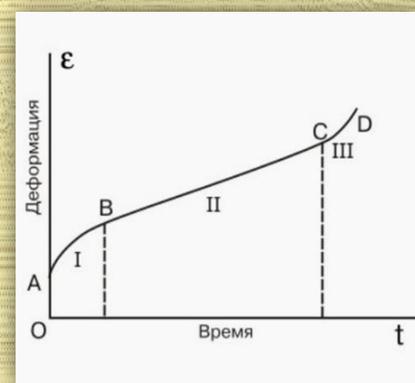
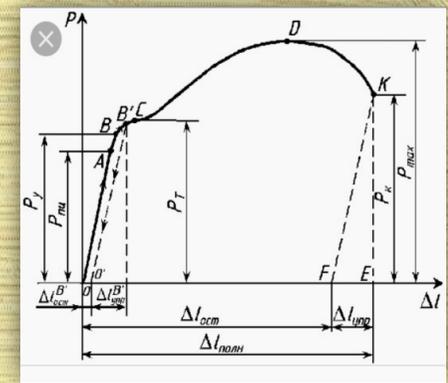


В. П. Редькин
С. Н. Гладкий

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ



ISBN 978-985-477-666-8



9 789854 776668

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина»

В. П. Редькин, С. Н. Гладкий

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по педагогическому образованию в качестве практикума
для студентов учреждений высшего образования, обучающихся
по специальности 1-02 06 01 Технический труд и предпринимательство*

Мозырь
МГПУ им. И. П. Шамякина
2019

УДК 620.22(076.5)
ББК 30.3я
Р33

Авторы:

В. П. Редькин, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологического образования УО МГНУ им. И. П. Шамякина;
С. Н. Гладкий, старший преподаватель кафедры технологического образования УО МГПУ им. И. П. Шамякина

Рецензенты:

кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры технической физики БНТУ

Е. Ю. Неумержицкая;

старший преподаватель кафедры физики и методики преподавания физики БГПУ

А. И. Гридасов

Редькин, В. П.

Р33 **Материаловедение. Лабораторный практикум : практикум / В. П. Редькин, С. Н. Гладкий. – Мозырь : МГПУ им. И. П. Шамякина, 2019. – 138 с. ISBN 978-985-477-666-8.**

Содержание лабораторного практикума соответствует учебной программе и способствует выработке умений и навыков студентов по определению свойств материалов и их рациональной эксплуатации. В каждой лабораторной работе имеются краткие теоретические сведения, порядок выполнения работы, вопросы для самоконтроля.

Лабораторный практикум предназначен для студентов дневной и заочной форм получения высшего образования по специальности 1-02 06 01 Технический труд и предпринимательство.

УДК 620.22(076.5)
ББК 30.3я

ISBN 978-985-477-666-8

© Редькин В. П. Гладкий С. Н., 2019
© УО МГПУ им. И. П. Шамякина, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ	5
1.1. Общие требования охраны труда	5
1.2. Требования охраны труда перед началом работы.....	5
1.3. Требования охраны труда при выполнении лабораторных работ.....	6
1.4. Требования охраны труда в аварийных ситуациях.....	6
1.5. Требования охраны труда по окончании работы	7
2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....	8
Лабораторная работа № 1. Основные характеристики свойств материалов и методы их определения.....	8
Лабораторная работа № 2. Математическая обработка результатов эксперимента.....	19
Лабораторная работа № 3. Строение дерева и древесины	30
Лабораторная работа № 4. Определение числа годичных слоев и содержания поздней древесины в годичном слое.....	40
Лабораторная работа № 5. Определение хвойных пород древесины по внешним признакам	43
Лабораторная работа № 6. Определение лиственных кольцесосудистых пород древесины по внешним признакам	49
Лабораторная работа № 7. Определение лиственных рассеянососудистых пород древесины по внешним признакам.....	53
Лабораторная работа № 8. Пороки древесины	58
Лабораторная работа № 9. Пиломатериалы и заготовки. Композиционные материалы из древесины	65
Лабораторная работа № 10. Определение влажности древесины	73
Лабораторная работа № 11. Определение плотности древесины.....	78
Лабораторная работа № 12. Клеи и их свойства. Склеивание древесины	82
Лабораторная работа № 13. Конструкционные полимерные материалы. Формообразование деталей из термопласта давлением	87
Лабораторная работа № 14. Композиционные материалы на основе полимеров. Резины	101
Лабораторная работа № 15. Композиционные материалы на основе полимеров. Лакокрасочные покрытия.....	105
Лабораторная работа № 16. Строение и свойства металлов и сплавов. Классификация чёрных металлов.....	110
Лабораторная работа № 17. Цветные металлы и сплавы	127
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	137

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с образовательным стандартом ОСВО 1-02 06 01-2013 и типовым учебным планом по специальности «Технический труд и предпринимательство» в высших учебных заведениях, осуществляющих подготовку учителей трудового обучения (технический труд), изучается дисциплина «Материаловедение».

Учебная дисциплина «Материаловедение» предусматривает изучение основных характеристик свойств материалов и методов их определения; основ древесиноведения и металловедения; строения дерева и древесины; физических и химических свойств древесины, пород и пороков древесины; лесоматериалов; металлов и сплавов; полимеров и материалов на их основе; конструкционных полимерных материалов; композиционных материалов; резиновых материалов; лакокрасочных материалов; клеев; абразивных материалов. С нее начинается изучение специальных дисциплин по подготовке учителей технологии.

Интегрирующий характер знаний, получаемых на занятиях по основам материаловедения позволяет студентам лучше усваивать учебные курсы «Технология обработки древесины», «Технология обработки металлов», «Художественное конструирование», «Технология художественной обработки материалов», «Техническое творчество» и др. Это обусловлено тем, что используемые в учебном процессе материалы (древесина, фанера, тонколистовой металл, проволока, оргстекло, бумага, резина, клеи, лаки, эмали и масляные краски, шпаклевки и др.) отличаются многообразными свойствами. Знание этих свойств, грамотное их использование при обработке материалов является показателем профессиональных умений будущих учителей технического труда.

Цикл лабораторных работ составлен в соответствии с утвержденной типовой учебной программой для высших учебных заведений «Материаловедение» по специальности «1-02 06 01 Технический труд и предпринимательство» и предназначен для углубления, расширения и закрепления знаний, полученных студентами на лекционных занятиях, а также для приобретения практических навыков и умений при работе с конструкционными материалами.

