6	9,1
1,12	180	60,2	15	1,42		36	9
1,13	177	59	14,7	1,43		35,4	8,8
1,14	174	57,9	14,4	1,44		34,9	8,7
1,15	170	56,8	14,2	1,45		34,3	8,6
1,16	167	55,7	13,9	1,46			8,4
1,17	164	54,7	13,7	1,47			8,3
1,18	161	53,8	13,4	1,48			8,2
1,19	159	52,8	13,2	1,49			8,1
1,2	156	51,9	13	1,5			7,9

Таблица А3 – Соотношение чисел твердости по Бринеллю к Роквеллу

Твердость по Бринеллю	Твердость по Роквеллу		Твердость по Бринеллю	Твердость по Роквеллу	
Число твердости	Шкала		Число твердости	Шкала	
	С	В		С	В
	1500 Н	1000 Н		1500 Н	1000 Н
1	2	3	4	5	6
780	72		229	20	100

Продолжение таблицы А3

1	2	3	4	5	6
745	70		223	19	99
712	68		217	17	98
682	66		212	15	97
653	64		207	14	95
627	62		201	13	94
601	60		197	12	93
578	58		192	11	92
555	56		187	9	91
534	54		183	8	90,5
514	52		179	7	90
495	50		174	6	89
477	49		170	4	88
461	48		167	3	87
444	46		163	2	86
429	45		159	1	85
415	43		156	0	84
401	42		152		83
388	41		149		82
275	40		146		80
363	39		143		79
352	38		140		78
341	36		137		77
331	35		134		76
321	33		131		76,5
311	32		128		75

Продолжение таблицы А3

1	2	3	4	5	6
302	31		126		74
293	30		123		73
285	29		121		72
277	28		118		71
269	27		116		70
262	26		114		68
255	25		111		67
248	24		110		66
241	23	102	107		65
235	21	101	102		64

Таблица А4 – Соотношение чисел твердости различных методов измерения

HV	HRC	HRA	HRB	HB	HV	HRC	HRA	HRB	HB
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
160	-	46,6	80	136	490	49,6	75,3	-	475
170	-	48,4	84,4	147	500	50,4	75,7	-	485
180	-	50	87,5	158	510	51	76,1	-	494
190	-	51,6	90	169	520	51,7	76,5	-	504
200	7	53,2	92,3	180	530	52,3	77	-	514
210	10,5	54,6	94,4	190	540	53	77,4	-	523
220	13,9	55,9	96,2	202	550	53,5	77,8	-	532
230	16,8	57,2	98	212	560	54,1	78,1	-	540
240	19,4	58,4	99,5	223	570	54,6	78,5	-	547
250	21,7	59,5	-	234	580	55,2	78,9	-	554
260	23,8	60,5	-	245	590	55,6	79,2	-	559

Продолжение таблицы А4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
270	25,7	61,5	-	256	600	56,1	79,4	-	563
280	27,4	62,4	-	267	610	56,6	79,7	-	566
290	29	63,3	-	278	620	57	80	-	569
300	30,5	64,1	-	289	630	57,5	80,3	-	570
310	31,9	64,8	-	300	640	57,9	80,6	-	-
320	33,3	65,6	-	310	650	58,3	80,9	-	-
330	34,6	66,3	-	321	660	58,7	81,1	-	-
340	35,8	67	-	332	670	59,1	81,4	-	-
350	37	67,6	-	343	680	59,5	81,6	-	-
360	38,1	68,3	-	354	690	59,8	81,9	-	-
370	39,2	68,9	-	365	700	60,2	82,1	-	-
380	40,2	69,5	-	375	710	60,5	82,3	-	-
390	41,2	70,1	-	385	720	60,8	82,5	-	-
400	42,1	70,6	-	395	730	61,2	82,7	-	-
410	43	71,2	-	405	740	61,5	83	-	-
420	44	71,8	-	415	750	61,8	83,2	-	-
430	44,9	72,3	-	425	760	62,1	83,4	-	-
440	45,8	72,8	-	435	770	62,4	83,6	-	-
450	46,6	73,3	-	445	780	62,7	83,9	-	-
460	47,3	73,8	-	455	790	63	84	-	-
470	48,2	74,3	-	465	800	63,3	84,3	-	-
480	49	74,8	-	475					