

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет»



С. Э. Завистовский

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению
лабораторных работ для студентов специальности
1-02 06 01 «Технический труд и предпринимательство»

Новополоцк
ПГУ
2015

УДК 67.017(075.8)

Одобрено и рекомендовано к изданию методической комиссией
спортивно-педагогического факультета (протокол № 5 от 20.01.2015)

Кафедра технологии и методики преподавания

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

канд. техн. наук, доц. кафедры технологии и методики преподавания

А. М. ДОЛГИХ;

ст. преп. кафедры технологии и методики преподавания

А. С. КИРИЕНКО

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для детального изучения студентами специальности 1-02 06 01 «Технический труд и предпринимательство» дисциплины «Материаловедение»; подготовлены в соответствии с требованиями Образовательного стандарта ОСРБ 1-02 06 01-2013 по указанной специальности.

Основной задачей выполнения лабораторных работ является формирование знаний и умений о материалах, способах измерения их физико-механических свойств с последующим использованием полученных знаний для правильной разработки технологических процессов их механической обработки.

Цель выполнения лабораторных работ – формирование у учащихся навыков работы с измерительным оборудованием и овладение методиками, необходимыми для определения величины контролируемого параметра и его изменения в зависимости от заданных условий.

В методические указания включены материалы, отражающие общие и прикладные вопросы материаловедения, включая использование измерительных средств для контроля параметров древесины и металлов.

Особое внимание уделено методике проведения испытаний с использованием современного измерительного оборудования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ВИДА ДРЕВЕСИНЫ

Общие положения

Основные свойства, определяющие внешний вид древесины:

- цвет;
- блеск;
- запах;
- текстура.

Цвет зависит от породы, возраста, района, условий произрастания и состояния (наличия пороков) древесины. Древесина может иметь различные оттенки. Например, дуб насчитывает до 20 цветовых оттенков, а орех – до 40.

Цвет древесине придают дубильные, смолистые и красящие вещества, которые находятся в полостях клеток. Древесина пород, произрастающих в различных климатических условиях, имеет различный цвет: от белого (осина, ель, липа) до черного (черное дерево). Древесина, растущая в жарких и южных районах, имеет более яркую окраску по сравнению с древесиной умеренного пояса. В пределах климатического пояса каждой древесной породе присущ свой особый цвет, который может служить дополнительным признаком для ее распознавания. Древесина граба имеет светло-серый цвет, дуба и ясеня – бурый, грецкого ореха – коричневый. Под влиянием света и воздуха древесина многих пород теряет свою яркость, приобретая на открытом воздухе сероватую окраску.

Древесина ольхи, имеющая в свежесрубленном состоянии светло-розовый цвет, вскоре после рубки темнеет и приобретает желтовато-красную окраску. Древесина дуба, пролежавшая долгое время в воде, приобретает темно-коричневый и даже черный цвет (мореный дуб). Меняется окраска древесины и в результате поражения ее различными видами грибов. На окраску древесины оказывает влияние также возраст дерева. У молодых деревьев древесина обычно светлее. Устойчивым цветом обладает древесина дуба, груши и белой акации, самшита, каштана. Цвет древесины имеет важное значение в производстве мебели, музыкальных инструментов, столярных и художественных изделий. Насыщенный богатством оттенков цвет придает изделиям из древесины красивый внешний вид. Цвет древесины некоторых пород улучшают, подвергая различной обработке: пропариванию (бук), протравливанию (дуб, каштан) или окрашиванию различными химическими веществами. Цвет древесины и его оттенки обычно характеризуют определениями – красный, белый, розовый, светло-розовый и лишь при особой необходимости номером по атласу или шкале цветов.

Цвет учитывается в производстве мебели и художественных работах.

Блеск – это способность направленно отражать световой поток. Блеск древесины зависит от ее плотности, количества, размеров и расположения сердцевинных лучей. Серцевинные лучи обладают способностью направленно отражать световые и создают блеск на радиальном разрезе. Особым блеском отличается древесина бука, клена, ильма, платана, белой акации, дуба. Древесина осины, липы, тополя, имеющая очень узкие сердцевинные лучи и сравнительно тонкие стенки клеток механических тканей, имеет матовую поверхность.

Блеск придает древесине красивый вид и может быть усилен полированием, лакированием, вощением или склеиванием прозрачными пленками из искусственных смол.

Блеск зависит от плотности, количества и размеров сердцевинных лучей и плоскости разреза.

Красивым блеском обладают дуб, бук, ильм, клен и другие древесные породы. К потере блеска приводит загнивание. Блеск древесины учитывается при изготовлении изделий без подкраски.

Запах древесины зависит от находящихся в ней смол, эфирных масел, дубильных и других веществ. Характерный запах скипидара имеют хвойные породы – сосна, ель. Дуб имеет запах дубильных веществ, бакаут и палисандр – ванили. Приятно пахнет можжевельник, поэтому его ветви применяют при запаривании бочек. В свежесрубленном состоянии древесина имеет более сильный запах, чем после высыхания. Ядро пахнет сильнее заболони. По запаху древесины можно определить отдельные породы.

Запах учитывается при изготовлении тары под пищевые продукты. Для этой цели применяют в основном древесину липы и тополя, которая не имеет запаха.

Текстура – рисунок, который получается на разрезах древесины при перерезании ее волокон, годичных слоев и сердцевинных лучей. Текстура зависит от особенностей анатомического строения отдельных пород древесины и направления разреза. Она определяется шириной годичных слоев, разницей в окраске ранней и поздней древесины, наличием сердцевинных лучей, крупных сосудов, неправильным расположением волокон (волнистое или путаное). Хвойные породы на тангенциальном разрезе из-за резкого различия в цвете ранней и поздней древесины дают красивую текстуру. Лиственные породы, имеющие ярко выраженные годичные слои и развитые сердцевинные лучи (дуб, бук, клен, карагач, ильм, платан), имеют очень красивую текстуру на радиальном и тангенциальном разрезах. Особенно красивый рисунок имеют поверхности из древесины неправильного и путаного (свилеватого) расположения волокон (капы, наросты). Хвойные и мягкие лиственные породы имеют более простой и менее разнообразный

рисунком, чем твердые лиственные. При использовании прозрачных лаков можно усилить и выявить текстуру. Часто применяют особые способы обработки древесины – лущение фанерных кражей под углом к направлению волокон, радиальное строгание, прессование или замену искусственной текстурой – поверхность разрисовывают с помощью аэрографа под текстурой ценных пород или оклеивают текстурной бумагой.

Древесину с красивой текстурой имеют дуб, ясень, орех, красное дерево. Химические окраски и грибные поражения вызывают изменение этого свойства. Текстура древесины имеет существенное значение при изготовлении мебели и выполнении художественных работ.

Используемое оборудование и материалы

Для выполнения работы требуется:

- образцы древесины;
- пила по дереву;
- набор шкурок абразивных;
- стандартная шкала цветов древесины;
- оптический микроскоп МБС-10.

Порядок выполнения работы

- 1) изучение методики проведения исследований;
- 2) изготовление образцов для исследования;
- 3) проведение исследований;
- 4) анализ результатов исследований.

Методика проведения исследований

Характер методики исследований зависит от вида исследуемого параметра. К исследованиям приступают только после изготовления натурального образца, выполненного либо из пиломатериала, либо из части дерева.

Для проведения исследований необходимо иметь по два образца каждой породы древесины: в виде продольного и поперечного срезов. Полученные образцы (исследуемые грани) подвергают черновой и чистовой шлифовальной обработке с использованием соответствующих шлифовальных шкурок. Очистку образцов производят сжатым воздухом.

При исследовании текстуры исследуемые грани образцов покрывают водой.

Изучение свойств, определяющих внешний вид древесины, производят с использованием оптического микроскопа типа МБС-10 при различном увеличении.

Изготовление образцов пород древесины

Для изготовления образцов берется брусок древесины размером 50×50 мм или древесина диаметром до 50 мм.

Методом поперечного пиления изготавливают рабочие образцы размером $50 \times 50 \times 50$ мм или $\varnothing 50 \times 50$ мм.

Методом продольного пиления формируют вторую исследуемую грань образца.

Производят шлифовку граней. Сначала черновую шлифовку (абразивная шкурка зернистостью 32...50 мкм), затем – чистовую (абразивная шкурка зернистостью 8...10 мкм).

Проведение исследований

Исследование цвета древесины:

– указать характеристику и номер цвета образцов и особенности оттенка по общепринятой шкале (см. вклейку).

Исследование блеска древесины:

– указать характеристику блеска образцов (или его отсутствие).

Исследование запаха древесины:

– указать характеристику запаха образцов, включая его интенсивность и оттенки.

В таблице 1.1 приведен ряд примеров характерного запаха и его изменения в зависимости от состояния древесины.

Таблица 1.1

Пример оценки запаха некоторых пород древесины

Порода	Запах древесины	
	В свежесрубленном состоянии	В сухом состоянии
Дуб, грецкий орех	запах дубильной кислоты	исчезает
Белая акация	запах репы	исчезает
Ольха	запах моркови	исчезает
Можжевельник	запах кожи	сохраняется
Лавр	своеобразный приятный запах	сохраняется
Камфорное дерево	запах камфоры	сохраняется

Исследование текстуры древесины

Текстура – это естественный рисунок на тангенциальных и радиальных разрезах древесины, образованный годичными слоями и анатомическими элементами. Чем южнее произрастает древесина, тем богаче ее текстура. У древесины хвойных пород простое строение и однообразная тек-

стура, которая определяется в основном шириной годовых колец и разницей окраски ранней и поздней древесины (приложение А).

Древесина лиственных пород имеет сложное строение и более богатую текстуру (рис. 1.1).

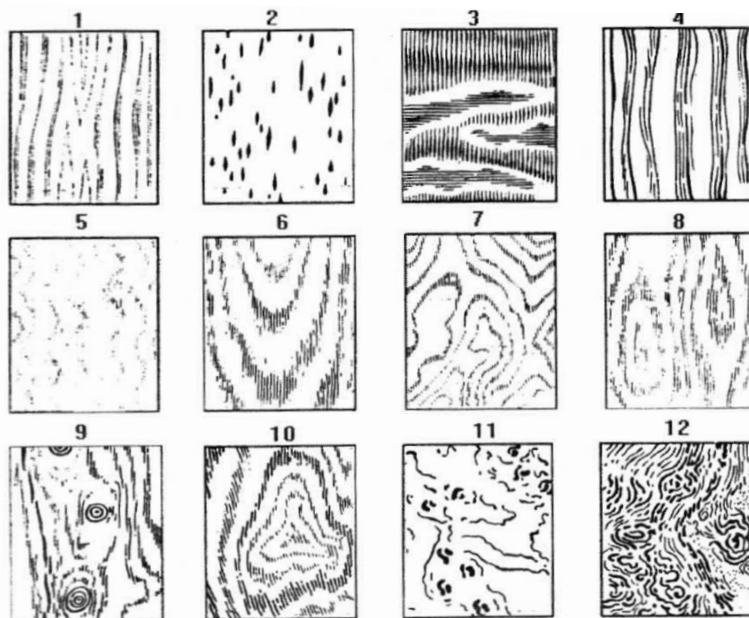


Рис. 1.1. Виды текстуры древесины: 1 – без выраженного рисунка (груша, липа); 2 – мелкокрапчатый рисунок (дуб, бук, чинара); 3 – муаровый рисунок (красное дерево, волнистая береза, серый клен); 4 – полосатый рисунок (красное дерево, орех, палисандр); 5 – волнистый рисунок (при специфических условиях роста дерева или обработке специальным ножом); 6 – V-образный рисунок (при тангенциальном разрезе годовичных слоев); 7 – криволинейный рисунок (орех, ясень, карагач при тангенциальном разрезе); 8 – листообразный рисунок (при тангенциальном разрезе); 9 – сучковатый рисунок (сосна, ель и др.); 10 – раковинный рисунок (кавказский орех, сень, карагач – комлевая часть); 11 – рисунок «птичий глаз» (ясень, клен, украинский тополь, карельская береза); 12 – наплывной рисунок (при разрезе наплывов)

На характер текстуры оказывает влияние направление разреза. Красивую текстуру имеет древесина на радиальном разрезе. Многие породы имеют интересную текстуру и на тангенциальном разрезе (дуб, ясень, орех, вяз и др.).

Высокие декоративные свойства имеет текстура капов, образующихся на стволах лиственных пород. Узорчатая текстура и у карельской березы. Ценится текстура клена типа «птичий глаз», которую создают неразвившиеся в побег спящие почки. Своеобразную текстуру получают при неравномерном прессовании древесины и последующем ее строгании, а также при лущении волнистым ножом или под углом к направлению волокон.

Особенности текстуры различных пород древесины представлены в приложении Б.

Содержание отчета:

- титульный лист;
- краткие сведения о внешних свойствах древесины;
- чертежи исследуемых образцов древесины с указанием направления волокон;
- описание методики проведения исследований;
- результаты исследований и их анализ (оформляются в виде таблиц, форма и содержание которых представлены в таблицах 1.2 – 1.5).

Таблица 1.2

Исследование цвета древесины

№ образца	Направление волокон	Цвет	
		номер	колер
<i>1.02</i>	<i>Продольное</i>	<i>3147</i>	<i>светло-песочный</i>

Таблица 1.3

Исследование блеска древесины

№ образца	Направление волокон	Блеск
<i>1.02</i>	<i>продольное</i>	<i>отсутствует (матовый)</i>


Таблица 1.4

Исследование запаха древесины

№ образца	Направление волокон	Запах
<i>1.02</i>	<i>продольное</i>	<i>смоляной</i>

Таблица 1.5

Исследование текстуры древесины

№ образца	Направление волокон	Текстура	
		Рисунок	Характер
<i>1.02</i>	<i>продольное</i>		<i>V-образный рисунок</i>

– выводы о целесообразности использования исследованных пород древесины.

Отчет оформляется на отдельных листах формата А4 по утвержденной форме.

Текстура пород древесины

Название древесины	Текстура
Акация белая	Полосы, кольца, тонкие линии
Амарант	Темно-коричневые полосы, черточки
Береза обыкновенная	Муаровый рисунок, шелковистый блеск
Береза карельская	Рисунок в виде коричневых извилин или черточек, яркая
Бук	Блестящие крапинки, темные тонкие штрихи
Вишня	Порода ядровая, полосатая
Граб	Текстура слабо выражена
Груша	Текстура слабо выражена, однородная
Дуб	Крупная текстура с годичными слоями, крупными сосудами, сердцевинными лучами в виде язычков пламени, темных штрихов
Карагач	Муаровая текстура с шелковистым блеском
Клен русский	Нежная розовая текстура, шелковистый блеск
Клен: явор и «птичий глаз»	Шелковистый блеск
Лимонное дерево	Ленточная текстура
Ольха	Текстура ярко выражена
Орех грецкий	Красивая текстура с темными прожилками
Осина	Текстура слабо выражена
Палисандр	Текстура крупная, выразительная с темными короткими черточками
Рябина	С мелкими порами, слабо выражена
Самшит	Текстура с едва заметными прожилками, слабо выражена
Тик	Текстура крупная, выразительная. Напоминает текстуру ореха
Яблоня	Текстура слабо выражена, однородная
Ясень	Текстура резко выражена в виде полос

ОПИСАНИЕ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

ДУБ

Твердая, прочная древесина. Цвет: от желтовато-белого до желтовато-коричневого с сероватым или зеленоватым оттенком; в натуральном цвете встречается редко, обычно дуб подмаривают. Применение: массив или шпон, эффектен в резьбе, темный мореный дуб незаменим в инкрустации деревом по дереву. Особенности: высокая устойчивость гниению; древесина плохо воспринимает спиртовой лак и политуру, однако хорошо клеится. Одна из самых популярных у россиян пород. При всей красоте дуб несколько мрачноват, поэтому массивный гарнитур может выглядеть в небольшой квартире слишком тяжело. Чаще всего дуб используют поляки, бельгийцы, белорусы и румыны в производстве мебели так называемого «фламандского» стиля. Для дубовой мебели, независимо от стиля, места и времени изготовления, характерны особая прочность конструкции и массивность пропорций. Почти всегда дубовая мебель украшена обильной и разнообразной резьбой.

ОРЕХ

Плотность: твердая. Цвет: от зеленовато-серых до красновато-коричневых оттенков. Применение: шпон, тонкий срез для отделки мебели, инкрустации дорогой мебели. Черный орех привозится из Америки в двух разновидностях: одна похожа на персидский орех, но более темная и твердая, другая – несколько мягче, массивнее и легче в обработке. Обе разновидности одинаково дороги и применяются исключительно для фанеровки дорогой мебели и массивных резных украшений.

БУК

Плотность: твердая, пластичная, долговечная древесина. Цвет: от розовато-желтого до красновато-бурого. Применение: массив, реже шпон; используется практически во всех видах мебели; особенно подходит для производства гнутой мебели. Особенности: хорошо отделяется нитро- и полиэфирными лаками (практически не изменяя цвета), воскованием, окрашивается в различных растворах и отбеливается. Одно из самых используемых деревьев в деревообработке. Мебель из бука традиционно является

более дешевой альтернативой дубу. Хорошо обрабатывается, шлифуется, тонируется в любой цвет, имеет красивый природный блеск.