Методические указания включают в себя 17 лабораторных работ, рассчитанных на 36 академических часов. Объем большинства лабораторных работ рассчитан на два академических часа. Некоторые работы, носящие исследовательский характер, требуют для их выполнения большего времени. В каждой работе приведены относящиеся к ней теоретические сведения, содержание и последовательность выполнения работы. Перед выполнением лабораторных работ студенты должны усвоить правила техники безопасности. Для самоконтроля студентам рекомендуются в конце каждой лабораторной работы вопросы и задания.

1. ОХРАНА ТРУДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЮ

1.1. Общие требования охраны труда

1.1.1. Соблюдение всех требований и правил охраны труда является обязанностью каждого студента и преподавателя.

1.1.2. Приступать к выполнению лабораторных работ можно только после получения первичного инструктажа по охране труда студентов в лаборатории материаловедения.

1.1.3. Инструктаж должен подтверждаться личной подписью инструктируемого в журнале регистрации инструктажа на рабочем месте с указанием даты инструктажа.

1.1.4. Лаборатория должна быть оснащена аптечкой, средствами оказания первой медицинской помощи и средствами пожаротушения.

1.1.5. Розетки и другие источники электроэнергии должны быть обозначены величинами напряжения, а при необходимости – указанием рода тока.

1.1.6. Студент должен изучить и знать:

- правила быстрого и безопасного освобождения пострадавшего от действия электрического тока;

- правила оказания первой, доврачебной медицинской помощи пострадавшему от электрического тока;

- устройство и правила применения огнетушителей.

1.1.7. При получении травмы или недомогания немедленно прекратить работу, обратиться к преподавателю, применить аптечку, обратиться в медпункт.

1.1.8. Запрещается вход в лабораторию в головных уборах и верхней одежде.

1.1.9. Сосредоточить внимание на выполняемой работе, не отвлекаться на посторонние дела и разговоры, не отвлекать других.

1.1.10. Обучающиеся обязаны бережно и аккуратно относиться к собственности учреждения. Запрещается без разрешения преподавателя выносить предметы и различное оборудование из лаборатории.

1.2. Требования охраны труда перед началом работы

1.2.1. Привести в порядок рабочее место, убрать лишние предметы.

1.2.2. Осмотреть состояние оборудования, электропроводов, доложить преподавателю о замеченных недостатках.

1.2.3. Получить методические указания к лабораторным работам.

1.2.4. Не допускаются к оборудованию и выполнению лабораторных работ студенты, не изучившие методические указания к лабораторным работам.

1.3. Требования охраны труда при выполнении лабораторных работ

1.3.1. Проверить соответствие оборудования напряжению, на которое оно будет включено (по обозначениям и инструкциям).

1.3.2. Проверить цепи заземления.

1.3.3. Обязательно отключать от сети или от источников питания оборудование, находящееся под напряжением, прежде чем его переставлять, передвигать.

1.3.4. Работая со стендами, приборами, находящимся под напряжением, не прикасаться одновременно к водопроводным трубам, кранам, трубам и батареям отопления, шинам заземления.

1.3.5. В случае внезапного прекращения подачи электроэнергии выключить все лабораторные установки. Проверить исправность электрической сети и установить причину отключения до повторных включений оборудования.

1.3.6. Не наступать на переносные электрические провода, удлинители, розетки, находящиеся на полу.

1.3.7. Выполнять работы в строгом соответствии с методическими указаниями.

1.3.8. Всегда согласовывать с преподавателем свои действия по выполнению нерегламентированной работы или операции.

1.3.9. Соблюдать на рабочем месте надлежащую чистоту и порядок.

1.4. Требования охраны труда в аварийных ситуациях

1.4.1. При возникновении опасных факторов по возможности устранить источник аварийной ситуации, сообщить преподавателю, вызвать по телефону аварийные службы, оказать помощь пострадавшему, сохранить обстановку на месте происшествия, если это не приведет к новой аварии или к новому несчастному случаю.

1.4.2. Определить состояние здоровья пострадавшего по следующим признакам: сознание, цвет кожных покровов и слизистых оболочек, дыхание, пульс на сонных артериях, зрачки. Определить характер травмы, создающей наибольшую угрозу для жизни пострадавшего и последовательность действий по его спасению. Поддерживать основные жизненные функции пострадавшего до прибытия медперсонала.

1.4.3. Медицинскую помощь пострадавшему оказывать сразу после прекращения воздействия электрического тока: немедленно приступить к массажу сердца и искусственному дыханию. При проведении искусственного дыхания и наружного массажа сердца соотношение «дыхание – массаж» должно быть:

– двумя спасающими – 1:5, т. е. после одного глубокого вдувания проводится пять надавливаний на грудную клетку;

– одним спасающим – 2:15, т. е. на каждые 2 глубоких вдувания производится 15 надавливаний на грудную клетку.

1.4.4. Заметить время остановки дыхания и кровообращения у пострадавшего, время начала оказания первой помощи, чтобы сообщить эти сведения прибывшему медперсоналу.

1.4.5. Направить кого-либо для вызова скорой медицинской помощи либо принять меры для транспортировки пострадавшего в лечебное учреждение.

1.4.6. При загорании электропроводки, электрооборудования, находящихся под напряжением, отключить оборудование от сети и принять меры к тушению пожара. Вызвать пожарную службу по телефону 101. Установки под напряжением тушить углекислотными огнетушителями ОУ. Тушить водой или химическими пенными огнетушителями ОП запрещается во избежание поражения электрическим током.

1.4.7. При попадании химикатов на кожу смыть их холодной водой, а при попадании в глаза промыть их 2-процентным раствором борной кислоты.

1.4.8. При разрушении ртутных ламп или приборов, при разливе ртути удалить из помещения студентов, собрать ртуть резиновой грушей. Место, где разлилась ртуть, промыть 1-процентным раствором марганцовокислого калия.

1.5. Требования охраны труда по окончании работы

1.5.1. Отключить все установки и электрооборудование.

1.5.2. Сдать оборудование, приборы, инструкции, методические пособия преподавателю.

1.5.3. Дежурному проверить все рабочие места и общее состояние оборудования и помещений и доложить преподавателю.

1.5.4. Во время перерывов проветрить помещение.

1.5.5. Вымыть руки водой с мылом.

2. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа № 1 Основные характеристики свойств материалов и методы их определения

Цель работы: изучение основных механических, теплофизических, электрических свойств материалов и методов их определения по государственным стандартам (ГОСТам), определяющим размеры образцов и режимы испытаний различных материалов.

Оснащение: ГОСТы по определению механических свойств материалов; ГОСТы по определению теплофизических свойств материалов; ГОСТы по определению электрических свойств материалов; диаграммы растяжения и сжатия полимерных материалов.

Теоретические сведения

1.1. Механические свойства материалов

Механические свойства характеризуют поведение материалов при воздействии механических нагрузок.

Атомы в твёрдых телах занимают определённые положения, и силы взаимодействия между ними оказывают сопротивление воздействию внешних нагрузок: при сжимающих нагрузках возникают силы отталкивания, при растягивающих – силы притяжения. Если внешние нагрузки превышают силы взаимодействия, то происходит разрушение, в результате форма и размеры тела изменяются.

Необратимое изменение формы и размеров материалов под воздействием внешних нагрузок называется *пластической деформацией*. Если после снятия внешних нагрузок форма и размеры тела восстанавливаются, то такая деформация называется *упругой*.

Способность материала сопротивляться упругим деформациям при одноосном растяжении или сжатии характеризуется модулем продольной упругости E (*модулем Юнга*), а зависимость между относительным удлинением ε и напряжением σ описывается *законом Гука*:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1.1)$$

где $\sigma = \frac{F}{S_0}$, (Па); $[\sigma] = \frac{F}{S_0} = \frac{H}{m^2} = \text{Па}$

F – сила (Н);

S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца (m^2);

$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%$ – относительная деформация при растяжении

(относительное удлинение);

$\Delta l = l - l_0$ – абсолютное удлинение (м);

l_0 – первоначальная длина образца (м);

l – длина образца после приложения напряжения σ .

Упругие свойства материалов характеризует коэффициент Пуассона ν :

$$\nu = \frac{|\varepsilon'|}{\varepsilon}, \quad (1.2)$$

где ε' – относительное поперечное сжатие;

ε – относительное продольное удлинение.

Для идеально упругого материала $\nu = 0,50$. Для реальных материалов ν имеет следующие значения: свинец – 0,40; алюминий – 0,34; стекло – 0,25; полиэтилен – 0,40; полиизопрен – 0,49.

При деформации сдвига рассматривают касательное напряжение τ :

$$\tau = G\gamma, \quad (1.3)$$

где γ – относительная деформация сдвига;

G – модуль сдвига.

При этом в области упругих деформаций связь между E и G определяется по формуле (1.4):

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}. \quad (1.4)$$

Обычно $G = (0,35 \div 0,40) E$.

Упругие свойства материалов при всестороннем сжатии характеризуются модулем объёмной упругости K , при этом

$$\sigma = K\Delta, \quad (1.5)$$

где Δ – относительная объёмная деформация.

Зависимость нормального напряжения σ от относительного удлинения ε при одноосном растяжении пластичных материалов приведена на рисунке 1.1,

где $\sigma_{\text{пл}}$ – предел пропорциональности, при котором сохраняется линейная зависимость между σ и ε ;

σ_y – предел упругости – это напряжение, при котором остаточная деформация после снятия нагрузки не превышает допустимую по ТУ на изделие (обычно не более 0,01 %), что указывается соответствующим индексом, например $\sigma_{0,01}$, $\sigma_{0,005}$;

σ_T – предел текучести, т. е. напряжение, при котором деформация растёт без заметного изменения нагрузки;

$\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% расчётной длины образца;

σ_B – предел прочности или временное сопротивление, разрушающее напряжение при растяжении, при этом

$$\sigma_B = \frac{F_{\max}}{S_0}, \quad (1.6)$$

где F_{\max} – наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца;
 S_0 – начальная площадь поперечного сечения образца.

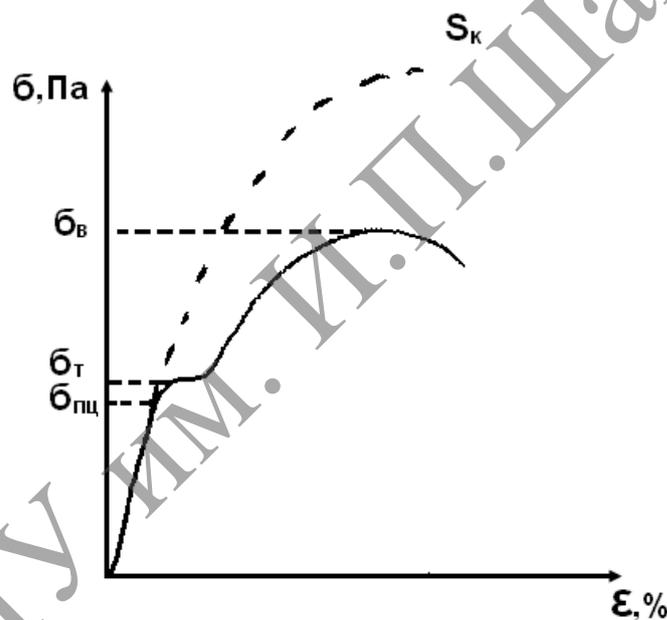


Рисунок 1.1 – Зависимость нормального напряжения σ от относительного удлинения ϵ при одноосном растяжении пластичных материалов

Истинный предел прочности

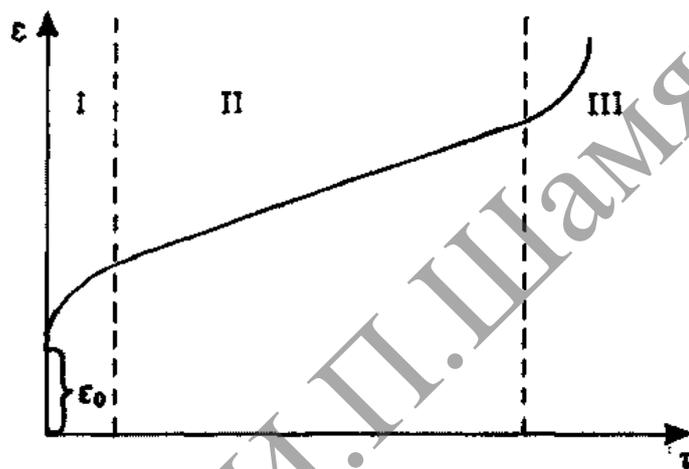
$$\sigma_{ист} = \frac{F_{\max}}{S_{\kappa}}, \quad (1.7)$$

где S_{κ} – площадь поперечного сечения образца в месте разрушения.
Относительное сужение

$$\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} 100\%. \quad (1.8)$$

Размеры образцов и режимы испытаний для различных материалов оговорены в стандартах ГОСТ 11262 – 76, 9550 – 71, 4651 – 82 и 4648 – 71.