ЛИСТВЕННИЦА

Плотность: твердая древесина. **Цвет:** имеет порядка двенадцати оттенков. **Применение:** отделочные материалы. **Особенности:** суровые климатические условия произрастания способствуют накоплению в лиственнице большого количества биологически активных веществ. В химический состав сибирской лиственницы входит природный биофлавоноид – вещество, блокирующее процессы образования свободных радикалов.

КРАСНОЕ ДЕРЕВО

Плотность: высокая. **Цвет:** в свежесрубленном состоянии желтовато-красный цвет, но с течением времени постепенно темнеет, принимая коричнево-красный или малиново-красный с выделяющимися светлыми и темными прожилками цвет. **Применение:** дорогостоящая мебель. Красным деревом традиционно именуют породы махагони, сапели, эвенги, некоторые виды австралийского эвкалипта, имеющие общий цвет и похожее строение древесины. Популярность дерева заключается не только в его красоте, но и неизменяемости форм и размеров мебели из красного дерева, которая не коробится и не растрескивается при изменении температуры и влажности.

КЛЕН

Плотность: тяжелая, плотная, твердая и прочная древесина. **Цвет:** светлый. Из канадского клена выработывают шпон порой с текстурой под названием «птичий глаз».

ЯСЕНЬ

Плотность: твердая, чуть мягче дуба. **Цвет:** нежные золотистые оттенки. **Применение:** облицовочный шпон, гнутая и резная мебель. Обладая большой гибкостью и пластичностью, ясень позволяет делать из него красивую хорошо отшлифованную мебель. Богатая текстура ясеня лучше всего проявляется при сочетании со строгими, благородными формами мебели.

БЕРЕЗА

Плотность: твердая. Цвет: желтовато-белый иногда коричневый. Применение: лущеный шпон, часто березу используют для самых ответственных работ. Особенности: послушный в обработке, но недолговечный материал, подвержен гниению. Из-за своей структуры береза идеально подходит для различного окрашивания.

КАРЕЛЬСКАЯ БЕРЕЗА

Цвет: беловато-желтый с розоватым или бурым оттенком. Применение: шпон для облицовки дорогой мебели, часто комбинируется с элементами эбенового дерева и золоченой бронзы. В отличие от простой березы относится к числу самых дорогих пород. На срезе карельская береза обнаруживает разнообразные рисунки, один из которых называется «птичий глаз».

ЛИПА

Плотность: прочный пластичный материал. Цвет: белый. Применение: резьба и точеные элементы. Особенности: высокая непроницаемость, плохо подвергается окрашиванию; легко принимает цвет ценных пород дерева посредством морения. Липа хорошо обрабатывается режущими инструментами.

ГРУША

Плотность: твердая древесина, не подвержена короблению и растрескиванию. Цвет: золотисто-розовая. Применение: облицовочный шпон. Особенности: резко усыхает. Груша – любимый материал резчиков. Отполированная древесина имеет глянцевую-матовую поверхность.

ВИШНЯ

Плотность: мягкая порода. Цвет: оранжево-красноватый с коричневыми линиями, розовато-коричневый, со временем темнеет. Применение: производство эксклюзивной мебели, отлично сочетается в мебели с резьбой, стеклянными витражами с оригинальным орнаментом и закругленными формами. Особенности: хорошо поддается всем видам обработки. Вишня очень легко строгаются, гнется, лакируется. Обработанная поверхность очень гладкая.

КЕДР

Плотность: низкая. Цвет: светло-желтый или темно-коричневый. Применение: для производства домашней мебели, мебели для сауны. Особенность: высокая устойчивость к влаге и гниению.

ТОПОЛЬ

Плотность: мягкая. Цвет: золотистый. Применение: не смотря на распространенность в повсеместной природе, мебельщики редко используют тополь как материал в своем производстве. Особенности: низкая устойчивость к гниению.

СОСНА

Древесина сосны достаточно мягкая и легко царапается, однако она прекрасно переносит колебания температур, влажности и устойчива к гниению. Чаще всего ее применяют в производстве корпусной мебели и для изготовления каркаса мягкой мебели; мебель из сосны прекрасно подходит для загородного дома. Древесина прекрасно обрабатывается красителями и лаками.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Общие положения

Одна из основных характеристик древесины – плотность, она учитывается при выборе инструмента для обработки древесины, а также выборе грузоподъемности транспортных средств для перевозки лесо- и пиломатериалов. Характеризуется плотность массой в единице объема и обозначается буквой ρ , имеет размерность кг/м³ или г/см³ (1 кг/м³ = 1000 г/см³). Химический состав органических веществ, образующих клеточные стенки древесины разных пород, практически одинаков, поэтому плотность древесинного вещества (или плотность клеточных стенок) у всех пород равняется 1530 кг/м³. Из-за пористого строения плотность древесины меньше плотности древесинного вещества.

По плотности древесины при 12%-ной влажности породы делят на три группы:

- малой плотности – до 540 кг/м³ (сосна, ель, кедр, пихта, ольха, осина, липа, тополь, ива);
- средней плотности – 550–740 кг/м³ (груша, дуб, клен, ясень, бук, вяз, береза, орех);
- высокой плотности – 750 кг/м³ и более (граб, белая акация).

Среди иноземных пород встречаются древесные породы плотность древесины которых около 1000 кг/м³, например бальза, и с очень высокой плотностью – до 1300 кг/м³ (бакаут).

Между плотностью и влажностью существует прямая связь. С увеличением влажности древесины от 0 до 30 % (связанная влага) плотность может повышаться, так как увеличиваются масса и объем (происходит разбухание), а может и несколько понижаться, если плотность больше 1000 кг/м³. При повышении влажности более чем на 30 % плотность значительно увеличивается.

На плотность древесины хвойных и лиственных кольцесосудистых пород оказывает влияние содержание поздней древесины в годичном слое. Так как плотность поздней древесины в 2,5 раза больше, чем ранней, следовательно, чем ее больше, тем выше плотность материала.

Методы экспериментальной оценки плотности древесины

Для экспериментального определения плотности древесины используют образцы в виде прямоугольной призмы основанием 20 × 20 мм и вы-

сотой (вдоль волокон) 30 мм. Массу образца можно установить единственным методом – взвешиванием на рычажных весах. Взвешивание проводится на весах с точностью до 0,001 г. Объем образца может быть определен двумя способами: по трем линейным измерениям (ширине, толщине и высоте) и специальным прибором – объемомером. Кроме того, необходимо установить влажность образца в момент испытаний и иногда коэффициент объемного разбухания. Для этого образец приходится доводить в сушильном шкафу до абсолютно сухого состояния и измерять его массу (иногда объем).

Для определения объема по первому методу ширину и толщину образца измеряют посередине высоты, а высоту – между центрами оснований. Измерение проводят мерительным инструментом (микрометром, штангенциркулем, прибором с индикаторами часового типа и т.д.) с точностью до 0,01 мм. Объем образца равняется произведению полученных трех величин и выражается в долях кубического метра. Вполне очевидно, что точность определения объема образца по описанному способу зависит от тщательности изготовления образца и может снижаться, если образец по форме отличается от прямоугольного параллелепипеда.

При использовании объемомера образец может иметь любую форму, так как прибор основан на измерении объема несмачивающей древесины жидкости после погружения в нее образца.

Стандартные характеристики плотности древесины

Плотность материала характеризуется отношением массы тела к объему, поэтому плотность древесины должна представлять собой именно объемную массу, а не объемный вес.

Плотность древесины может оцениваться несколькими показателями:

- плотностью в абсолютно сухом состоянии (ρ_0);
- плотностью во влажном состоянии (ρ_w);
- плотностью при стандартной (нормированной) влажности (ρ_{12});
- базисной плотностью ($\rho_{баз}$).

Рассчитывают значение плотности с точностью до 5 кг/м³.

Увеличение содержания воды в древесине ведет к увеличению плотности материала. Поэтому для возможности сравнения показателей плотности принято определять их при стандартной влажности ($W = 12\%$).

Порядок выполнения работы

Сущность метода заключается в определении при соответствующей влажности древесины массы и объема образца и вычислении показателей плотности.

Отбор образцов

Образцы изготовляют в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и длиной вдоль волокон 30 мм. Если годовые слои имеют ширину более 4 мм, размеры поперечного сечения должны быть увеличены так, чтобы образец включал не менее 5 слоев.

Для учебных целей минимальное количество образцов может быть принято равным 3 (по стандарту – 16).

Оборудование

Штангенциркуль по ГОСТ 166, с погрешностью измерения не более 0,1 мм.

Проведение испытаний

Определение плотности при влажности в момент испытания

Массу образцов определяют с погрешностью не более 0,01 г. Для пересчета плотности при влажности в момент испытания к плотности при влажности 12 % массу образцов определяют в герметичных сосудах (бюксах) с погрешностью не более 0,001 г. Размеры поперечного сечения и длину измеряют с погрешностью не более 0,1 мм по осям симметрии образцов. Допускается определять объем образцов другим способом с погрешностью не более $0,01 \text{ см}^3$.

Определение плотности в абсолютно сухом состоянии и парциальной плотности

При определении парциальной плотности влажность образцов должна быть меньше предела насыщения клеточных стенок. Массу и размеры образцов определяют по аналогичной методике. Образцы высушивают до постоянной массы и охлаждают в эксикаторе. Повторно определяют массу и размеры образцов.

Определение базисной плотности

Влажность образцов должна быть больше предела насыщения клеточных стенок. Допускается вымачивать образцы в воде при комнатной температуре до прекращения изменения размеров. После измерения размеров образцов их высушивают и взвешивают.

Обработка результатов испытаний

Плотность (ρ_w) каждого образца при влажности W в момент испытания вычисляют в килограммах на кубический метр или в граммах на кубический сантиметр по формуле:

$$\rho_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} = \frac{m_w}{V_w},$$

где m_w – масса образца при влажности W , кг (г);

a_w, b_w, l_w – размеры образца при влажности W , м (см);

V_w – объем образца при влажности W , м³ (см³).

Результат вычисляют и округляют до 5 кг/м³ (0,005 г/см³).

Плотность каждого образца с нормализованной влажностью, при необходимости, пересчитывают на влажность 12 % по формуле:

$$\rho_{12} = \rho_w \left[1 - \frac{(1 - K) \cdot (W - 12)}{100} \right],$$

где K – коэффициент объемного разбухания.

Для ориентировочных расчетов коэффициент K может быть принят равным $0,85 \times 10^{-3} \rho_w$ при измерении плотности в килограммах на кубический метр и $0,85 \rho_w$ при измерении в граммах на кубический сантиметр.

Плотность каждого образца с влажностью, отличающейся от нормализованной, пересчитывают на влажность 12 % по формуле

$$\rho_{12} = \frac{\rho_w}{K_{12}^w},$$

где K_{12}^w – коэффициент пересчета при влажности образцов, равной или меньше предела насыщения клеточных стенок, определяемый по таблице 2.1.

Коэффициент пересчета K_{12}^w при влажности образцов больше предела насыщения клеточных стенок вычисляют по формулам:

– для древесины белой акации, бука, граба и лиственницы:

$$K_{12}^w = \frac{100 + W}{127};$$

– для остальных пород:

$$K_{12}^w = \frac{100 + W}{124},$$

где W – влажность образца в момент испытания, %.

Результат вычисляют и округляют до 5 кг/м³ (0,005 г/см³).

Информационная таблица для пересчета влажности древесины

Влажность $W, \%$	Коэффициент K для пород		Влажность $W, \%$	Коэффициент K для пород	
	белая акация, береза, бук, граб и лист- венница	остальных		белая акация, береза, бук, граб и лист- венница	остальных
5	0,980	0,972	18	1,013	1,020
6	0,983	0,977	19	1,014	1,023
7	0,986	0,981	20	1,016	1,026
8	0,989	0,985	21	1,018	1,029
9	0,992	0,989	22	1,019	1,031
10	0,995	0,993	23	1,020	1,034
11	0,997	0,996	24	1,021	1,036
12	1,000	1,000	25	1,022	1,039
13	1,002	1,004	26	1,023	1,041
14	1,005	1,007	27	1,024	1,043
15	1,007	1,010	28	1,025	1,046
16	1,009	1,014	29	1,025	1,048
17	1,011	1,017	30	1,026	1,050

Плотность (ρ_0) каждого образца в абсолютно сухом состоянии вычисляют в килограммах на кубический метр или в граммах на кубический сантиметр по формуле:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{a_0 \cdot b_0 \cdot l_0} = \frac{m_0}{V_0},$$

где m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, кг (г);
 a_0, b_0, l_0 – размеры образца в абсолютно сухом состоянии, м (см);
 V_0 – объем образца в абсолютно сухом состоянии, м³ (см³).

Результат вычисляют и округляют до 5 кг/м³ (0,005 г/см³).

Парциальную плотность (ρ'_w) каждого образца вычисляют в килограммах на кубический метр или в граммах на кубический сантиметр по формуле

$$\rho'_w = \frac{m_0}{a'_w \cdot b'_w \cdot l'_w} = \frac{m_0}{V'_w},$$

где m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, кг (г);
 a'_w, b'_w, l'_w – размеры образца при влажности меньше предела насыщения клеточных стенок, м (см).

Результат вычисляют и округляют до 5 кг/м^3 ($0,005 \text{ г/см}^3$).

Базисную плотность (ρ_b) каждого образца вычисляют в килограммах на кубический метр или в граммах на кубический сантиметр по формуле

$$\rho_b = \frac{m_0}{a_{\max} \cdot b_{\max} \cdot l_{\max}} = \frac{m_0}{V_{\max}},$$

где m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, кг (г);

a_{\max} , b_{\max} , l_{\max} – размеры образца при влажности, равной и больше предела насыщения клеточных стенок, м (см);

V_{\max} – объем образца при влажности, равной и больше предела насыщения клеточных стенок, м^3 (см^3). Результат вычисляют и округляют до 5 кг/м^3 ($0,005 \text{ г/см}^3$).

Среднюю плотность испытанных образцов вычисляют и округляют до 10 кг/м^3 ($0,01 \text{ г/см}^3$) как среднее арифметическое плотности отдельных образцов.

Результаты испытаний и расчетов заносят в протокол, форма которого приведена в приложении В и анализируют с использованием данных приложения Г.

Содержание отчета:

- титульный лист;
- основные теоретические сведения;
- описание заданных пород древесины;
- эскизы экспериментальных образцов
- протокол определения плотности;
- анализ экспериментальных данных.

**ПРОТОКОЛ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ**

Порода _____

Температура воздуха, t °C _____

Маркировка образца	при влажности, в момент испытания			в абсолютно сухом состоянии			при влажности, или больше предельна насыщения клеточных стенок			при влажности в момент испытания m_w		в абсолютно сухом состоянии m_0		Влажность W, %		Коэффициент объемного разбухания K	Коэффициент пересчета K_{w12}	Плотность, кг/м ³			
	толщина a^w	ширина b^w	длина l^w (l')	толщина a_0	ширина b_0	длина l_0	толщина a_{max}	ширина b_{max}	длина l_{max}	в момент ис-пытания P_w	12 % P_{12}	парциальная P^w	базисная P_0	абсолютно сухой древесины P_0							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		

Плотность древесины

Порода	Плотность ρ_{12} кг/м ³	Средняя плотность $\rho_{ср}$ кг/м ³	Порода	Плотность ρ_{12} кг/м ³	Средняя плотность $\rho_{ср}$ кг/м ³
Лиственница	670	520	Клен	700	550
Сосна обыкновенная	510	400	Ясень обыкновен- ный	690	550
Ель	450	360	Бук	680	530
Кедр (сосна кедровая)	440	350	Вяз Береза	660 640	520 500
Пихта сибирская	380	300	Орех грец- кий	600	470
Граб	810	630	Ольха	530	420
Акация белая	810	630	Осина	500	400
Груша	720	570	Липа	500	400
Дуб	700	550	Тополь	460	360

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Общие положения

Влажность древесины определяют различными способами. Наиболее распространенным в деревообработке является весовой способ.

Весовой способ, правила определения влажности при котором регламентированы ГОСТ 16483.0-89, основан на взвешивании и высушивании проб (образцов), отбираемых из контролируемой партии древесных сортиментов.

От доски или заготовки на расстоянии 300 – 500 мм от торца выпиливают поперечным срезом пробу размером вдоль волокон около 10 мм. Эта проба называется секцией влажности. Секцию тщательно зачищают от заусениц, после чего немедленно взвешивают на технических весах с погрешностью до 0,1 г. Полученное значение начальной массы регистрируют в специальном журнале. Затем секцию помещают в сушильный шкаф и сушат при температуре $103\pm 2^\circ\text{C}$. Секцию периодически вынимают из шкафа и взвешивают, отмечая каждый раз в журнале результаты взвешивания.

Первое взвешивание проводят через 6 ч, а повторные – через каждые 2 ч. Секцию выдерживают в сушильном шкафу до тех пор, пока ее масса не перестанет изменяться. Постоянную массу принимают равной ее массе в абсолютно сухом состоянии.