При воздействии статической нагрузки оценивают *ползучесть* материалов – увеличение деформации во времени под действием постоянной нагрузки или напряжения. Испытания проводят по ГОСТ 18197 – 82 (рисунок 1.2).



I – зона неустойчивой ползучести; II – зона установившейся ползучести; III – зона ускоренной ползучести; ϵ_0 – деформация в момент приложения нагрузки

Рисунок 1.2. – Кривая ползучести

Длительная прочность материалов ниже, чем временное сопротивление разрушению.

Предел длительной прочности – такое напряжение, которое вызывает разрушение материала при заданной температуре и времени нагрузки (ГОСТ 10145 – 81).

Сопротивление материалов динамическим нагрузкам, быстро изменяющимся во времени, оценивают *ударной вязкостью* и *пределом выносливости*.

Ударную вязкость определяют на маятниковых копрах путём разового разрушения свободно лежащего на опорах образца под действием вращающегося вокруг горизонтальной оси падающего маятника массой m со скоростью $(2 \div 4)$ м/с.

Ударная вязкость равна работе A_u , необходимой для разрушения образца, отнесённой к площади поперечного сечения образца S в месте разрушения.

$$A_u = mgl(\cos \beta - \cos \alpha), \quad (1.9)$$

где g – ускорение свободного падения (m^2/c);

l – расстояние от оси маятника до центра масс падающего бойка (м);

α, β – углы подъёма маятника до и после разрушения образца (градусы).

Образцы для испытания изготавливаются с концентраторами напряжений U, V и T-образной формы.

Длительное воздействие циклических нагрузок приводит к возникновению трещин, их распространению и разрушению материала. Этот процесс называется *усталостью*. До 80 % разрушений носит усталостный характер. Свойство материалов сопротивляться усталости называется *выносливостью*. Усталость обычно вызывается знакопеременными напряжениями или под действием циклически изменяющихся напряжений одного знака (работа рессор). Усталостное разрушение проходит в три стадии: зарождение трещины, усталость (её распространение) и долом.

Предел выносливости – наибольшее значение напряжения цикла, при действии которого не происходит усталостного разрушения после произвольно большого или заданного числа циклов нагружения.

Цикл нагружения – совокупность переменных значений напряжений за один период их изменения, характеризуемых коэффициентом асимметрии R_σ

$$R_\sigma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}, \quad (1.10)$$

где σ_{\min} – минимальное напряжение цикла;

σ_{\max} – максимальное напряжение цикла.

Для симметричного цикла $R_\sigma = -1$.

Предел выносливости при асимметричном цикле обозначается σ_R , а при симметричном – σ_{-1} .

По характеру предела усталости выделены две группы материалов: с чётко выраженным пределом выносливости при количестве циклов $N > 10^7$ и не имеющих чёткого предела. На усталостные свойства оказывает влияние состояние поверхности. У материалов с полированной поверхностью предел выносливости на 45÷50 % выше, чем после точения.

Твёрдость – свойство материала сопротивляться пластическому деформированию при контактном взаимодействии. Методы измерения твёрдости основаны на статическом вдавливании более твёрдого индентора в испытываемую поверхность, царапанию менее твёрдого материала более твёрдым, динамическом воздействии бойка.

Твёрдость по Бринеллю (ГОСТ 9012 – 59) основана на внедрении в плоскую поверхность испытываемого образца стального закалённого шарика диаметром D под постоянной нагрузкой F в течение времени t и измерении диаметра отпечатка d , остающегося после снятия нагрузки. Твёрдость определяется по формуле:

$$HB = \frac{2F}{[\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})]}, \quad (1.11)$$

где $\pi = 3,14$.

Твёрдость по Виккерсу (ГОСТ 2999 – 75) определяют при внедрении четырёхгранной пирамиды с углом при вершине 136° :

$$HV = 0,1817 \frac{F}{d^2}, \quad (1.12)$$

где F – нагрузка (Н) от 9,8 до 980 Н;
 d – размер диагонали отпечатка (мм).

Микротвёрдость определяют при нагрузках от 0,049 до 4,9 Н на приборах ПМТ – 3, ПМТ – 5, включающих микроскоп и алмазную пирамидку с системой нагружения и рассчитывают по формуле (1.12) для твёрдости по Виккерсу.

Твёрдость по Роквеллу (ГОСТ 24622 – 91) определяют по глубине отпечатка при внедрении в твёрдое тело алмазного конуса с углом при вершине 120° или стального закалённого шарика $d = 1,588$ мм. За единицу твёрдости принята величина, соответствующая осевому перемещению индентора на 0,002 мм. Предварительная нагрузка индентора $F_0 = 98$ Н, основная 490,882 или 1372 Н в зависимости от твёрдости поверхности. Измерение твёрдости производится после снятия основной нагрузки, но при сохранении предварительной, и она равна разности между h_{\max} и $h_{\text{остат}}$. У прибора Роквелла три шкалы A , B и C . Твёрдость соответственно обозначают HRA, HRB и HRC.

Твёрдость минералов по Моосу определяют путём царапания. В качестве эталонов минералогической шкалы приняты в порядке убывания твердости следующие минералы: алмаз – 10, корунд – 9, топаз – 8, кварц – 7, ортоклаз – 6, апатит – 5, флюорит – 4, кальций – 3, гипс – 2, тальк – 1.

Для тел, испытывающих фрикционное взаимодействие, определяют износостойкость и коэффициент трения.

Изнашивание – процесс разрушения поверхностей трения, сопровождающийся изменениями геометрических размеров и формы контактируемых тел. Количественно износ выражается в единицах длины (линейный износ) или массы (массовый износ) (ГОСТ 27880 – 88).

Скорость изнашивания – износ в единицу времени.

Интенсивность изнашивания – износ, отнесённый к единице пути трения (ГОСТ 27674 – 88).

Коэффициент трения (ГОСТ 11629 – 75) характеризует сопротивление контактирующих под определённой нормальной нагрузкой тел относительному перемещению под действием тангенциальной силы:

$$f = \frac{F}{N}, \quad (1.13)$$

где F – сила трения;

N – сила нормального давления.

Фрикционные свойства характеризуют свойства пары трения, а не материала.