При длительной выдержке материала в воде, когда влага заполняет в нем практически все пустоты, древесина будет иметь максимальную влажность (у каждой породы она своя). Максимальная влажность лиственницы – 123 %, сосны – 178, ели – 203, кедра – 208, пихты – 250, граба – 96, дуба – 119, березы – 131, осины – 180, тополя – 198 %.

Аппаратура и материалы

В состав исследовательского оборудования входят:

- весы аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,01 г;
- сушильный шкаф, обеспечивающий высушивание древесины при $(103\pm 2)^\circ\text{C}$.

Методика проведения исследований

Изготовление заготовок для образцов

Из отобранных единиц вырезают заготовки, размеры которых позволяют изготовить образцы нужной формы.

Образцы изготовляют в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм.

При применении метода систематического отбора заготовку из кряжа выпиливают в виде сердцевинной доски толщиной не менее 60 мм, которая должна включать геометрический центр поперечного сечения кряжа (рис. 3.1, а).

Допускается выпиливать заготовки из кряжа диаметром не более 180 мм в виде сердцевинных досок толщиной не менее 40 мм по направлению двух взаимно перпендикулярных диаметров (рис. 3. 1, б). В этом случае при необходимости изготовления образцов с размерами поперечного сечения более 40 мм от кряжей перед выпилкой сердцевинной доски должны быть отпилены отрезки длиной не менее 100 мм, которые раскраивают в соответствии с рисунком 3.1, а.



Рис. 3.1. Методика выпиливания образцов: а – из доски шириной 60 мм; б – из кряжа диаметром более 180 мм.

Если единица отбора – пиломатериал, заготовку выпиливают параллельно сбегу. Толщина заготовки должна быть не менее 35 мм. Заготовки, содержащие сердцевину, отбраковывают.

Пиломатериалы, не содержащие сердцевины, разделявают на заготовки так, чтобы не менее чем одна грань заготовки была радиальной или тангенциальной. В случае необходимости от пиломатериалов толщиной 60 мм и более перед распиловкой на заготовки отпиливают по отрезку длиной вдоль волокон 100 мм для изготовления образцов с поперечными размерами более 30 мм.

Для испытания образцов с нормализованной влажностью заготовки должны быть высушены при температуре ниже 60°C до влажности, близкой к нормализованной.

Порядок выполнения работы

1. На пробы переносят марки образцов, из которых они взяты. Образцы на влажность, очищенные от заусенцев и опилок, взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

2. Образцы помещают в сушильный шкаф с температурой $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$. Высушивание проверяют повторными взвешиваниями двух-трех образцов.

3. Первое взвешивание при высушивании мягких пород выполняют не ранее чем через 6 ч после начала высушивания, а при высушивании твердых пород – не ранее 10 ч. Пробы из смолистой древесины хвойных пород не следует сушить в шкафу свыше 20 ч.

4. Повторные взвешивания выполняют через 2 ч. Высушивание считается законченным, когда разность между двумя последними взвешиваниями будет не более 0,01 г.

Обработка результатов исследований

Определяют абсолютную и относительную влажность древесины в процентах по формулам

$$W_{abc} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100;$$

$$W_{omn} = \frac{m_w - m_0}{m_w} \cdot 100,$$

где W_{abc} – абсолютная влажность, %;

W_{omn} – относительная влажность, %;

m_w – масса образца до высушивания, г;

m_0 – масса образца после высушивания, г;

Результаты испытаний и расчетов заносят в протоколы (приложение Д).

Содержание отчета:

- название работы;
- краткие теоретические сведения;
- породы древесины, подлежащие испытанию;
- чертежи образцов древесины;
- протоколы определения влажности пород древесины;
- результаты математической обработки экспериментальных данных;
- выводы.

**ПРОТОКОЛ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ**

Порода _____ Температура воздуха, °С _____
 Степень насыщенности воздуха, % _____

Маркировка образца	Продолжительность сушки, ч	Масса, г		Влажность древесины, %	
		образца до высушивания	образца после высушивания	абсолютная	относительная

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАСЫЩЕНИЯ ВЛАГОЙ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

Общие положения

Древесина при поглощении воды или паров воды увеличивает свои линейные и объемные размеры. Это свойство древесины называется разбуханием или набуханием. Максимальная влажность, которую может приобрести древесина при поглощении воды из воздуха, – 23–30 %.

Набухание древесины в различных направлениях неодинаково. Наименьшее набухание наблюдается вдоль волокон (0,1–0,6 %), наибольшее – в тангенциальном направлении (6–10 %), набухание в радиальном направлении колеблется в пределах 3–5 %.

Набухание происходит только до точки насыщения волокон (23–30 % влажности) и при дальнейшем увеличении влажности прекращается. Разница в набухании в тангентальном и радиальном направлениях уменьшается с увеличением объемного веса (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Уменьшение соотношения между тангенциальным
и радиальным набуханием при увеличении объемного веса

Объемный вес, г/см ³	Относительное набухание, Δ
0,3–0,5	2,22–1,89
0,5–0,7	1,92–1,66
0,7–0,9	1,75–1,39
0,9–1,1	1,55–1,30
1,1–1,3	1,41–1,19

Скорость набухания древесины неравномерна: в начале она больше, однако по мере приближения к точке насыщения волокон уменьшается.

Набухание древесины происходит и при поглощении других жидкостей, но в меньшей степени, чем от воды (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Набухание древесины желтой березы при поглощении различных жидкостей

Жидкость	Объемное набухание, %	Жидкость	Объемное набухание, %
Ацетон	9,1	Скипидар	1,8
Бензол	0,7	Спирт этиловый	9,4
Вода	13,6	Хлороформ	4,2
Глицерин	13,1	Эфир этиловый	4,4
Керосин	0,3	Сероуглерод	0,8

Набухание древесины при высокой влажности является необратимым процессом: если абсолютно сухую древесину увлажнить до точки насыщения волокон и затем снова высушить до абсолютно сухого состояния, то кривые разбухания и усушки полностью не совпадут.

Аппаратура и материалы

В состав исследовательского оборудования входят:

- штангенциркуль цифровой с точностью измерения 0,01 мм;
- набор натуральных образцов нормальной влажности различных пород древесины размером 20 × 20 × 30 мм;
- набор емкостей для длительного увлажнения образцов.

Методика проведения исследований

Образцы изготавливают в форме прямоугольной призмы с основанием 20 × 20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм.

Пиломатериалы, не содержащие сердцевины, разделявают на заготовки так, чтобы не менее чем одна грань заготовки была радиальной или тангентальной. В случае необходимости от пиломатериалов толщиной 60 мм и более перед распиловкой на заготовки отпиливают по отрезку длиной вдоль волокон 100 мм для изготовления образцов с поперечными размерами более 30 мм.

Для испытания образцов заготовки должны быть подвержены длительному (от 1 до 7 суток) погружению в воду при температуре ниже 15°C до достижения соответствующей влажности.

Порядок выполнения работы:

- образцы берут с нормальной влажностью;
- образцы измеряют с точностью 0,01 мм;
- образцы помещают в воду с температурой не ниже (15±2)°C и выдерживают в течение 1 – 7 суток;
- образцы обтирают сухой ветошью с удалением избытка наружной влаги;
- измерение линейных размеров производят непосредственно после предварительной очистки;
- результаты измерений заносят в таблицу (приложение Е);
- производят математическую обработку экспериментальных данных;
- пользуясь данными таблиц 4.1, 4.2 формулируются практические выводы.

Обработка результатов исследований

Определяют величину линейного и объемного набухания древесины в воде, а также рассчитывают величину относительного набухания Δ (отношение величины тангентального к радиальному набуханию).

Величина линейного набухания (по длине) L_H рассчитывается по формуле

$$L_H = \frac{L_W - L_0}{L_0} \cdot 100\% ,$$

где L_W – длина после увлажнения, мм;

L_0 – длина исходного образца с нормальной влажностью, мм.

Величина линейного набухания (по толщине) H_H рассчитывается по формуле

$$H_H = \frac{H_W - H_0}{H_0} \cdot 100\% .$$

Величина объемного набухания V_H рассчитывается по формуле

$$V_H = \frac{V_W - V_0}{V_0} \cdot 100\% ,$$

где V_W и V_0 – объем образца в увлажненном и сухом состоянии.

Величину относительного набухания Δ рассчитывают по формуле для каждой породы древесины

$$\Delta = \frac{L_H}{H_H} .$$

Содержание отчета:

- название работы;
- краткие теоретические сведения;
- породы древесины, подлежащие испытанию;
- чертежи образцов древесины;
- протоколы измерения геометрических размеров образцов различных пород древесины;
- результаты математической обработки экспериментальных данных;
- выводы.

**ПРОТОКОЛ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАБУХАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ**

Порода _____ Температура воздуха, °С _____

Среда _____ Степень насыщенности воздуха, % _____

Маркировка образца	Продолжительность увлажнения, час	Размеры образца, мм				после увлажнения				Величина набухания		
		до увлажнения		увлажнения		увлажнения		линейного, %		объемного V_H , %	относительного, Δ	
		L_0	H_0	B_0	L_W	H_W	B_W	L_H	H_H			B_H

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

Общие положения

Применение древесины в качестве конструкционного материала обусловлено способностью сопротивляться действию усилий, т.е. механическими свойствами. Прочность – способность материалов сопротивляться разрушению.

Показатели прочностных свойств древесины определяют обычно при следующих видах испытаний:

- сжатию;
- растяжению;
- изгибе;
- сдвиге.

Поскольку древесина – анизотропный материал, т.е. материал с различными свойствами в разных направлениях, необходимо указывать направление действия нагрузок: вдоль или поперек волокон (в радиальном или тангенциальном направлении).

Максимальное напряжение, предшествующее разрушению тела, называют пределом прочности. Предел прочности определяют на малых, чистых и не имеющих пороках образцах в лабораториях на испытательных машинах. Эти образцы имеют базисное сечение с размерами 20×20 мм и должны включать не менее 4– годичных слоев.

Методика проведения исследований

Испытания на прочность при сжатии

Прочность при сжатии определяется на образцах призматической формы. Схема испытания на прочность при сжатии вдоль волокон и размер образца показаны на рисунке 5.1, а.

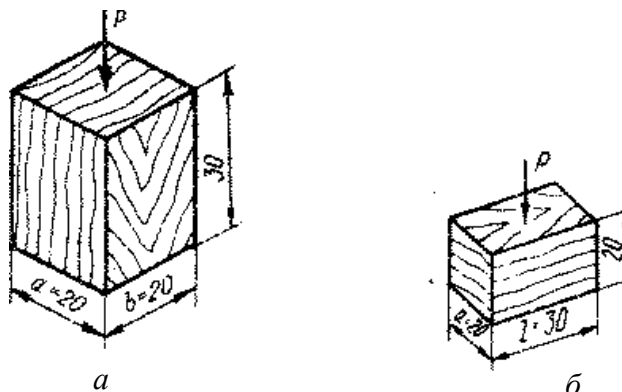


Рис. 5.1. Вид и размеры образцов для исследования на сжатие:
а – вдоль волокон; б – поперек волокон

Образец постепенно нагружают до разрушения. Затем по силоизмерителю испытательной машины отсчитывают максимальную нагрузку P_{\max} , [Н]. Предел прочности σ , [МПа], вычисляют по формуле

$$\sigma_w = \frac{P_{\max}}{a \cdot b},$$

где $(a \cdot b)$ – площадь сечения образца, мм².

В среднем для всех отечественных пород при влажности древесины 12 % предел прочности на сжатие вдоль волокон составляет около 50 МПа.

Прочность при сжатии поперек волокон определяется по схеме на рисунке 1, б. Здесь указана равнодействующая сил, которые либо равномерно распределены по всей поверхности образца, либо по всей ширине, но на части длины его (местное сжатие). И в том, и в другом случаях определяют условный предел прочности. В качестве этого показателя используют предел пропорциональности, т.е. величину напряжений, до которых наблюдают линейную зависимость между напряжениями и деформациями. В среднем для всех пород он составляет 0,1 предела прочности при сжатии вдоль волокон.

Испытания на прочность при растяжении

Испытания на прочность при растяжении проводятся на образцах, представленных на рисунке 5.2.

Такая форма образцов обусловлена стремлением обеспечить разрушение в тонкой рабочей части, а не в месте закрепления, под воздействием именно растягивающих напряжений.

В среднем для всех пород предел прочности при растяжении вдоль волокон равен 130 МПа, а предел прочности при растяжении поперек волокон в 20 раз ниже. Поэтому при конструировании изделий из древесины избегают растягивающих нагрузок, направленных поперек волокон.

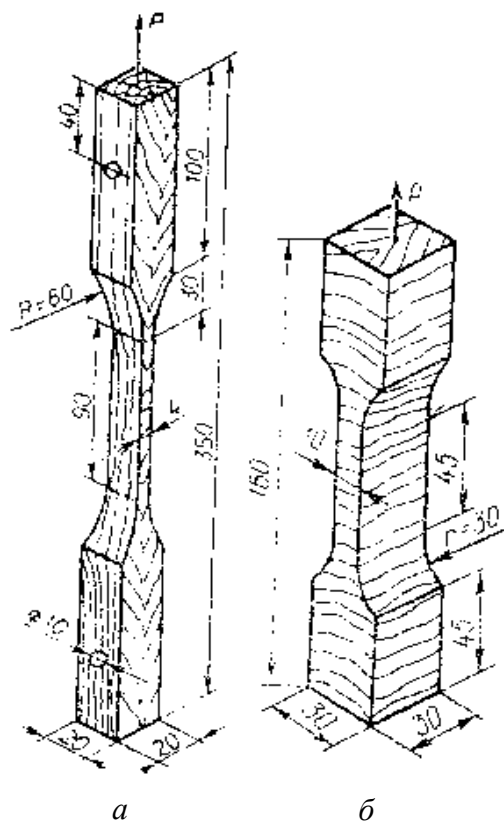


Рис. 5.2. Вид и размеры образцов для исследования на растяжение: а – вдоль волокон; б – поперек волокон

Для испытания древесины на статический изгиб применяют образцы в форме бруска размерами 20 × 20 × 300 мм:

Испытания на прочность при изгибе

Предел прочности при статическом изгибе, МПа, вычисляют по формуле

$$\sigma_w = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_{\max} \cdot l}{b \cdot h^2},$$

где P_{\max} – максимальная нагрузка, Н;

l – пролет, т.е. расстояние между центрами опор, равный 240 мм;

b и h – ширина (в радиальном) и высота (в тангенциальном) направлениях, мм.

В среднем предел прочности при статическом изгибе составляет 100 МПа. Схемы действия сил при этих испытаниях показаны на рисунке 5.3.

При испытаниях к образцу прикладывают две равные и противоположно направленные силы, вызывающие разрушение в параллельной им плоскости, происходит сдвиг. Различают три вида испытаний на сдвиг: скалывание вдоль волокон, скалывание поперек волокон и перерезание древесины поперек волокон.

Испытания на прочность при сдвиге (скалывании)

Для испытания на скалывание вдоль волокон применяют образец, форма и размеры которого показаны на рисунке 5.4.

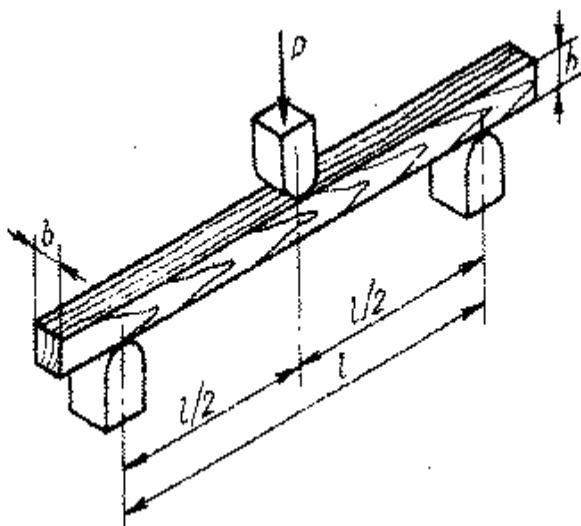


Рис. 5.3. Схема проведения исследований древесины на прочность при изгибе

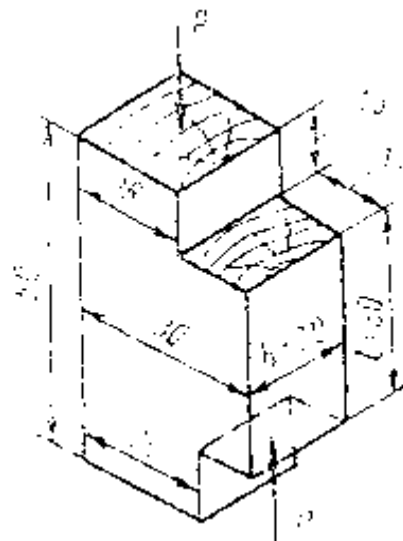


Рис. 5.4. Вид, размеры образцов и схема испытаний для исследования древесины на скалывание

Предел прочности при скалывании вдоль волокон определяют по формуле

$$\tau_w = \frac{P_{\max}}{b \cdot l},$$

где $(b \cdot l)$ – площадка скалывания, мм².

Величина предела прочности – касательных максимальных напряжений при скалывании вдоль волокон в среднем для всех пород составляет примерно 0,2 от предела прочности при сжатии вдоль волокон. Предел прочности при скалывании поперек волокон в 2 раза меньше, а предел прочности при перерезании поперек волокон в 4 раза больше, чем предел прочности при скалывании вдоль волокон.

Аппаратура и материалы

Для проведения исследований используется следующее испытательное оборудование и оснастка:

– разрывная машина Р-20 (рис. 5.5);

– образцы для исследования прочностных свойств на растяжение, сжатие, изгиб и сдвиг из различных пород древесины, изготовленные в соответствии с требованиями стандартных методик.

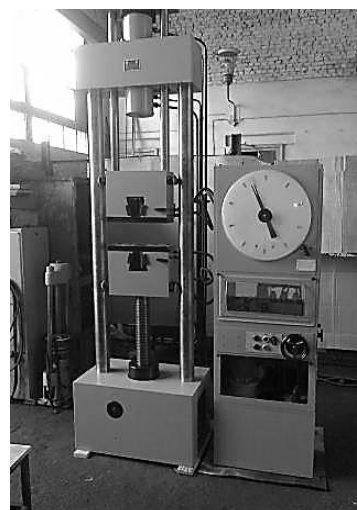


Рис. 5.5. Общий вид разрывной машины мод. Р-20

Разрывные машины Р-20 предназначены для статических испытаний образцов металлов из листового и круглого проката, а также арматурной стали на растяжение при нормальной температуре по ГОСТ 1497, 12004, 6996, ASTM E8, EN 10002 и др. при нормальной температуре, а в комплекте с приспособлением на изгиб/сжатие – для испытаний на изгиб по ГОСТ 6996, 14019 и др., осадку по ГОСТ 8817, бортование по ГОСТ 8693 и др.

Нагружающие устройства разрывных машины Р-20 являются двухколонными вертикального типа с двумя зонами для испытаний на растяжение и сжатие/изгиб («реверсивная рамка»), оснащены захватами с гидравлическим зажимом образца. Конструкция нагружающих устройств позволяет исключить люфты привода нижнего захвата при зажиме образцов и повысить жесткость рамы, тем самым свести к минимуму искажение

диаграмм нагружения для получения достоверных результатов при изменении деформации по перемещениям активного захвата (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Технические характеристики разрывной машины Р-20

Наибольшая номинальная нагрузка, кН	200
Высота рабочего пространства, мм	900
Ширина рабочего пространства, мм	500
Рабочий ход активного захвата, мм	300
Размеры испытываемых образцов: – диаметр цилиндрических образцов, мм; – толщина × ширина плоских образцов, мм; – диаметр образцов с головками, мм	5 -30 / 5-25 [0,5-25]×40 8-20
Цена единицы наименьшего разряда силоизмерителя, кН	0,01
Класс точности индикации нагрузки по ISO 7500-1	1 – базовое исполнение; 0,5 – по заказу
Диапазон скоростей нагружения, кН/с	0,2 – 20
Пределы допускаемой погрешности поддержания скорости нагружения, % от заданной	±5
Пределы допускаемой погрешности измерения перемещений, %	±2
Масштаб записи диаграмм нагружения «нагрузка-деформация»	от 1:10 до 500:1
Габаритные размеры, не более, мм	1450 × 950 × 2900
Масса, не более, кг	1700
Параметры электропитания	380 В, 50 Гц
Потребляемая мощность, не более, кВт	1,5

Порядок выполнения работы

- ознакомиться с содержанием настоящих методических указаний;
- ознакомиться с принципом действия и основными правилами по технике безопасности при работе на испытательном оборудовании;
- подготовить разрывную машину к испытаниям по заданной схеме*;
- установить испытуемый образец и произвести его разрушение*;
- снять показания приборов, в том числе самописца;
- снять образец;

- подготовить разрывную машину и провести испытания следующего образца из заданной серии*;
- обработать результаты испытаний;
- сделать выводы по результатам проведенных испытаний с анализом прочностных характеристик испытуемого образца и стандартных, представленных в нормативной литературе.

** Действия, производимые лаборантом кафедры.*

Содержание отчета:

- название работы;
- краткие теоретические сведения;
- породы древесины, подлежащие испытанию;
- чертежи образцов для исследования прочностных свойств;
- протоколы расчета прочностных характеристик (предел прочности) различных пород древесины при реализации различных схем нагружения (приложение Ж);
- результаты математической обработки экспериментальных данных;
- анализ результатов исследования.

Формы протоколов для расчета предела прочности образцов

на сжатие

№ образца	Порода древесины	Направление волокон при испытании	Размеры образца, мм		P_{max} , кН	σ_w , МПа
			ширина, a	толщина, b		

на растяжение

№ образца	Порода древесины	Направление волокон при испытании	Размеры образца, мм		P_{max} , кН	σ_w , МПа
			ширина, a	толщина, b		

на изгиб

№ образца	Порода древесины	Направление волокон при испытании	Размеры образца, мм		Пролет, l , мм	P_{max} , кН	σ_w , МПа
			ширина, a	толщина, b			

на сдвиг

№ образца	Порода древесины	Направление волокон при испытании	Размеры образца, мм		P_{max} , кН	τ_w , МПа
			толщина, b	длина, l		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

РАСШИФРОВКА МАРОК СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Общие положения

Для расшифровки марок сталей необходимо знать какими буквами принято обозначать те или иные химические элементы, входящие в состав марки или сплава.

Например, буквой Х – обозначается хром, Н – никель, К – кобальт, М – молибден, В – вольфрам, Т – титан, Д – медь, Г – марганец, С – кремний, Ф – ванадий, Р – бор, А – азот, Б – ниобий, Е – селен, Ц – цирконий, Ю – алюминий, Ч – показывает о наличии редкоземельных металлов

Также существуют свои обозначения для разных типов сталей в зависимости от их состава и предназначения.

Буквенные обозначения применяются для указания способа раскисления стали:

- КП – кипящая сталь;
- ПС – полуспокойная сталь;
- СП – спокойная сталь.

Конструкционные стали обыкновенного качества нелегированные обозначают буквами Ст. (Ст. 3; Ст. 3 КП)

Цифра, стоящая после букв, условно обозначает процентное содержание углерода в стали (в десятых долях), индекс КП указывает на то, что сталь относится к кипящей, т.е. не полностью раскисленной в печи и содержащая незначительное количество закиси железа, что обуславливает продолжение кипения стали в изложнице. Отсутствие индекса означает, что сталь спокойная.

Конструкционные нелегированные качественные стали

Конструкционные нелегированные качественные стали (Ст. 10; Сталь 20; Ст. 30; Ст. 45), обозначают двузначным числом, указывающим на среднее содержание углерода в стали 0,10 %; 0,20 %; и т.д.

Конструкционная низколегированная 09Г2С расшифровывается как сталь, углерода в которой около 0,09% и содержание легирующих компонентов марганца, кремния и других, составляет в сумме менее 2,5 %.

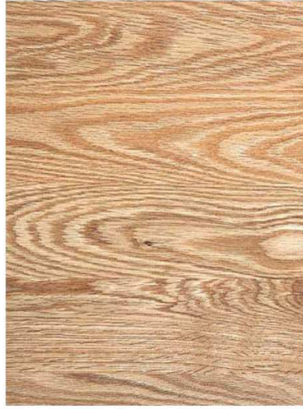
Стали 10ХСНД и 15ХСНД отличаются разницей углерода. В таких сталях среднее содержание каждого элемента менее 1 %, поэтому цифры за буквой не ставятся.

Цветовая гамма пород древесины фирмы «Пинотекс»

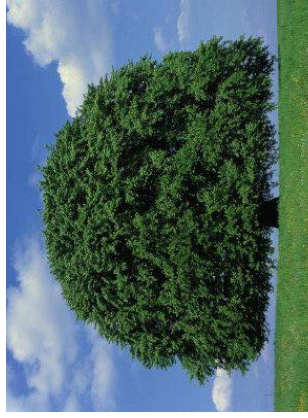




ДУБ



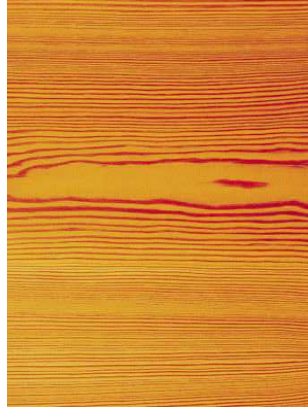
ОРЕХ



БУК



ЛИСТВЕННИЦА



КРАСНОЕ ДЕРЕВО



КЛЕН





ЯСЕНЬ



БЕРЕЗА



КАРЕЛЬСКАЯ БЕРЕЗА



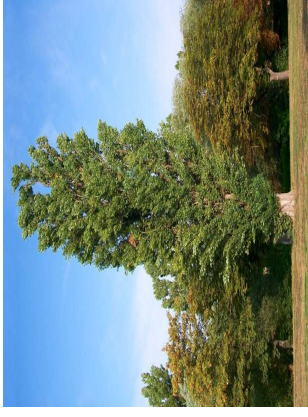
ЛИПА

ГРУША

ВИШНЯ



КЕДР



ТОПОЛЬ



СОСНА



Конструкционные легированные стали

Конструкционные легированные стали, такие как 20Х; 30Х; 40Х обозначают буквами и цифрами, в данном случае марка показывает содержание углерода и основного легирующего элемента хрома. Цифры после каждой буквы обозначают примерное содержание соответствующего элемента, однако при содержании легирующего элемента менее 1,5 % цифра после соответствующей буквы не ставится.

30ХГСА – хромкремнемарганцевая сталь, обладает большой прочностью и повышенным сопротивлением к ударным нагрузкам. В состав марки входит углерод (0,30 %), марганец, кремний и хром, примерно в равных долях по 0,8 – 1,1 %

Содержание серы и фосфора не должно превышать 0,03 % для каждого из этих элементов, поэтому в конце таких марок ставится буква А, что свидетельствует о дополнительных показателях качества марок, (20ХН4ФА; 38ХН3МА). Также обозначаются и конструкционные рессорно-пружинные стали, такие как 60С2А, 65Г, где первые цифры показывают углерод в сотых долях процента (0,60 и 0,65 соответственно).

Подшипниковые стали

Конструкционные подшипниковые стали обозначаются также как и легированные, маркировка начинается с буквы Ш (например, ШХ4; ШХ15; ШХ15СГ). Цифра 15 говорит о содержании легирующего хрома, примерная доля которого равна 1,5 %, в стали ШХ4 0,4 % соответственно.

Качественные стали

Качественные стали, предназначенные для производства паровых котлов и сосудов высокого давления, обозначают как конструкционные нелегированные стали, с добавлением буквы К (20К; 22К).

Литейные конструкционные стали

Литейные конструкционные стали обозначаются как качественные и легированные, но в конце наименования ставят букву Л (35ХМЛ; 40ХЛ и т.п.).

Стали строительные

Стали строительные обозначают буквой С и цифрами, соответствующими минимальному пределу текучести стали. Дополнительно применяют обозначения: Т – термоупрочненный прокат, К – повышенная коррозионная стойкость, (С345Т; С390К и т. п.). Аналогично буквой Д обозначают повышенное содержание меди (С345Д; С375Д).

Стали инструментальные нелегированные

Стали инструментальные нелегированные делят на качественные, обозначаемые буквой У и цифрой, указывающей среднее содержание углерода (У7; У8; У10) и высококачественные, обозначаемые дополнительной буквой А в конце наименования (У8А; У10А; У12А) или дополнительной буквой Г, указывающей на дополнительное увеличение содержания марганца (У8ГА).

Стали инструментальные легированные

Стали инструментальные легированные обозначаются также как и конструкционные легированные. Возьмем такую марку как ХВГ, расшифровка этой марки показывает наличие в ней основных легирующих элементов: хрома, вольфрама, марганца. Эта сталь отличается от 9ХВГ, повышенным содержанием в ней углерода, примерно 1 %, поэтому цифра в начале марки не ставится.

Стали быстрорежущие

Стали быстрорежущие расшифровываются следующим образом: с буквы Р начинается обозначение стали, затем следует цифра, указывающая среднее содержание вольфрама (Р18; Р9), затем следуют буквы и цифры, определяющие массовое содержание элементов (сталь Р6М5), цифра 5 показывает долю молибдена в этой марке. Содержание хрома не указывают, т.к. оно составляет стабильно около 4 % во всех быстрорежущих сталях. Следует заметить, что если содержание ванадия превышает 2,5 %, буква Ф и цифра указывается (стали Р6М5Ф3).

Сталь электротехническая нелегированная

Сталь электротехническая нелегированная АРМКО, или технически чистое железо (10880; 20880 и т.д.) содержит минимальное количество углерода, менее 0,04%, благодаря чему имеет очень малое удельное электрическое сопротивление. Первая цифра указывает на вид обработки (1 – кованый или горячекатаный, 2 – калиброванный). Вторая цифра 0 говорит, что сталь нелегированная, без нормируемого коэффициента старения; 1 – с нормируемым коэффициентом старения. Третья цифра указывает на группу по основной нормируемой характеристике. Четвертая и пятая – количество значения основной нормируемой характеристики.

Алюминиевые сплавы

Алюминиевые сплавы маркируются по следующему принципу: марки литейных сплавов имеют первую букву А, за ней Л. Сплавы дляковки и штамповки за буквой А имеют букву К. После этих двух букв ставится условный номер сплава.

Деформируемые сплавы

Принятые обозначения деформированных сплавов следующие: сплав авиаль – АВ, алюминивно-магниевый – АМг, алюминивно-марганцевый – АМц. Дуралюмины обозначаются буквой Д с последующим условным номером.

Порядок выполнения работы

- изучить систему расшифровки марок сталей и сплавов, используемую в СНГ;
- дать краткую характеристику одного из представителей сталей и сплавов представленной в методике номенклатуры;
- дать полную характеристику сталей и сплавов в соответствии с заданным вариантом (приложение И).

Содержание отчета:

- титульный лист;
- краткие сведения о системе расшифровки марок сталей и сплавов, принятой в СНГ;
- краткая характеристика одного из представителей сталей и сплавов;
- полная характеристика сталей и сплавов в соответствии с заданным вариантом.

Приложение И

Варианты контрольных заданий по расшифровке марок сталей и сплавов

1	Сталь Ст О	Сталь 35	Сталь 09Г2	Сталь 15Г	Сталь 25ХГТ	Сталь 30ХГС	Сталь 30ХН2МФА	Сталь 7Х3	Сталь 60С2А	Сталь 75ХМ	Сталь 38Х2Н2М
2	Сталь ВСт2кп	Сталь 40	Сталь 14Г2	Сталь 35Г	Сталь 15ХФ	Сталь 38ХМА	Сталь 34ХНЗМ	Сталь 8Х3	Сталь 55С2	Сталь 60ХН	Сталь 38ХНЗМФА
3	Сталь ВСт2лс	Сталь 45	Сталь 12ГС	Сталь 45Г	Сталь 30ХГТ	Сталь 20ХН	Сталь 38Х2НН	Сталь Х12ВМ	Сталь 60Г	Сталь 90ХФ	Сталь 45ХН2МФА
4	Сталь ВСт2сп	Сталь 50	Сталь 16ГС	Сталь 30Г	Сталь 20ХГР	Сталь 40ХН	Сталь 36Х2Н2МФА	Сталь 7ХГ2ВН	Сталь 55ХГР	Сталь 9Х2МФ	Сталь 38ХНЗМА
5	Сталь ВСт3кп	Сталь 55	Сталь 17Г1	Сталь 20	Сталь 18ХГТ	Сталь 30ХНЗА	Сталь 38Х2НМФ	Сталь Х12М	Сталь 50ХФА	Сталь 9Х2	Сталь 40ХН2МА
6	Сталь 40Х9С2	Сталь 40Х1	Сталь ХВГ	Сталь 20Х25Н19С2Л	Сталь 10Х18Н9Л	Сталь 38ХНЗМА	Сталь ШХ6	Сталь 30ХН2МА	Сталь 30ХГФРЛ	Сталь 20Х2Н4А	Сталь 14Х2ГМРЛ
7	Сталь Х12	Сталь 10Х14АП5	Сталь 9ХС	Сталь 40Х24Н12СЛ	Сталь 12Х18Н9ТЛ	Сталь 36Х2Н2МФА	Сталь ШХ15	Сталь 20ХН2М	Сталь ХВГ	Сталь 12Х2Н4А	Сталь 08ГДНФЛ
8	Сталь Х12Ф	Сталь 12Х1	Сталь ХВ4	Сталь 20Х20Н14С2Л	Сталь 20Х13Л	Сталь 20ХН4ФА	Сталь ШХ15С	Сталь 14Х2НЗМА	Сталь 80ГС	Сталь 40ХН	Сталь 35ХМ
9	Сталь 40Х10С2М	Сталь 08Х17Т	Сталь 9Х1	Сталь 25Х2НМЛ	Сталь 15НЛ	Сталь 38ХНЗМФА	Сталь ШХ9	Сталь 30ХГСН2А	Сталь 20 ХМ Л	Сталь 20ХН	Сталь 32Х06
10	Сталь 08Х1	Сталь 95Х1	Сталь 38Х2МЮА	Сталь 40Х13	Сталь 20ГНМФЛ	Сталь 45ХН2МФА	Сталь ШХ15	Сталь 15ХГН2А	Сталь 35ХГС	Сталь 15Н2М	Сталь 12ДН2ФЛ
11	ВТ1-00	СЧ12-28	ВЧ 38-17	АЛ1	Д1	АМг2	Мл2	Сталь А12	Сталь Х6ВФ	Сталь 15Х	У8
12	ВТ1-0	СЧ15-32	ВЧ 42	АЛ5	АК4-1	АМг3	Мл5	Сталь А20	Сталь 30Х13	Сталь 20Х	У10А
13	ОТ4-1	СЧ 18-36	ВЧ 45-5	АЛ4	Д16П	Д12	Мл9	Сталь А30	Сталь 20Х13	Сталь 30 Х	У12
14	ОТ4	СЧ 21-40	ВЧ 50-2	АЛ7	АМг5П	ММ	Мл10	Сталь А40Г	Сталь 12Х13	Сталь 35Х	У12А
15	ВТ5	СЧ 24-44	ВЧ 60-2	АЛ9	АВ	АМц	Мл15	Сталь А30	Сталь 9ХВГ	Сталь 38Х4	У8А

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7
ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ

Общие положения

Твердость – свойство металлов сопротивляться проникновению в них других, более твердых тел. Твердость определяет многие эксплуатационные свойства металла, сопротивляемость истиранию, режущие свойства инструмента для обработки металлов, эрозионную стойкость и т.д. Иногда по твердости можно косвенным путем определить предел прочности и текучести металла, не вырезая образцов. Большинство методов определения твердости основано на принципе вдавливания в испытуемый металл более твердого шарика, конуса или пирамиды.