1.2. Теплофизические свойства материалов

Механические свойства изменяются под воздействием температуры и характер этих изменений обусловлен теплофизическими свойствами материалов: *теплопроводностью, теплоёмкостью, тепловым расширением, температуропроводностью, теплостойкостью, жаростойкостью, жаропрочностью.*

Теплопроводность q – способность тел переносить теплоту от более нагретых участков к менее нагретым. Тепловой поток q определяется по уравнению Фурье:

$$q = -\lambda \text{grad}T, \quad (1.14)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, $[\lambda] = \text{Вт} / (\text{м}\cdot\text{К})$;

$\text{grad} T$ – градиент температуры.

Теплоёмкость C – количество теплоты, затрачиваемое для изменения температуры тела на 1 градус, $[C] = \text{Дж} / \text{К}$.

Удельная теплоёмкость c – теплоёмкость, отнесённая к единице массы материала, $[c] = \text{Дж} / (\text{кг}\cdot\text{К})$. Тогда

$$Q = cm(t_2 - t_1),$$

где Q – количество тепла для нагрева тела массой m на температуру $\Delta t = t_2 - t_1$.

Теплоёмкость – характеристика процесса, при этом

$$c_p - c_v = R, \quad (1.15)$$

где c_p – удельная теплоемкость, определенная при постоянном давлении;
 c_v – удельная теплоемкость, определенная при постоянном объеме;
 R – универсальная газовая постоянная.

Температуропроводность характеризует скорость распространения температуры под действием теплового потока в нестационарных тепловых условиях в данном материале.

Коэффициент температуропроводности α определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c_p \gamma}, \quad (1.16)$$

где λ – коэффициент теплопроводности;
 γ – плотность материала ($\text{кг}/\text{м}^3$).

Тепловое расширение характеризуется температурным коэффициентом линейного расширения

$$\alpha_\lambda = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{d\lambda}{dT} \right)_p, [\alpha_\lambda] = \text{°C}^{-1}, \quad (1.17)$$

где λ – линейный размер тела в данном направлении;
 p – индекс, обозначающий, что нагрев производится при постоянном давлении;
 T – температура.

Температурный коэффициент объёмного расширения

$$\alpha_v = \frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dT} \right)_p, [\alpha_v] = \text{°C}^{-1}, \quad (1.18)$$

где V – объём.

Теплостойкость – способность материала сохранять механические свойства в области повышенных температур. Для пластмасс стандартизованы метод Вика (ГОСТ 15088 – 83) и метод Мартенса (ГОСТ 21341 – 75).

По методу Вика теплостойкость определяют температурой, при которой индентор определённого сечения внедряется при фиксированной определённой нагрузке в испытуемый образец на глубину 1 мм; по методу

Мартенса – температурой, при которой деформация консольно закреплённого образца, нагружаемого постоянным изгибающим моментом, достигает установленного значения.

Коэффициент теплостойкости для пластмасс – отношение механического свойства материала при данной температуре к таковому при нормальных физических условиях.

Жаростойкость – способность материалов выдерживать без возгорания и обугливания воздействие раскалённого источника теплоты. Определяют жаростойкость \mathcal{J} путём контакта образцов в течение 3 минут с силитовым стержнем, нагретым до 950°C :

$$\mathcal{J} = \lg[10^4 / (\Delta m \Delta l)], \quad (1.20)$$

где Δm – потеря массы, мг;

Δl – уменьшение длины образца, м.

Жаропрочность – свойство материалов длительно сопротивляться деформированию при высоких температурах. Критериями жаропрочности является предел ползучести или предел длительной прочности.

1.3. Электрические свойства материалов

По электрическим свойствам материалы подразделяются на *проводники, диэлектрики и полупроводники*.

Проводники характеризуются проводимостью за счёт перемещения свободных зарядов (электронов в металлах), их удельное электросопротивление ρ находится в пределах $10^{-8} \leq \rho \leq 10^{-5}$ Ом·м и растёт с ростом температуры.

Для *диэлектриков* характерна проводимость, обусловленная перемещением ионов. Удельное сопротивление $\rho \sim (10^8 \div 10^{16})$ Ом·м с ростом температуры уменьшается.

Для *полупроводников* удельное сопротивление находится в пределах $10^{-5} < \rho < 10^8$, Ом·м. Для них характерна электронно-дырочная проводимость и с ростом температуры ρ (удельное сопротивление) уменьшается.

Электропроводимость материалов σ – способность пропускать электрический ток при воздействии электрического поля. Удельная проводимость

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}, \quad (1.21)$$

где n – число носителей зарядов, приходящихся на единицу объёма;
 e – заряд носителей;

τ – время свободного пробега заряда;

m – масса носителей заряда.

Величина, обратная удельной проводимости, называется удельным электрическим сопротивлением и обозначается буквой ρ .

$$\sigma = \frac{1}{\rho}, [\sigma] = \text{сименс}. \quad (1.22)$$

Определения σ и ρ регламентированы ГОСТ 7229–76, ГОСТ 6433.2–71 и ГОСТ 6581–75 для металлов, твёрдых и жидких диэлектриков.

Диэлектрики под действием электрического поля поляризуются, поляризацию характеризуют электрическим дипольным моментом P единицы объёма:

$$\vec{P} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i, \quad (1.23)$$

где \vec{p}_i – дипольные моменты частиц (атомов, ионов);

n – число частиц в единице объёма.

Диэлектрическая восприимчивость χ , характеризующая способность вещества к поляризации, и диэлектрическая проницаемость ε связаны соотношением $\varepsilon = 1 + \chi$.

Диэлектрики не идеальны, и под действием электрического поля за счёт свободных электрических зарядов в них возникает ток сквозной проводимости, характеризуемый поверхностной проводимостью σ_s и объёмной проводимостью σ_v . Для сравнительной оценки различных материалов в отношении их электропроводности пользуются значениями удельного объёмного ρ_v и удельного поверхностного ρ_s сопротивлений. Для полярных диэлектриков $\rho_s < \rho_v$ в (10÷100) раз.

Ток сквозной проводимости и поляризация, сопровождаемая рассеиванием энергии, обуславливают потери в диэлектриках.

При переменном электрическом поле потери характеризуются углом диэлектрических потерь δ между векторами поляризации и электрического поля. Мощность потерь p на единицу объёма диэлектрика

$$p = kE^2 f \varepsilon \operatorname{tg} \delta, \quad (1.24)$$

где k – коэффициент;

f – частота внешнего поля;

E – напряжённость электрического поля.