Испытание на твердость по Бринеллю проводят вдавливанием в испытуемый металл закаленного стального шарика или шарика из твердого сплава силой F (рис. 7.1).

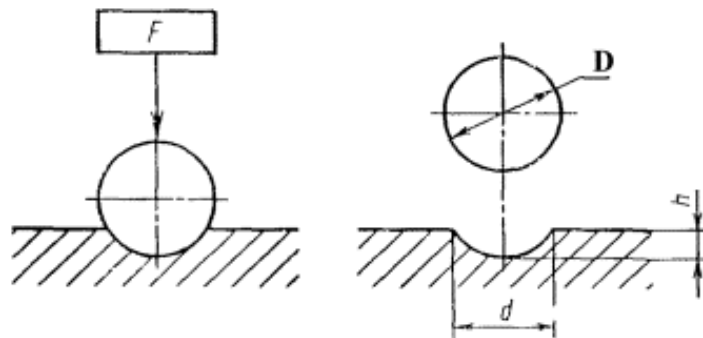


Рис. 7.1. Схема измерения твердости металла по Бринеллю

После снятия нагрузки на поверхности детали или образца остается отпечаток от шарика в виде шарового сегмента. Твердость по Бринеллю обозначается HB . Она равна отношению нагрузки на шарик, выраженной в кгс, к площади отпечатка в мм. Значение твердости считывается по шкале измерительного прибора, предварительно протарированного для данного размера шарика.

Твердость по Бринеллю приводится без указания размерности. Например:

- твердость $180HB$ – для испытаний закаленным шариком;
- твердость $180HBW$ – для испытаний шариком из твердого сплава.

Чем тверже металл, тем меньше площадь отпечатка при одной и той же нагрузке. Сначала измеряют диаметр отпечатка d при помощи лупы с

увеличением в 24 раза. Площадь отпечатка, имеющего форму шарового сегмента, может быть определена по формуле

$$HB(HBW) = \frac{0.102 \cdot F}{A} = \frac{0.102 \cdot 2F}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Чтобы избежать расчетов твердости к прибору прилагают таблицы, по которым можно определить число твердости по диаметру отпечатка. На приборе Бринелля используют шарики диаметром 10,5 и 2,5 мм. Глубина отпечатка должна быть, по крайней мере, в десять раз меньше толщины испытываемой детали.

Нагрузку на шарик выбирают пропорционально квадрату диаметра шарика по формуле

$$K = \frac{0.102 \cdot F}{D^2} \cdot \left(\frac{F}{D^2}\right)$$

Для стали и чугуна принято брать нагрузку на шарик $P = 30D^2$. Например, если применяют шарик диаметром 10 мм, то нагрузка должна быть 29,4 кН. Для меди и медных сплавов принято соотношение $P = 10D^2$, а для баббитов и свинцовистых бронз $P = 2,5D^2$.

Значение K выбирают в зависимости от металла и его твердости в соответствии с таблицей 7.1.

Таблица 7.1

Значения коэффициента K

Материал	Твердость по Бринеллю	К
Сталь, чугун, высокопрочные сплавы (на основе никеля, кобальта и др.)	До 140	10
	140 и более	30
Титан и сплавы на его основе	От 50	15
Медь и сплавы на ее основе, легкие металлы и их сплавы	Менее 35	5
	От 35	10
Подшипниковые сплавы	От 8 до 50	2,5
Свинец, олово и другие мягкие металлы	До 20	1

Цель работы – ознакомиться с методикой определения твердости металлов по Бринеллю и изучение устройства прибора для проведения лабораторной работы.

Задание

Провести испытание на твердость по Бринеллю образцов стали и сплавов цветных металлов различной толщины. Определить твердость.

Изучить:

- схему испытания (с зарисовкой) и величину твердости по Бринеллю;
- устройство автоматического рычажного пресса;
- выбор диаметра шарика и нагрузки;
- подготовку образца для испытания;
- подготовку прибора и проведения испытания;
- методику измерения отпечатка с помощью лупы (с зарисовкой схемы отсчета по шкале лупы);
- определение твердости по таблице.

Оборудование, материалы и инструмент

Для проведения работы необходимо иметь:

- автоматический рычажный пресс;
- шарик стальной диаметром $2,5 \pm 0,003$ мм должен иметь твердость не менее $850 HB$;
- образцы стали и сплавов цветных металлов различной толщины;
- лупу для измерения диаметра отпечатка либо прибор – бривископ;
- наждачное точило;
- напильник.

Прибор для испытания на твердость по Бринеллю (по ГОСТ 23677-79)

Испытание на твердость по Бринеллю производят на специальных прессах. Наиболее распространенным прибором является автоматический рычажный пресс. Схема пресса показана на рисунке 7.2.

В верхней части станины 1 имеется шпиндель 7, в который вставляется наконечник с шариком 6. Может быть установлен один из трех наконечников – с шариком диаметром 10, 5 или 2,5 мм. Столик 4 служит для установки на нем испытываемого образца 5. Вращением по часовой стрелке рукоятки 15 приводят в движение винт 3, который, перемещаясь вверх, поднимает столик 4, и образец 5 прижимается к шартику 6. При вращении рукоятки 15 до тех пор, пока указатель 14 не станет против риски, пружина 8 сжимается до отказа и создается предварительная нагрузка 1000 Н. Электродвигатель 13, который включается нажатием кнопки, расположенной сбоку пресса, приводит во вращение эксцентрик 2. При вращении эксцентрика 2 шатун 9, перемещаясь вниз, отпускает рычаг 10 и соединенную с ним подвеску 11 с грузами 12, создавая этим нагрузку на шарик, который

вдавливается в образец. При дальнейшем вращении эксцентрика 2 шатун 9 перемещается вверх, поднимает рычаг 10 и подвеску 11 с грузами 12, снимая этим нагрузку с шарика. Когда рычаг и подвеска с грузами достигнут исходного положения, автоматически дается сигнал звонком и электродвигатель выключается. Вращением рукоятки 15 против часовой стрелки опускают столик 4. В зависимости от грузов, установленных на подвеске 11, создается различная нагрузка (табл. 7.2)

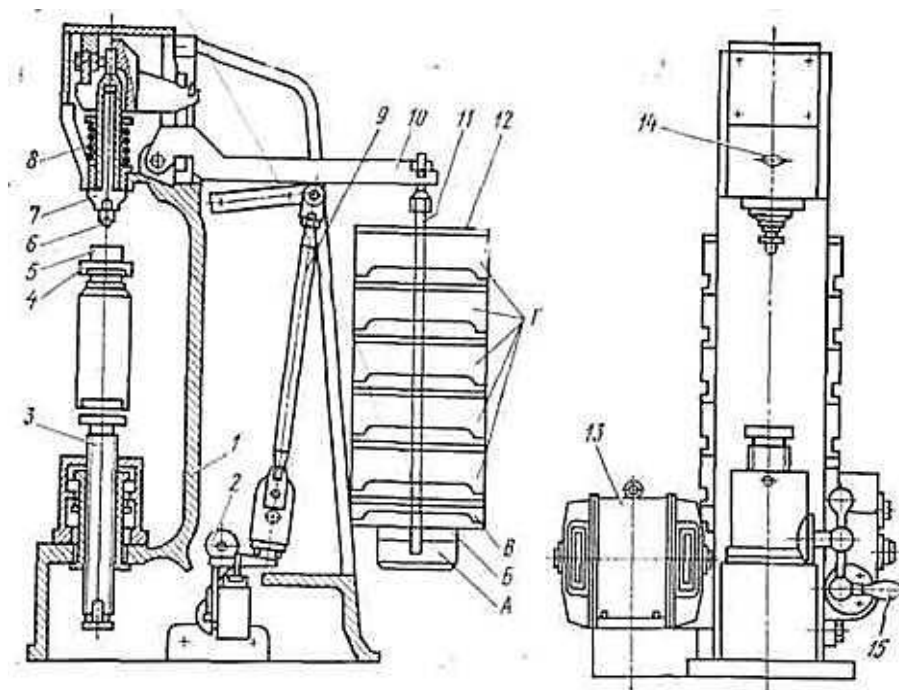


Рис. 7.2. Схема автоматического рычажного пресса для определения твердости.

Органы управления: 1 – станина; 2 – вращающийся эксцентрик; 3 – винт;
4 – столик; 5 – испытуемый образец; 6 – наконечник с шариком; 7 – шпindelь;
8 – пружина; 9 – шатун; 10 – рычаг; 11 – подвеска; 12 – груз; 13 – электродвигатель;
14 – указатель; 15 – рукоятка

Таблица 7.2

Выбор грузов для нагружения автоматического рычажного пресса

Нагрузка, Н	Наименование грузов, обеспечивающих необходимую нагрузку	Примечание
1875	А	А – подвеска, создающая нагрузку в 1875 Н; Б – малый груз (625 Н); В – средний груз (2500 Н); Г – большой груз (5000 Н).
2500	А+Б	
5000	А+Б+В	
7500	А+Б+Г	
10000	А+Б+В+Г	
30000	А+Б+В+5Г	

На приборе Бринелля можно измерять твердость до 450 кгс/мм^2 . Если твердость больше приведенной величины, то шарик начинает деформироваться и показания прибора становятся неправильными.

Требования к образцам

Толщина образца S должна быть не менее чем в 8 раз превышать глубину отпечатка h и определяется по справочным таблицам (приложение К) или по формуле

$$S \geq 8 \frac{0.102 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot HB(HBW)}.$$

Поверхность образца должна быть плоской и гладкой.

Шероховатость поверхности образца (или площадки на изделии) Ra должна быть не более 2,5 мкм по ГОСТ 2789-73, если нет других указаний в нормативно-технической документации на металлопродукцию.

Образец должен быть подготовлен таким образом, чтобы не изменялись свойства металла в результате механической или другой обработки, например, от нагрева или наклепа.

Порядок выполнения работы

Испытания проводят при температуре (20_{-10}^{+15}) °С.

Опорные поверхности столика и подставки, а также опорные и рабочие поверхности образца должны быть очищены от посторонних веществ (окалины, смазки и др.). Образец должен быть установлен на столике или подставке устойчиво во избежание его смещения и прогиба во время измерения твердости.

При твердости металлов менее 450 единиц для измерения твердости применяют стальные шарики или шарики из твердого сплава. При твердости металлов более 450 единиц – только шарики из твердого сплава. Диаметр шарика D и соответствующее усилие F выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатки находился в пределах от 0,24 до 0,6 D . Усилие F в зависимости от значения K и диаметра шарика D устанавливают в соответствии с таблицей 7.3.

При измерении твердости наконечник плавно приводят в соприкосновение с поверхностью образца и плавно прикладывают заданное усилие F до тех пор, пока оно не достигнет необходимой величины.

Продолжительность выдержки наконечника под действием заданного усилия должна соответствовать таблице 7.4, если не имеется других указаний в нормативно-технической документации на металлопродукцию.

Таблица 7.3

Правило установки грузов на рычажном прессе

Диаметр шарика, мм	Нагрузка F , Н, для K					
	30	15	10	5	2,5	1
1,0	294,2	-	98,07	49,03	24,52	98,807
2,0	1177	-	392,3	196,1	98,07	39,23
2,5	1839	-	612,9	306,0	153,0	60,80
5,0	7355	-	2452	1226	612,9	245,2
10,0	29420	14710	9807	4903	2452	980,7

Таблица 7.4

Продолжительность выдержки наконечника под действием усилия

Твердость по Бринеллю НВ	Продолжительность выдержки, с
До 10	180
Св. 10 до 35	120
Св. 35 до 100	30
Св. > 100	10–15

Время от начала приложения усилия до достижения им заданной величины должно составлять 2 – 8 с.

Расстояние между центром отпечатка и краем образца должно быть не менее 2,5 диаметров отпечатка d ; расстояние между центрами двух смежных отпечатков должно быть не менее четырех диаметров отпечатка; для металлов с твердостью до 35 НВ эти расстояния должны быть соответственно $3d$ и $6d$.

В результатах измерения твердости на образцах с криволинейной поверхностью длина и ширина изготовленной плоской площадки должны быть не менее двух диаметров D шарика.

После измерения твердости на обратной стороне образца не должно наблюдаться пластической деформации от отпечатка.

Диаметр отпечатка измеряют с помощью микроскопа или других средств измерения с предельной погрешностью:

- $\pm 0,5$ (при применении шариков диаметром 1,0; 2,0 или 2,5 мм);
- $\pm 0,25$ % (при применении шариков диаметром 5,0 и 10,0 мм) от диаметра шарика.

Диаметры отпечатков d_1 и d_2 измеряются в двух взаимно перпендикулярных направлениях. За диаметр отпечатка d принимается среднее арифметическое значение результатов измерений. При этом разность измерений диаметров одного отпечатка не должна превышать 2 % меньшего из них. Данные измерений заносят в протокол (приложение Л).

Твердость образца в единицах (HB) считывается по показанию измерительного устройства твердомера или рассчитывается в соответствии с приложением М.

Например: для диаметра отпечатка 0,644 мм твердость составляет $189HB$.

Содержание отчета

- цель работы;
- задание на выполнение работы;
- описание экспериментального оборудования и натуральных образцов;
- описание методики исследования и обработки результатов;
- протоколы измерения твердости;
- выводы и рекомендации.

Приложение К

Минимальная толщина образца

Диаметр отпечатка, мм	Минимальная толщина образца при диаметре шарика, мм				
	2	2,5	3	4	5
0,5	0,25	-	-	-	-
0,6	0,37	0,29	-	-	-
0,7	0,51	0,40	-	-	-
0,8	0,67	0,53	-	-	-
0,9	0,86	0,67	-	-	-
1,0	1,07	0,83	-	-	-
1,1	1,32	1,02	-	-	-
1,2	1,60	1,23	-	0,58	-
1,3	-	1,46	-	0,69	-
1,4	-	1,72	-	0,80	-
1,5	-	2,0	-	-	-

**ПРОТОКОЛ
ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ**

Обозначение образца	Материал образца	Диаметр шарика, мм	Значение усилия, Н	Продолжительность выдержки, с	Число твердости, НВ	Среднее число твердости, НВ
				15		
				30		
				120		
				15		
				30		
				120		
				15		
				30		
				120		

Приложение М

Значение твердости по Бринеллю
при диаметре шарика $D = 2,5$ мм,
испытательной нагрузке $F = 613$ Н и $K = 10$

d , мм	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,620	-	-	-	-	-	200	200	199	199	198
0,630	197	197	196	195	195	194	194	193	192	192
0,640	191	190	190	189	189	188	187	187	186	186
0,650	185	185	184	183	183	182	182	181	181	180
0,660	179	179	178	178	177	177	176	176	175	175
0,670	174	174	173	172	172	171	171	170	170	169
0,680	169	168	168	167	167	166	166	165	165	164
0,690	164	163	163	162	162	161	161	161	160	160
0,700	159	159	158	158	157	157	156	156	156	155
0,710	155	154	154	153	153	152	152	152	151	151
0,720	150	150	149	149	149	148	148	147	147	146
0,730	146	146	145	145	144	144	144	143	143	142
0,740	142	142	141	141	141	140	140	139	139	139
0,750	138	138	137	137	137	136	136	136	135	135
0,760	135	134	134	133	133	133	132	132	132	131
0,770	131	131	130	130	130	129	129	129	128	128
0,780	128	127	127	127	126	126	126	125	125	125
0,790	124	124	124	123	123	123	122	122	122	121
0,800	121	121	120	120	120	120	119	119	119	119
0,810	118	118	117	117	117	117	116	116	116	116
0,820	115	115	115	114	114	114	113	113	113	113
0,830	112	112	112	111	111	111	111	110	110	110
0,840	109	109	109	109	108	108	108	108	107	107
0,850	107	107	106	106	106	106	105	105	105	105
0,860	104	104	104	104	103	103	103	103	102	102
0,870	102	102	101	101	101	101	100	100	99,9	99,7
0,880	99,5	99,2	99,0	98,8	98,5	98,3	98,1	97,9	97,6	97,4
0,890	97,2	96,9	96,7	96,5	96,3	96,1	95,8	95,6	95,4	95,2
0,900	94,9	94,7	94,5	94,3	94,1	93,9	93,6	93,4	93,2	93,0
0,910	92,8	92,6	92,4	92,2	92,0	91,7	91,5	91,3	91,1	90,9
0,920	90,7	90,5	90,3	90,1	89,9	89,7	89,5	89,3	89,1	88,9
0,930	88,7	88,5	88,3	88,1	87,9	87,7	87,5	87,3	87,1	86,9
0,940	86,8	86,6	86,4	86,2	86,0	85,8	85,6	85,4	85,2	85,1
0,950	84,9	84,7	84,5	84,3	84,1	83,9	83,8	83,6	83,4	83,2
0,960	83,0	82,9	82,7	82,5	82,3	82,1	82,0	81,8	81,6	81,4

Продолжение приложения М

d , мм	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,970	81,3	81,1	80,9	80,7	80,6	80,4	80,2	80,0	79,9	79,7
0,980	79,5	79,4	79,2	79,0	78,9	78,7	78,5	78,4	78,2	78,0
0,990	77,9	77,7	77,5	77,4	77,2	77,1	76,9	76,7	76,6	76,4
1,000	76,3	76,1	75,9	75,8	75,6	75,5	75,3	75,2	75,0	74,8
1,010	74,7	74,5	74,4	74,2	74,1	73,9	73,8	73,6	73,5	73,3
1,020	73,2	73,0	72,9	72,7	72,6	72,4	72,3	72,1	72,0	71,8
1,030	71,7	71,5	71,4	71,2	71,1	71,0	70,8	70,7	70,5	70,4
1,040	70,2	70,1	70,0	69,8	69,7	69,5	69,4	69,3	69,1	69,0
1,050	68,8	68,7	68,6	68,4	68,3	68,2	68,0	67,9	67,8	67,6
1,060	67,5	67,3	67,2	67,1	66,9	66,8	66,7	66,6	66,4	66,3
1,070	66,2	66,0	65,9	65,8	65,6	65,5	65,4	65,3	65,1	65,0
1,080	64,9	64,7	64,6	64,5	64,4	64,2	64,1	64,0	63,9	63,8
1,090	63,6	63,5	63,4	63,3	63,1	63,0	62,9	62,8	62,7	62,5
1,100	62,4	62,3	62,2	62,1	61,9	61,8	61,7	61,6	61,5	61,3
1,110	61,2	61,1	61,0	60,9	60,8	60,6	60,5	60,4	60,3	60,2
1,120	60,1	60,0	59,8	59,7	59,6	59,5	59,4	59,3	59,2	59,1
1,130	59,0	58,8	58,7	58,6	58,5	58,4	58,3	58,2	58,1	58,0
1,140	57,9	57,8	57,6	57,5	57,4	57,3	57,2	57,1	57,0	56,9
1,150	56,8	56,7	56,6	56,5	56,4	56,3	56,2	56,1	56,0	55,9
1,160	55,8	55,7	55,6	55,5	55,4	55,3	55,2	55,1	55,0	54,9
1,170	54,8	54,7	54,6	54,5	54,4	54,3	54,2	54,1	54,0	53,9
1,180	53,8	53,7	53,6	53,5	53,4	53,3	53,2	53,1	53,0	52,9
1,190	52,8	52,7	52,6	52,5	52,4	52,3	52,2	52,1	52,1	52,0
1,200	51,9	51,8	51,7	51,6	51,5	51,4	51,3	51,2	51,1	51,0
1,210	51,0	50,9	50,8	50,7	50,6	50,5	50,4	50,3	50,2	50,2
1,220	50,1	50,0	49,9	49,8	49,7	49,6	49,5	49,5	49,4	49,3
1,230	49,2	49,1	49,0	48,9	48,9	48,8	48,7	48,6	48,5	48,4
1,240	48,3	48,3	48,2	48,1	48,0	47,9	47,8	47,8	47,7	47,6
1,250	47,5	47,4	47,4	47,3	47,2	47,1	47,0	46,9	46,9	46,8
1,260	46,7	46,6	46,5	46,5	46,4	46,3	46,2	46,2	46,1	46,0
1,270	45,9	45,8	45,8	45,7	45,6	45,5	45,5	45,4	45,3	45,2
1,280	45,1	45,1	45,0	44,9	44,8	44,8	44,7	44,6	44,5	44,5
1,290	44,4	44,3	44,2	44,2	44,1	44,0	43,9	43,9	43,8	43,7
1,300	43,7	43,6	43,5	43,4	43,4	43,3	43,2	43,1	43,1	43,0
1,310	42,9	42,9	42,8	42,7	42,6	42,6	42,5	42,4	42,4	42,3
1,320	42,2	42,2	42,1	42,0	41,9	41,8	41,7	41,7	41,7	41,6
1,330	41,5	41,5	41,4	41,3	41,3	41,2	41,1	41,1	41,0	40,9
1,340	40,9	40,8	40,7	40,7	40,6	40,5	40,5	40,4	40,3	40,3
1,350	40,2	40,1	40,1	40,0	39,9	39,9	39,8	39,8	39,7	39,6
1,360	39,6	39,5	39,4	39,4	39,3	39,2	39,2	39,1	39,1	39,0

Окончание приложения М

d , мм	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
1,370	38,9	38,9	38,8	38,7	38,7	38,6	38,6	38,5	38,4	38,4
1,380	38,3	38,3	38,2	38,1	38,1	38,0	38,0	37,9	37,8	37,8
1,390	37,7	37,6	37,6	37,5	37,5	37,4	37,4	37,3	37,2	37,2
1,400	37,1	37,1	37,0	36,9	36,9	36,8	36,8	36,7	36,7	36,6
1,410	36,5	36,5	36,4	36,4	36,3	36,3	36,2	36,1	36,1	36,0
1,420	36,0	35,9	35,9	35,9	35,7	35,7	35,6	35,6	35,5	35,5
1,430	35,4	35,4	35,3	35,3	35,2	35,1	35,1	35,0	35,0	34,9
1,440	34,9	34,8	34,8	34,7	34,7	34,6	34,6	34,5	34,4	34,4
1,450	34,3	34,3	34,2	34,2	34,1	34,1	34,0	34,0	33,9	33,9
1,460	33,8	33,8	33,7	33,6	33,6	33,5	33,5	33,5	33,4	33,4
1,470	33,3	33,3	33,2	33,2	33,1	33,1	33,0	33,0	32,9	32,9
1,480	32,8	32,8	32,7	32,7	32,6	32,6	32,5	32,5	32,4	32,4
1,490	32,3	32,3	32,2	32,2	32,1	32,1	32,0	32,0	31,9	31,9
1,500	31,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Шрифтом выделено определение твердости при диаметре отпечатка 0,644 мм

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Общие положения

Металлы и сплавы, используемые в качестве конструкционных материалов, должны обладать определенными механическими свойствами – прочностью, упругостью, пластичностью, твердостью.

Прочность – это способность металла сопротивляться деформации и разрушению.

Деформацией называется изменение размеров и формы тела под действием внешних сил. Деформации подразделяются на упругие и пластические. Упругие исчезают, а пластические остаются после окончания действия сил. В основе пластических деформаций – необратимые перемещения атомов от исходных положений на расстояния, большие межатомных, изменение формы отдельных зерен металла, их расположения в пространстве.

Способность металлов пластически деформироваться называется **пластичностью**. Пластичность обеспечивает конструктивную прочность деталей под нагрузкой и нейтрализует влияние концентраторов напряжений – отверстий, вырезов и т.п. При пластическом деформировании металла одновременно с изменением формы меняется ряд свойств, в частности при холодном деформировании повышается прочность, но снижается пластичность.

Большинство механических характеристик металла определяют в результате испытания образцов (рис. 8.1) на растяжение (ГОСТ 1497-84), размеры которых приведены в таблице 8.1.

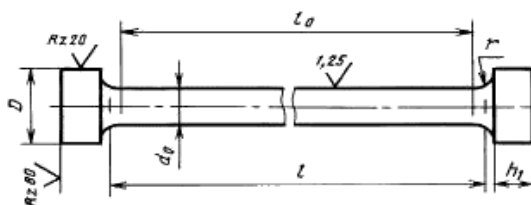


Рис. 8.1. Общий вид образца типа III для исследования растяжения металлов

Таблица 8.1

Размеры образцов Тип III, мм

Номер образца	d_0	$l_0 = 5d_0$	$l_0 = 10d_0$	l	D	h_1	r
1	25	1125	250	$l_0 + (0,5 \dots 2)d_0$	45	30	5
2	20	100	200		34	25	5
3	15	75	150		28	20	3
4	10	50	100		16	10	3
5	8	40	80		13	10	2
6	6	30	60		12	10	1,5
7	5	25	50		11	10	1,5
8	4	20	40		9	8	1,5
9	3	15	30		7	7	1,5

При растяжении образцов с площадью поперечного сечения F_0 и рабочей (расчетной) длиной l_0 строят диаграмму растяжения в координатах: нагрузка P – удлинение D_1 образца (рис. 8.2).

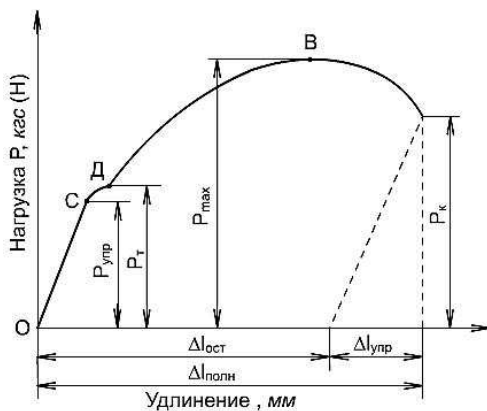


Рис. 8.2. Диаграмма растяжения металла. Если образец нагрузить в пределах $R_{упр}$, а затем полностью разгрузить и измерить его длину, то никаких последствий нагружения не обнаружится.

Такой характер деформирования образца называется упругим. При нагружении образца более $R_{упр}$ появляется остаточная (пластическая) деформация. Пластическое деформирование идет при возрастающей нагрузке, так как металл упрочняется в процессе деформирования. Упрочнение металла при деформировании называется наклепом. При дальнейшем нагружении пластическая деформация, а вместе с ней и наклеп все более увеличиваются, равномерно распределяясь по всему объему образца. После достижения максимального значения нагрузки R_{max} в наиболее слабом месте появляется местное утонение образца – шейка, в которой в основном и протекает дальнейшее пластическое деформирование. В это время между деформированными зернами, а иногда и внутри самих зерен могут зарождаться трещины. В связи с развитием шейки, несмотря на продолжающееся упрочнение металла, нагрузка уменьшается от R_{max} до R_k , и при нагрузке R_k происходит разрушение образца. При этом упругая деформация образца ($D_{упр}$) исчезает, а пластическая ($D_{лост}$) остается (см. рис. 8.1).

При деформировании твердого тела внутри него возникают внутренние силы. Величину сил, приходящуюся на единицу площади поперечного сечения образца, называют напряжением. Размерность напряжения $кгс/мм^2$, или $МПа$ ($1кгс/мм^2 = 10 МПа$).

Отмеченные выше нагрузки на кривой растяжения ($R_{упр}$, R_T , R_{max} , R_k) служат для определения основных характеристик прочности (напряжений): предела упругости, физического предела текучести, временного сопротивления (предела прочности) и истинного сопротивления разрушению. В технических расчетах вместо предела прочности обычно используется условный предел текучести, которому соответствует нагрузка $R_{0,2}$ (рис. 8.3).

При растяжении образец удлиняется, а его поперечное сечение непрерывно уменьшается. Но поскольку площадь поперечного сечения образца в каждый данный момент определить сложно, то при расчете предела упругости, предела текучести и временного сопротивления пользуются условными напряжениями, считая, что поперечное сечение образца остается неизменным. Истинное напряжение рассчитывается только при определении сопротивления разрушению.

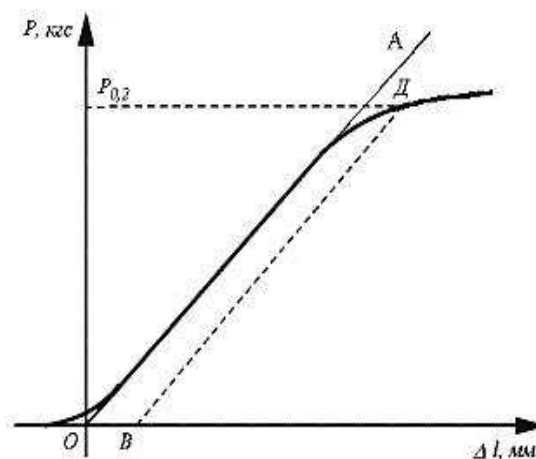


Рис. 8.3. Участок диаграммы растяжения металла

Условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) – это напряжение, при котором образец получает остаточное (пластическое) удлинение, равное 0,2 % своей расчетной длины:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0},$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, вызывающая остаточное (пластическое) удлинение; равное 0,2 %, кгс (Н);

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Временное сопротивление (предел прочности) σ_b – это напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца.

$$\sigma_b = \frac{P_{\max}}{F_0},$$

где P_{\max} – максимальная нагрузка, предшествующая разрушению, кгс (Н).

Временное сопротивление (предел прочности) характеризует несущую способность материала, его прочность, предшествующую разрушению.

Истинное сопротивление разрушению (S_k) – истинное напряжение, предшествующее моменту разрушения образца:

$$S_k = \frac{P_k}{F_k},$$

где P_k – нагрузка, непосредственно предшествующая моменту разрушения, кгс (Н).

F_k – площадь поперечного сечения образца в месте разрушения, мм².

Несмотря на то что P_{\max} больше P_k , истинное сопротивление разрушению $S_k > \sigma_b$, поскольку площадь поперечного сечения образца в месте разрушения F_k значительно меньше начальной площади поперечного сечения F_0 .

Для оценки пластичности металла служат относительное остаточное удлинение образца при растяжении (d_p , %) и относительное остаточное сужение площади поперечного сечения образца (y_p , %).

Относительное остаточное удлинение (δ_p , %) определяется по формуле

$$\delta_p = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% ,$$

где l_k – рабочая длина образца после испытания, мм;

l_0 – рабочая длина до испытания, мм.

Относительное остаточное сужение (y_p , %) определяется из выражения:

$$\Psi_p = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\% ,$$

где F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм²;

F_k – площадь сечения образца в месте разрушения, мм².

Правила построения диаграммы растяжения

Для определения нагрузки, которая вызывает деформацию, соответствующую условному пределу текучести, следует выполнить следующие действия.

1. На диаграмме растяжения провести прямую ОА (см. рис. 8.2), совпадающую с прямолинейным участком диаграммы растяжения.

2. Определить положение точки О.

3. Через точку О провести ось ординат ОР. Масштаб записи диаграммы по нагрузке: одному миллиметру ординаты соответствует 2 кгс нагрузки. Численная величина искомой нагрузки Р (кгс) равна соответствующей ординате диаграммы (мм), умноженной на масштаб диаграммы .

4. Для определения нагрузки, соответствующей условному пределу текучести $R_{0,2}$, необходимо от начала координат по оси абсцисс отложить отрезок ОВ, величина которого равна заданному остаточному удлинению 0,2 %. Длина отрезка ОВ (мм) рассчитывается по формуле

$$OB = \frac{l_0}{100} \cdot 0.2M ,$$

где l_0 – рабочая длина образца, мм;

M – масштаб записи диаграммы по деформации.

5. Из точки В провести прямую ВД, параллельную прямолинейному участку диаграммы растяжения (см. рис. 8.2), до пересечения с диаграммой.

6. Используя известный масштаб записи диаграммы по нагрузке, определить численные значения нагрузок $P_{0,2}$, P_{\max} , P_k , после чего рассчитать соответствующее напряжения: $S_{0,2}$, S_b , S_k .

7. Полученные данные занести в протокол испытания (приложение Н).

Цель работы – ознакомиться с проведением испытания на растяжение и определением показателей прочности и пластичности.