У диэлектриков $\operatorname{tg} \delta$ зависит от химического состава и структуры материала, f , E , T , влажности и т. д. Для нейтральных диэлектриков $\operatorname{tg} \delta \approx (0,0001 \div 0,0005)$, для полярных – $\operatorname{tg} \delta \approx (0,001 \div 0,01)$. Величины ε и δ определяются по ГОСТ 64334 – 71 и ГОСТ 22372 – 77.

При определённой напряжённости электрического поля E_{np} происходит потеря электроизоляционных свойств материала – *пробой* диэлектрика. Соответствующее пробую диэлектрика значение электрического поля называется *электрической прочностью* диэлектрика:

$$E_{np} = \frac{U_{np}}{h}, [E_{np}] = \frac{\text{кВ}}{\text{мм}}, \quad (1.25)$$

где U_{np} – пробивное напряжение,

h – толщина диэлектрика в месте пробоя.

E_{np} зависит от структуры и состава диэлектрика. Пористость снижает электрическую прочность, т. к. в газах, заполняющих поры, возникают разряды, увеличивается тепловыделение и возникают условия для теплового пробоя. Образующиеся в порах озон и оксид азота способствуют старению материала диэлектрика. Вид пробоя, который происходит в результате химических изменений материала при длительном действии электрического поля, называется электрохимическим.

1.4. Порядок выполнения работы

1.4.1. Изучите теоретические сведения к лабораторной работе.

1.4.2. Познакомьтесь с ГОСТами по определению эксплуатационных характеристик материалов.

1.4.3. Изучите и зарисуйте типичные диаграммы растяжения и сжатия полимерных материалов.

1.5. Вопросы и задания для самоконтроля

1.5.1. Дайте определение упругой и пластической деформации.

1.5.2. В какой области деформации справедлив закон Гука?

1.5.3. Какие свойства материалов характеризует коэффициент Пуассона?

1.5.4. Какова связь между длительной прочностью и временным сопротивлением разрушению?

1.5.5. Какие свойства материалов оценивают ударной вязкостью?

1.5.6. Какие свойства материалов характеризуют усталостью?

1.5.7. Назовите основные методы определения твёрдости материалов.

1.5.8. Дайте определения основных теплофизических свойств материалов: теплопроводности, теплоёмкости, температуропроводности, теплостойкости, жаростойкости и жаропрочности.

1.5.9. Приведите классификацию материалов по электрическим свойствам.

1.5.10. Какое явление называют пробоем диэлектрика?

Лабораторная работа № 2

Математическая обработка результатов эксперимента

Цель работы: изучение правил и методов обработки результатов экспериментов, изучение способов нахождения истинных значений измеряемых величин и надёжности измерений.

Оснащение: полиэтиленовая плёнка, измерительная линейка, ножницы, штангенциркуль.

Теоретические сведения

2.1. Классификация и общая характеристика измерений

Численное значение физической величины получается в результате её измерения. Измерить физическую величину – это значит сравнить её с другой однородной величиной, принятой за единицу.

Непосредственно измерить можно немногие величины. Примером таких непосредственных (прямых) измерений является измерение длин различными масштабами или масс при помощи весов. Чаще всего приходится измерять не данную величину, а некоторые другие величины, которые связаны с искомой физическими законами, выраженными математическими формулами, т.е. производить косвенные измерения. Например, значение плотности вещества можно вычислить по измеренным непосредственно массе и объёму тела.

Следует напомнить, что никакое измерение не может быть выполнено абсолютно точно. Его результат всегда содержит некоторую погрешность.

Погрешностью измерения называется разность $(x-a)$ между результатом измерения x и истинным значением измеряемой величины a . Истинное значение измеряемой величины обычно не известно. Поэтому в задачу измерений входит не только нахождение искомой величины, но и оценка допущенной при измерении погрешности.

Погрешности измерения можно разделить на три группы:

- систематические;
- грубые (промахи);
- случайные.

Систематические погрешности вызываются факторами, действующими одинаковым образом при многократном повторении одних и тех же измерений в одних и тех же условиях. Они обусловлены неправильной установкой прибора, неправильной его регулировкой и т. д. Систематические погрешности всегда односторонне влияют на результаты измерений и устраняются путем введения соответствующих поправок

в результаты измерения. Не исключённая систематическая погрешность измерения рассматривается как случайная.

Грубые ошибки (промахи) возникают вследствие нарушения основных условий измерений. Например, при плохом освещении рабочего места, регистрируя показания прибора, вместо цифры 3 записывают 8. Внешним признаком результата, содержащего грубую погрешность, является его резкое отличие по величине от остальных измерений. Такой результат необходимо отбросить, а измерение по возможности повторить.

Случайные погрешности возникают вследствие самых различных причин, результаты действия которых столь малы, что их нельзя выделить и учесть (изменение температуры в процессе измерения, незначительное движение воздуха, несовершенство человеческих органов чувств и т. д.) по отдельности, поэтому случайную погрешность рассматривают как суммарный эффект действия многих факторов. Исключить случайные погрешности нельзя, но с помощью методов теории вероятностей и математической статистики можно учесть их влияние на истинное значение измеряемой величины.

Систематические погрешности и грубые ошибки обычно устраняются, поэтому будем рассматривать только случайные погрешности.

2.2. Случайные величины. Характеристики распределения случайных величин

Случайные величины могут принимать любые действительные значения. Случайную величину называют *дискретной*, если она принимает отдельные возможные значения с определёнными вероятностями. *Непрерывной* называют случайную величину, которая может принимать все значения из некоторого конечного промежутка. К таким величинам относятся время и температура.

Всевозможные свойства большого количества случайных величин изучаются теорией вероятности, основным понятием которой является вероятность – числовая характеристика возможности появления некоторого определённого события в цепи событий, которые могут повторяться неограниченное число раз.

Приближенной характеристикой вероятности случайного события является относительная частота – отношение числа испытаний, в которых событие появилось, к общему числу фактически произведенных испытаний. Таким образом, относительная частота события определяется формулой:

$$P(a) = \frac{m}{n}, \quad (2.1)$$

где m – число появлений события;

n – общее число испытаний.

Соответствие между возможными значениями измеряемой величины и их вероятностями называется *законом распределения случайной величины*. Его можно задать *таблично, графически и аналитически* (в виде формул).

При *табличном задании закона распределения случайной величины* в таблицу заносятся ее возможные значения и их вероятности (относительные частоты). Порядок составления таблицы следующий. Полученные данные располагают в определенной последовательности и разбивают на несколько групп. Для сравнения групп интервалы делают одинаковыми.