Оборудование и материалы

- разрывная машина Р-20;
- стандартный образец из качественной стали;
- штангенциркуль ШЦЦ-1;
- мерительная линейка;
- набор натуральных образцов (Тип Ш).

Порядок выполнения работы

- ознакомиться с содержанием настоящих методических указаний;
- подготовить натуральный образец для испытаний;
- произвести обмер натурального образца и сделать соответствующую запись в Протокол испытаний;
- установить образец и провести испытания;
- зафиксировать результаты испытания и внести соответствующие записи в Протокол испытаний;
- построить диаграмму растяжения образца в требуемом масштабе;
- произвести расчет требуемых показателей прочности испытываемого материала;
- сравнить результаты лабораторных испытаний с табличными и сделать выводы.

Содержание отчета

- название работы;
- цель работ;
- диаграмма растяжения (см. рис. 8.2);
- определения основных характеристик прочности и пластичности;
- протокол испытания;
- выводы.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ

Марка материала _____

№, № п/п	Снимаемые параметры	Обозначение	Единица измерения	Численная величина
1.	Рабочая длина образца до испытания	l_0	мм	
2.	Диаметр образца до испытания	d_0	мм	
3.	Площадь поперечного сечения образца до испытания	F_0	мм ²	
4.	Масштаб записи диаграммы по деформации	M		
Результаты испытаний				
5.	Нагрузка, соответствующая пластическому удлинению образца на 0,2 %	$P_{0,2}$	кгс	
6.	Максимальная нагрузка при испытании	P_{max}	кгс	
7.	Нагрузка в момент разрушения	P_k	кгс	
8.	Диаметр образца в месте разрушения	d_k	мм	
9.	Площадь поперечного сечения образца в месте разрушения	F_k	мм ²	
10.	Рабочая длина образца после испытания	l_k	мм	
Характеристика прочности и пластичности				
11.	Условный предел текучести	$\sigma_{0,2}$	кгс/мм ² (МПа)	
12.	Временное сопротивление (предел прочности)	σ_0	кгс/мм ² (МПа)	
13.	Истинное сопротивление разрушению	S_k	кгс/мм ² (МПа)	
14.	Относительное остаточное удлинение	δ_r	%	
15.	Относительное остаточное сужение	ψ_r	%	

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Общие сведения

Микроскопический анализ заключается в исследовании структуры материала при больших увеличениях с помощью микроскопа. Наблюдаемая структура материала называется микроструктурой. В зависимости от требуемого увеличения для четкого наблюдения всех присутствующих фаз, их количества, формы и распределения, т.е. структуры в целом, в микроскопах используют:

- белый свет и обычные оптические системы, являющиеся комбинацией стеклянных линз и призм (оптическая микроскопия);
- электронные лучи или поток электронов для создания оптических систем, для которых необходимо применять электромагнитные или электростатические линзы (электронная микроскопия).

Применение белого света позволяет наблюдать структуру металла при общем увеличении от нескольких десятков до 2000–3000 раз. Однако полезное увеличение, определяемое условиями дифракции света, не может быть выше 1500 раз. При таком увеличении можно обнаружить отдельно элементы структуры размером не менее 0,2 мкм, что в большинстве случаев достаточно для определения размеров многих фаз, присутствующих в сплавах. Это позволяет успешно применять метод оптической микроскопии для наблюдения структуры многих металлических сплавов.

Выбор увеличения в пределах, допускаемых оптическим микроскопом, решается в зависимости от конкретной структуры сплава. В одних случаях нет необходимости (и даже нецелесообразно) применять большие увеличения, для других сплавов изучение структуры при большом увеличении является необходимым.

Как правило, микроанализ проводят сначала при небольшом увеличении, а затем, в зависимости от строения обнаруживаемой структуры и целей исследования, при больших увеличениях, просматривая в каждом случае ряд участков шлифа.

Особенности микроструктуры сталей и сплавов

Сплавы с содержанием до 0,02 % углерода называются техническим железом. Сплавы железа с углеродом до 2 % С называются сталями. Сплавы, содержащие более 2 % углерода, называются чугунами.

Структурные составляющие раствора углерода в железе при различных температурах представлены на рисунке 9.1.

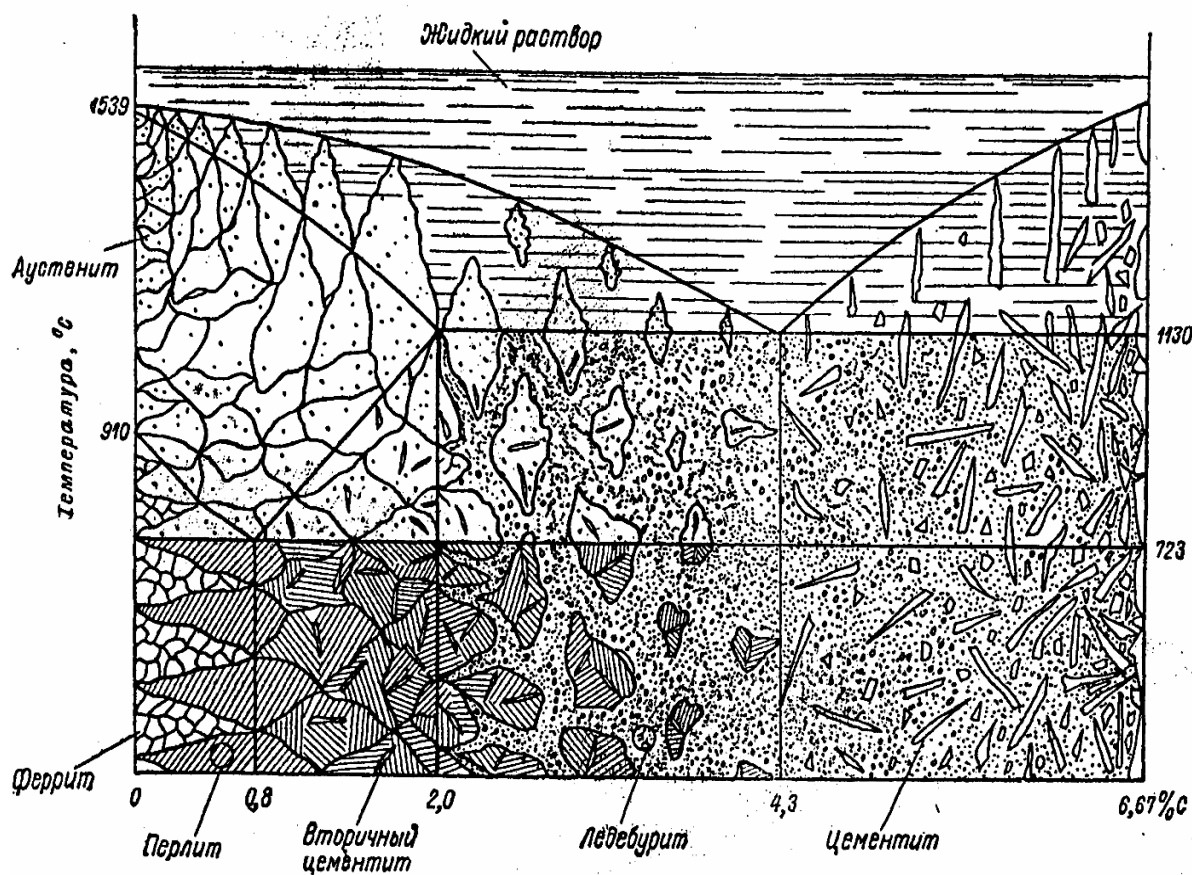


Рис. 9.1. Структурные составляющие раствора углерода в железе

При комнатной температуре углеродистая сталь находится в равновесном состоянии (т.е. все фазы превращений полностью завершились) и состоит из двух фаз: феррита и перлита.

Ферритом называется твердый раствор внедрения углерода в α -железо с объемно-центрированной кубической решеткой. Предельное содержание углерода в феррите около 0,006 % при комнатной температуре. В связи с этим сплавы железа с содержанием до 0,006 % углерода имеют структуру только твердого раствора углерода в α -железе, т.е. феррита. Ввиду малого содержания углерода в феррите он отличается небольшой твердостью (80...100 *HV*) и значительной пластичностью; ниже 768°C феррит ферромагнитен, а выше – теряет свои магнитные свойства. После травления 4%-ным раствором азотной кислоты феррит остается светлым. Под микроскопом феррит выявляется в виде однородных полиэдрических зерен (рис. 9.2).

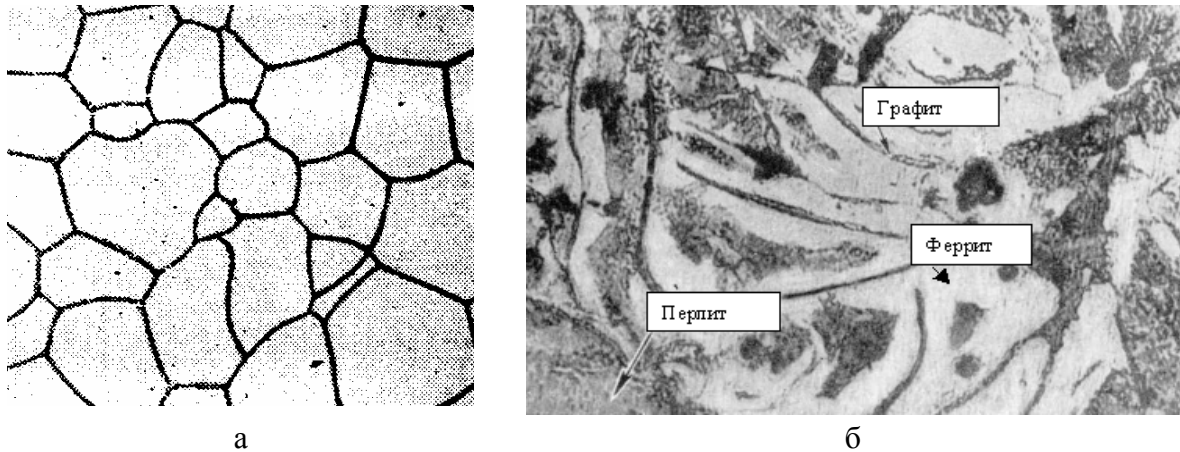


Рис. 9.2 Феррит а – в сталях; б – в чугунах (б)

В сплавах с содержанием углерода от 0,006 до 0,02 % в связи с понижением растворимости углерода в α -железе при понижении температуры из феррита выделяется цементит, называемый третичным. Он выделяется по границам зерен феррита.

Цементит (карбид железа Fe_3C) представляет собой химическое соединение углерода с железом. Содержание углерода в цементите составляет 6,67 %. Цементит отличается высокой твердостью (700...800 *HV*) и значительной хрупкостью. После травления раствором азотной кислоты он остается светлым (рис. 9.3).

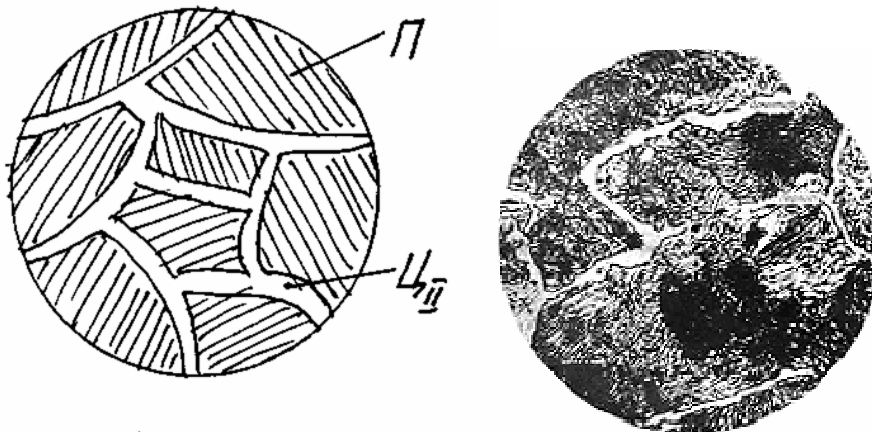


Рис.9.3. Цементит

В зависимости от содержания углерода углеродистые стали разделяются на три группы: доэвтектоидная, содержащая углерода менее 0,8 %, эвтектоидная (0,8 % углерода) и заэвтектоидная с содержанием углерода от 0,8 до 2 %.

Эвтектоидная углеродистая сталь называется перлитом и представляет собой равномерно распределенную механическую смесь феррита и цементита. Структура перлита состоит из мелких включений цементита, расположенных в феррите (рис. 9.4).

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в железо с гранецентрированной кубической решеткой – состоит из светлых зерен с характерными двойниками. Чем больше углерода в этой стали, тем более массивной (толстой) получается цементитная сетка (рис. 9.5).

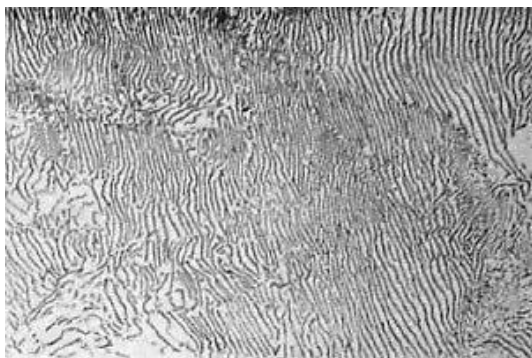


Рис. 9.4. Перлит
(цементит в феррите)

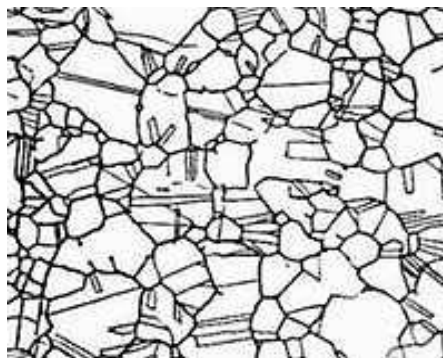


Рис. 9.5. Аустенит (светлый),
феррит (темный)

Конструкционные стали классифицируются в зависимости от содержания углерода на низкоуглеродистые и среднеуглеродистые. К низкоуглеродистым сталям относятся стали с содержанием углерода до 0,25 % – стали 10, 15, 20, а также легированные, например, 15Г, 20Х, 18ХГТ, 20Х2Н4А и др.

К среднеуглеродистым сталям относятся стали с содержанием углерода от 0,25 до 0,6 % – стали 35, 40, 45, 50, а также легированные, например, 40Х, 40ХГ, 40ХГР, 30ХГСА, 45ХН, 40ХНМА и др. Наиболее распространенной среди них является сталь 45 (0,42–0,50 % углерода).

Техника приготовления микрошлифов

Изучение под микроскопом структуры металлов, а также непрозрачных неметаллических материалов возможно лишь при достаточном отражении световых лучей от исследуемой поверхности. Поэтому поверхность образца должна быть специально подготовлена. Образец, поверхность которого специально подготовлена для микроанализа, называется микрошлифом.

Для изготовления микрошлифа необходимо вырезать образец из исследуемого металла и получить на нем плоскую блестящую поверхность.

Детали или образцы небольших размеров и массы после получения поверхности можно непосредственно установить на столике микроскопа. Если размеры или масса детали (образца) значительны или если трудно получить на детали плоскую поверхность вследствие сложной конфигурации, необходимо вырезать специальный образец небольших размеров и приготовить из него микрошлиф.

Особое значение для результатов исследования имеет выбор места, из которого надо вырезать образец, и поверхности, по которой надо приготовить микрошлиф. Этот выбор зависит от цели исследования и формы детали; поэтому здесь можно привести лишь общие указания.

Микроструктуру литых материалов и сплавов проверяют в различных сечениях отливки – от самых больших до минимальных; металл в этих сечениях охлаждается с разной скоростью, а структура многих литейных сплавов зависит от скорости охлаждения.

При исследовании влияния пластической деформации на структуру металла место вырезки образца лучше определить после выполнения макроанализа и выявления направления пластической деформации и наиболее характерных участков данной детали.

Структуру сплавов, подвергающихся термической обработке, проверяют в поверхностных, а также в более глубоких слоях детали. При оценке свойств сплавов, находящихся в неравновесном состоянии, необходимо наряду с микроанализом использовать также и другие методы исследования (прежде всего измерение твердости), которые можно выполнить на том же микрошлифе.

Полученную плоскую поверхность образца шлифуют на шлифовальной (наждачной) шкурке с зернами различной величины (номеров).

Шлифуют вручную на шкурке, положенной на толстое стекло, или на специальных шлифовальных станках. При шлифовании вручную образец подготовленной плоскостью прижимают рукой к шлифовальной шкурке и водят им по бумаге в направлении, перпендикулярном к рискам, полученным после опилования напильником. Шлифуют до полного исчезновения рисок, после этого поверхность образца протирают ватой (или промывают), поворачивают на 90 градусов и шлифуют на шкурке с более мелким абразивным зерном до полного исчезновения рисок, полученных от предыдущего шлифования. При замене шкурки одного размера зернистости другим образец протирают ватой и поворачивают на 90 градусов, чтобы риски при последующей обработке получались перпендикулярными к рискам от предыдущей обработки.