Если случайная переменная величина прерывна и имеет небольшой диапазон колебаний между крайними значениями, то интервал группирования принимается равным единице исследуемой случайной величины.

Если изучаемая переменная величина является непрерывной, то полученные значения объединяются в интервалы. Выбор интервала зависит от объема n измерений, диапазона колебаний между крайними значениями и цели исследования. Из статистических соображений число интервалов k рекомендуется вычислять из соотношения $k = \sqrt{n}$, где $k \geq 5$.

В качестве примера рассмотрим измерение содержания никеля при анализе легированной стали определенной марки стилометром СТ–7. Получены следующие значения содержания никеля (в процентах): 4,26; 4,17; 4,25; 4,25; 4,22; 4,25; 4,25; 4,40; 4,05; 4,15; 4,40; 4,17; 4,27; 4,10; 4,25; 4,30; 4,25; 4,20; 4,20; 3,90. Максимальное и минимальное значения измеряемой величины равны соответственно 4,40 и 3,90. Разделив разность между этими значениями на количество имеющихся групп ($k = \sqrt{n} = \sqrt{20} \approx 5$), получим приблизительное значение ширины интервала группирования:

$$\Delta x = \frac{4,40 - 3,90}{5} = 0,10$$

Ширина интервала не должна быть меньше цены деления измерительного прибора. Возможны затруднения при включении значений, совпадающих с границами группы. На практике обычно спорную величину, совпадающую с границей группы, записывают в высшую группу.

Результаты группирования представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. – Табличное задание закона распределения случайной величины

Границы группы	Середина интервала	Частота наблюдаемого события n_i	Относительная частота n_i / n
3,90–4,00	3,95	1	0,05
4,00–4,10	4,05	2	0,10
4,10–4,20	4,15	5	0,25
4,20–4,30	4,25	10	0,50
4,30–4,40	4,35	2	0,10
		20	1,00

При графическом задании закона распределения случайной величины частоту появления этой величины изображают в виде гистограммы в прямоугольных координатах, где по оси абсцисс откладывают границы интервалов, а по оси ординат – соответствующие абсолютные или относительные частоты. На гистограмме каждая группа изображается прямоугольником, ширина которого пропорциональна ширине группы, а высота – частоте (или относительной частоте). Площадь отдельных прямоугольников прямо пропорциональна групповой частоте, а площадь всех прямоугольников – общему числу наблюдений. На рисунке 2.1 приведена гистограмма распределения относительной частоты, построенная на основании данных таблицы 2.1. Проведя плавную кривую через середины прямоугольников, получим общее представление о форме распределения вероятностей (штриховая линия на рисунке 2.1).

Существуют две основные характеристики распределений случайных величин: *расположение центра группирования*, вокруг которого сосредоточено всё распределение, и *степень рассеяния данных измерения* от центра группирования.

Основной характеристикой положения центра группирования является *среднеарифметическое* \bar{x} , которое определяется как частное от деления суммы всех значений измеренной величины на число измерений n :

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.2)$$

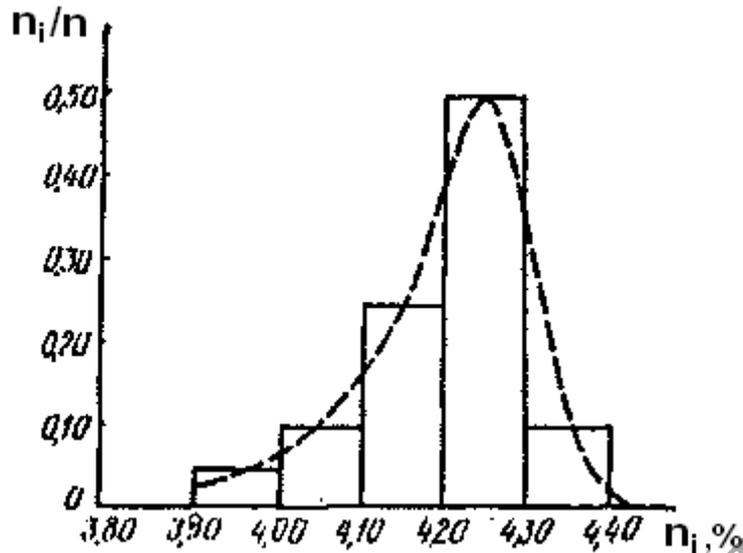


Рисунок 2.1. – Графическое задание закона распределения случайной величины

Для описания рассеяния существует несколько характеристик, но лучше всего характеризуют рассеяние измеренной величины *дисперсия* и *среднеквадратичное отклонение*.

Дисперсия $D(x)$ определяется как среднее значение квадратов отклонений от среднеарифметического и, при неограниченном числе измерений ($n \rightarrow \infty$), принимает следующий вид:

$$D(x) = \frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (2.3)$$

Среднеквадратичное отклонение σ определяется как корень квадратный из дисперсии:

$$\sigma = \sqrt{D(x)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2.4)$$

Дисперсия является наиболее употребительной характеристикой рассеяния измерений случайных величин.

2.3. Нормальное распределение случайной величины

При бесконечно большом числе измерений и уменьшении размеров интервалов группирования гистограмма переходит в непрерывную кривую, которая *аналитически* наиболее часто описывается формулой

Гаусса, получившей название *нормального закона распределения случайных величин*. Основная формула нормального распределения записывается так:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}},$$

где $P(x)$ – вероятность появления случайной величины, численное значение которой равно x ;

\bar{x} – среднеарифметическое значение случайной величины.

Из формулы видно, что нормальное распределение определяется двумя параметрами: x и σ . Форма кривой Гаусса представлена на рисунке 2.2. Из рисунка видно, что большинство получаемых результатов группируется около некоторого среднего значения \bar{x} , которому (при отсутствии систематических ошибок) отвечает неизвестная «истинная» измеряемая величина. Отклонения в ту или иную сторону от среднего значения будут тем реже, чем больше абсолютная величина этих отклонений.

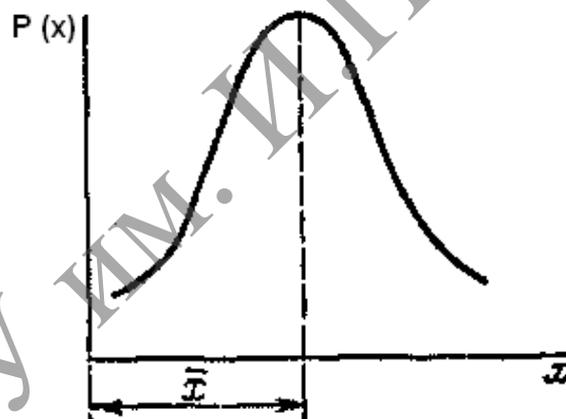


Рисунок 2.2 – Кривая Гаусса

Нормальный закон распределения является не единственным, но он имеет наиболее широкое практическое применение.