Можно шлифовать также специальными пастами, нанесенными на небольшие листы чертежной бумаги.

Механическое шлифование осуществляется на специальных шлифовальных машинах, имеющих несколько кругов диаметром 200 – 250 мм, приводимых во вращение от электродвигателя. На поверхность кругов надевают или наклеивают шлифовальную шкурку. Методика механического шлифования аналогична методике ручного.

Чтобы получить хорошее качество подготавливаемой поверхности образца, шлифование с самого начала надо вести правильно и аккуратно. Нельзя переходить с крупнозернистой шлифовальной шкурки сразу на мелкозернистую. В этом случае грубые риски полностью не устраняются, промежутки между ними заполняются металлом, опилками, наждаком, и поверхность образца только с виду кажется хорошо подготовленной. После дальнейшей обработки поверхности (полирования, травления) легко-растворимый металл и опилки будут удалены и резко выступят риски, которые придется удалять повторным шлифованием.

При шлифовании также не следует сильно нажимать на образец для ускорения работы, так как это может вызвать заметный нагрев шлифуемой поверхности и внедрение абразивных зерен в металл, в результате чего на микрошлифе будут черные точки.

После окончания шлифования на шлифовальной шкурке самой мелкой зернистости полированием удаляют риски и обрабатываемая поверхность образца получается зеркальной. Полирование можно осуществлять механическим и электролитическим способами.

Механическое полирование производят на специальном полировальном станке с кругом диаметром 200 – 250 мм, обтянутым сукном или фетром. Частота вращения круга от электродвигателя равна 700 – 800 об/мин. Сукно смачивают полировальной жидкостью. К вращающемуся кругу с сукном прижимают отшлифованной поверхностью образец и в процессе полирования поворачивают. Полируют до полного исчезновения рисков и получения зеркальной поверхности (5 – 10 мин при хорошо отшлифованной поверхности).

Чтобы получить хороший результат полирования, образец не следует сильно прижимать к сукну, так как при этом, хотя и ускоряется удаление рисков, но происходят деформирование поверхностного слоя и искажение структуры, выкрашивание хрупких включений. Сильный нажим на образец приводит также к более быстрому высыханию полировальной жидкости и возможному пригоранию поверхности.

Полировальными составами являются взвешенные в воде мелкие порошки окиси алюминия (глинозем), окись хрома, окись железа (крокус) и окись магния (магнезия). Сейчас очень часто для полирования используют алмазные пасты, содержащие алмазные микропорошки марки АСМ или АМ, связующие и поверхностно-активные вещества, которые наносят на лист бумаги, закрепленный на вращающемся круге полировального станка.

При полировании образец-шлиф перемещают от центра круга к периферии или «восьмеркой». В случаях химико-механического полирования используют полировочные абразивные частицы совместно с химическими веществами, способствующими процессу полирования. В частности, для полирования цветных и некоторых редких металлов используют химически активные вещества (например, растворы желтой кровяной соли), которые не только ускоряют процесс полирования, но и выявляют микроструктуру без последующего травления.

После полирования любым методом микрошлиф промывают водой, затем спиртом и просушивают фильтровальной бумагой во избежание окисления его на воздухе.

По зеркальной поверхности образца, полученной после полирования, нельзя судить о строении сплава. Только неметаллические включения (сульфиды, оксиды, графит в сером чугуна) вследствие их окрашенности в различные цвета резко выделяются на светлом фоне полированного микрошлифа.

Для выявления микроструктуры полированную поверхность образца подвергают травлению. При травлении неоднородные участки металла или сплава становятся видимыми под микроскопом.

Продолжительность травления зависит от марки стали и структуры, обычно достаточна выдержка в несколько секунд.

Признаком протравливания является потускнение поверхности. После травления микрошлиф промывают водой, протирают ватой, смоченной спиртом, а затем просушивают прикладыванием фильтровальной бумаги или слегка протирают сухой ватой.

В результате травления выявляется микроструктура. Если структура недостаточно выявлена, следовательно, шлиф недотравлен, и его травят повторно. Если структура получается слишком темная и разъеденная, то шлиф перетравлен; тогда его нужно снова полировать и травить, уменьшив время выдержки или ослабив травитель.

Реактивы, применяемые для исследования микроструктур сталей, приведены в таблице 9.1.

Реактивы для исследования микроструктуры
углеродистых и низколегированных сталей

Наименование	Состав реактива	Назначение и особенности применения
Спиртовой раствор азотной кислоты	Азотная кислота 1 – 5 мл, этиловый или метиловый спирт 100 мл.	Реактивы окрашивают перлит в темный цвет, выявляют границы зерен феррита, структуру мартенсита и продуктов отпуска. Применяют также для выявления структуры азотированной и цементированной стали. С увеличением количества азотной кислоты в реактиве возрастает скорость травления. Продолжительность травления от нескольких секунд до минут.
Раствор азотной и соляной кислот	Азотная кислота 25 мл, соляная кислота 50 мл, двухромовокислый калий 12 г, вода 25 мл	Для выявления величины зерен в закаленной стали. Травление в реактиве, выдержанном 24 – 48 часов, время травления 1 – 2 с

Микроскоп металлографический вертикальный ММР-2

Конструкция

Предназначен для наблюдения и фотографирования микроструктуры металлов и других непрозрачных объектов в светлом поле при прямом и косом освещении, в темном поле и в поляризованном свете. На рисунке 9.6 показан его общий вид и оптическая схема.

Основными частями микроскопа являются:

- лампа 1, которая питается током от сети через трансформатор 9;
- свет от лампы проходит через линзу, от которой через светофильтры и диафрагму (ограничитель) попадает на полупрозрачную стеклянную пластинку, расположенную в верхней части микроскопа под предметным столиком 5.

- луч света отражается от пластинки и, пройдя объектив 10 (одну из трех линз, расположенных на револьверной головке около отверстия под предметным столиком, на котором устанавливается исследуемый объект – шлиф), падает на плоскость шлифа.

- от шлифа световой луч отражается, проходит линзу – окуляр 3 и направляется в глаз наблюдателя.

При фотографировании луч света от шлифа направляется на фотопластинку 8. Регулирование фокуса достигается подъемом или опусканием предметного столика 5 с помощью винтов 6 (более точное регулирование) и 7 (более грубое).

Положение шлифа в продольной и поперечной плоскостях регулируется винтом 11.

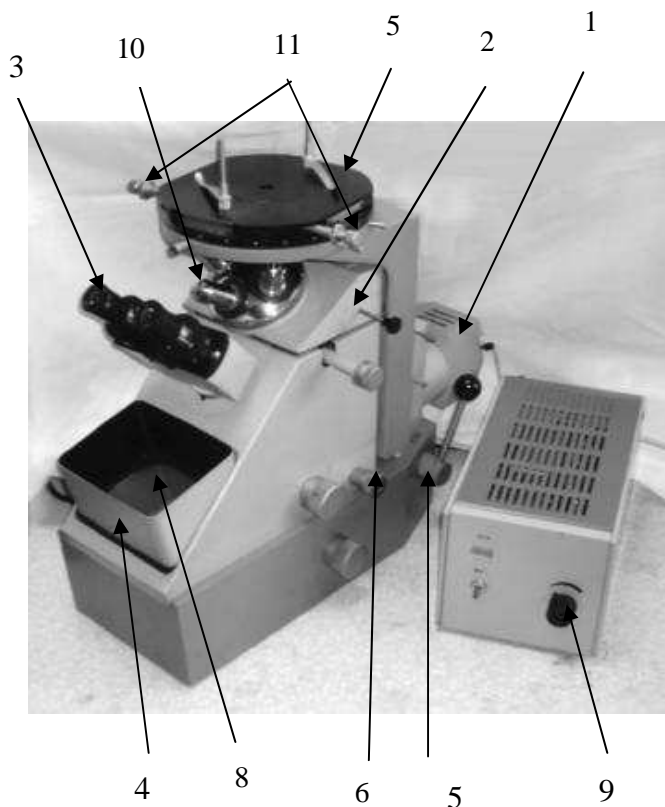


Рис. 9.6. Металлографический микроскоп ММР-2

Техника работы с микроскопом

С металлографическим микроскопом, являющимся сложным и точным прибором, необходимо обращаться аккуратно. Прежде чем приступить к работе, необходимо подробно ознакомиться с оптической системой и конструкцией микроскопа. Целесообразно пользоваться следующей инструкцией:

- 1) выбрать увеличение микроскопа, пользуясь данными таблицы 9.2. Начинать надо с меньших увеличений, переходя к большим;
- 2) в отверстие визуального тубуса вставить окуляр 3;
- 3) отвернуть зажимной винт, вращением макрометрического винта 6 поднять предметный столик 5 и вставить объектив в посадочное отверстие;
- 4) в окно предметного столика вставить подкладку с нужным отверстием в зависимости от размера шлифа;

Таблица 9.2

Увеличения микроскопа МИМ-6 при визуальном наблюдении

Объективы	Окуляры		
	12,5 ^x	15 ^x	20 ^x
F = 23,2; A = 0,17	100	–	170
F = 8,2; A = 0,37	300	–	–
F = 6,2; A = 0,65	400	490	–
F = 4,3; A = 0,95	590	–	940

5) вращением макрометрического винта 6 опустить предметный столик до совпадения риски на кронштейне предметного столика с точкой на корпусе микроскопа 2;

6) с помощью винтов установить предметный столик в таком положении, чтобы объектив был в центре отверстия подкладки;

7) поместить исследуемый шлиф полированной и протравленной поверхностью вниз на подкладку предметного столика над объективом и прижать прижимом, расположенным на столике.

Шлиф обязательно должен быть тщательно просушен, так как оставшиеся на шлифе травитель или влага могут испортить объектив и подкладку предметного столика. На это надо особенно обращать внимание при работе с образцами малых размеров, залитыми в оправку или закрепленными в зажимах, когда травитель или влага могут задержаться в зазорах между образцами и стенками зажима;

8) визуальный тубус 4 вдвинуть до упора и, наблюдая в окуляр, вращением макрометрического винта 6 произвести грубую наводку на фокус;

9) стопорным винтом закрепить предметный столик 5 в установленном положении;

10) наблюдая в окуляр, вращением микрометрического винта 7 произвести точную фокусировку.

11) наблюдая в окуляр, с помощью винтов 11 передвигать предметный столик 5 и просматривать структуру в разных местах шлифа. Водить шлифом по подкладке предметного столика нельзя.

Индивидуальное задание

- изучить микроструктуры сталей и сплавов, приведенных в настоящих методических указаниях;
- изучить методику приготовления микрошлифа и схему полирования;
- изучить устройство микроскопа металлографического ММР-2 и порядок работы на нем;
- подготовить бланк Протокола микроанализа (приложение П).

Последовательность выполнения работы

1. Получить образцы материалов.
2. Приготовить микрошлифы.
3. Протравить полученные микрошлифы 4 %-ной азотной кислотой.

Хотя в данной работе используются очень слабые растворы кислот, следует соблюдать меры предосторожности и исключить попадание раствора кислот на открытые участки тела и одежду. Если такое произошло, то надо быстро промыть место попадания кислоты под струей воды. Следует контролировать процесс травления микрошлифа, чтобы избежать перетравливания, иначе придется производить переполіровку образца.

4. Фильтровальной бумагой промокнуть протравленные микрошлифы для удаления остатков кислоты. Это следует делать без видимых механических усилий для исключения разрушения полученной структуры травления (она может быть очень хрупкой).

5. Поочередно просмотреть микрошлифы в микроскопе при 100 кратном увеличении.

6. Перестроить металлографический микроскоп на 500 кратное увеличение путем смены объектива.

7. Поочередно произвести сравнение увиденных микроструктур с фотографиями микроструктур, находящимися в Атласе микро- и макро-структур металлов и сплавов, или с фотографиями, находящимися на стенде в лаборатории (приложение Р). При этом особое внимание следует уделять совпадению величины увеличения, фазовых и структурных составляющих, их взаимному расположению. Зарисовать микроструктуры.

8. Сделать выводы о структурах сталей и сплавов.

9. После завершения программы работы сдать рабочее место лаборанту.

Содержание отчета

1. Краткое описание методов выявления микростроения и характерных микроструктур сталей и сплавов.

2. Характеристика металлических материалов, предназначенных для металлографического анализа.

3. Описание конструкции металлографического микроскопа ММР-2.

4. Описание техники подготовки микрошлифов, включая характеристики травильных сред.

5. Заполненный Протокол металлографического исследования.

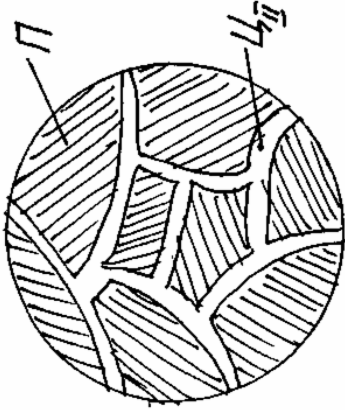
6. Выводы о структурах сталей и сплавов.

Примечание. Микроструктуры зарисовать в кругах диаметром 50 мм или в квадратах размером 50 × 50 мм. Основное внимание при зарисовке микроструктур уделить характерным особенностям микроструктуры и передать их на рисунке. Фазы и структурные составляющие указывать стрелками и около стрелок, на полях написать их наименование.

Нет надобности передавать на рисунке фотографически точное изображение!

Приложение П

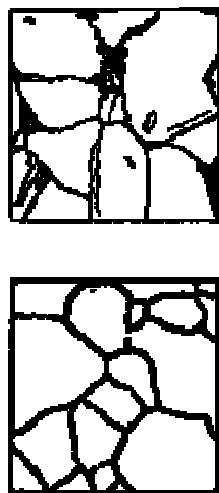
Протокол металлографического исследования

№ № п/п	Наименование и марка сплава	Характеристика травильного раствора			Микроструктура		
		вид	температу- ра, 0С	продолжи- тельность, с	увеличе- ние	зарисовка	наименова- ние состав- ляющих
1.	Чугун 18-36	4% спирто- вой раствор азотной кислоти	20	30	500		П – перлит Ц - цементит

Приложение Р

Микроструктуры технического железа:

- a* – содержание углерода менее 0,006 %;
- б* – содержание углерода 0,006...0,02 %



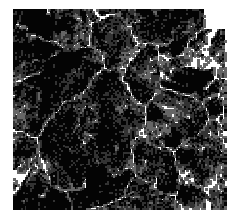
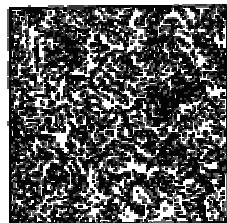
a

б



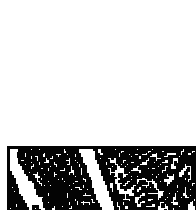
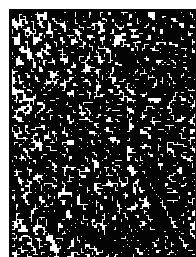
a

б



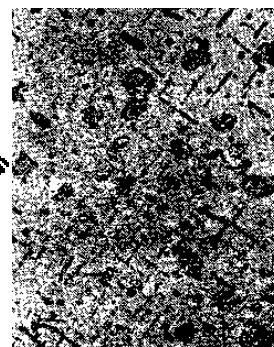
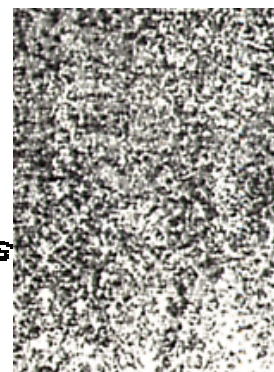
a

б



a

б



a

б

Микроструктуры сталей:

a – доэвтектоидная сталь (феррит + перлит – содержание углерода до 0,8 %);

б – эвтектоидная сталь (пластинчатый перлит – содержание углерода от 0,8 до 2 %);

в – эвтектоидная сталь (зернистый перлит);

г – заэвтектоидная сталь (перлит + цементит – содержание углерода более 2 %).

Микроструктуры белых чугунов:

a – доэвтекктический белый чугун (перлит + лидебурит + цементит);

б – эвтекктический белый чугун (лидебурит);

в – заэвтекктический белый чугун (лидебурит + цементит).

Микроструктуры цветных сплавов:

a – латуни ЛА77-2;

б – сплава Al-Mg-Si

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	1
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	
ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ВИДА ДРЕВЕСИНЫ	2
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАСЫЩЕНИЯ ВЛАГОЙ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ	25
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ	29
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6	
РАСШИФРОВКА МАРОК СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ	36
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ	41
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8	
ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ	53
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9	
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ	59

Учебное издание

ЗАВИСТОВСКИЙ Сергей Эдуардович

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению
лабораторных работ для студентов специальности 1-02 06 01
«Технический труд и предпринимательство»

Редактор *Д. М. Севастьянова*

Подписано в печать 04.12.15. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 4,41. Уч.-изд. л. 3,59. Тираж 30 экз. Заказ 1480.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

Ул. Блохина, 29, 211440, г. Новополоцк.