Рассеяние результатов измерений происходит около центра с абсциссой x , но форма нормальной кривой изменяется (рисунок 2.3). Максимум кривой тем выше, т.е. точность там больше, чем меньше среднеквадратичное отклонение σ . При $\sigma_1 = \sigma_0$ отклонение от центра меньше по абсолютной величине, а при $\sigma_3 = 3\sigma_0$ отклонение больше. Таким образом, зная параметр σ , можно количественно характеризовать степень рассеяния результатов измерений.

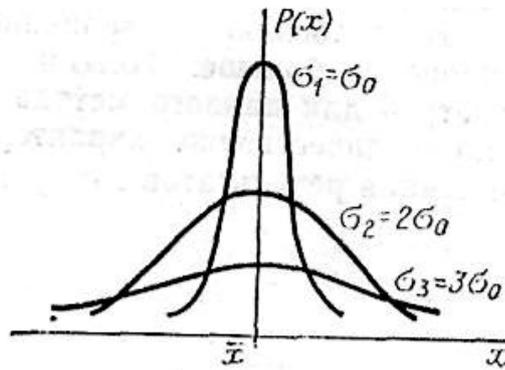


Рисунок 2.3 – Различные формы кривой Гаусса

2.4. Выборочный метод измерений

Наиболее точное значение измеряемой величины ($\sigma \rightarrow 0$) можно получить при неограниченно большом количестве испытаний. Однако такой опыт практически осуществить невозможно, так как для этого потребуется слишком много времени и труда. Таким образом, мы вынуждены прибегать к ограниченному числу измерений, которое получило название *выборки*. Но замена большого числа измерений, называемого генеральной совокупностью, ограниченным количеством испытаний (выборкой) оправдана лишь тогда, когда числовые характеристики, полученные по выборке, будут достаточно близкими по своим значениям к характеристикам генеральной совокупности. Такое условие неизбежно ведет к необходимости теоретического обоснования объема и способов выборки. Решение подобной задачи основывается на законе больших чисел.

Если оценка параметра некоторого статистического распределения производится на основании выборок (ограниченного числа испытаний), то объемом n выборки S называется число проведенных испытаний. Используя измеренные значения x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) случайной величины, можно найти выборочное среднее значение \bar{x} и выборочное среднеквадратичное отклонение (эмпирический стандарт) S для данной выборки по формулам:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.6)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2.7)$$

где величина $n-1$, представляющая собой уменьшенное на единицу число испытаний, называется числом степенной свободы f , т. е. $n-1=f$.

Для генеральной совокупности нормально распределенной величины a среднее значение среднеквадратичного отклонения

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2.8)$$

т. е. отклонение $\sigma_{\bar{x}}$ средних значений x оказывается тем меньше, чем больше объем n отдельных выборок.

При испытании с малым объемом выборки n для оценки среднего значения среднеквадратичного отклонения пользуются t -распределением Стьюдента с f степенями свободы.

С помощью t -распределения оценивают величину доверительной вероятности или коэффициент надежности $P = 1 - \alpha$, представляющую вероятность получения выборки со значением коэффициента Стьюдента $t_{f\alpha}$, которое лежит внутри интервала

$$\bar{x} - t_{f\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}} < a < \bar{x} + t_{f\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (2.9)$$

где $\Delta_{cr} = t_{f\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}$ – среднее значение среднеквадратичного отклонения величины a для f -степенной свободы на уровне значимости α .

Значения $t_{f\alpha}$ приведены в таблице 2.2 для различных значений надежности $P = 1 - \alpha$, где α называют вероятностью риска или уровнем значимости, и различного числа степеней свободы $f = n - 1$.

Таблица 2.2. – t -распределение Стьюдента, для различных f и P

$f \backslash P$	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999	$f \backslash P$	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
1	6,31	12,71	31,82	63,66	636,6	14	1,76	2,15	2,62	2,98	4,14
2	2,92	4,30	6,97	9,93	31,60	15	1,75	2,13	2,60	2,95	4,07
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,94	16	1,75	2,12	2,58	2,92	4,02
4	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61	17	1,74	2,11	2,57	2,90	3,97
5	2,02	2,57	3,37	4,03	6,86	18	1,73	2,10	2,55	2,88	3,92
6	1,94	2,45	3,14	3,71	5,96	19	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
7	1,90	2,37	3,00	3,50	5,40	20	1,72	2,09	2,53	2,85	3,85
8	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04	25	1,71	2,06	2,49	2,79	3,72
9	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78	30	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
10	1,81	2,23	2,76	3,17	4,59	40	1,68	2,02	2,42	2,70	3,55
11	1,80	2,20	2,72	3,11	4,44	60	1,67	2,00	2,39	2,66	3,46
12	1,78	2,18	2,68	3,06	4,32	120	1,66	1,98	2,36	2,62	3,37

13	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22	∞	1,65	1,96	2,33	2,58	3,29
----	------	------	------	------	------	----------	------	------	------	------	------

Из таблицы 2.2 следует, что с ростом числа испытаний ошибка выборки уменьшается. Для получения доверительной оценки истинного значения измеряемой величины и доверительного интервала $\Delta_{сл}$ необходимо произвести n измерений, рассчитать выборочное среднее квадратичное S и для заданной надежности α найти коэффициент $t_{f\alpha}$.

2.5. Погрешности измерений и доверительный интервал при косвенных измерениях

В случае косвенных измерений при вычислении среднеарифметического значения для каждого из значений x_i вычисляют $y_i = f(x_i)$, а затем определяют $\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$ и находят эмпирический стандарт

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}.$$

Если физическая величина y получается путем косвенных измерений и является функцией нескольких независимых непосредственно измеряемых величин A , B и C , то вычисление среднее квадратичное отклонения, а также интервала существенно зависит от вида функции $y = f(A, B, C)$.

В таблице 2.3 приведены значения среднее квадратичных отклонений для некоторых простейших функций.

Таблица 2.3. – Значения среднее квадратичных отклонений для различных функций

Вид функции	Среднее квадратичное значение
$Y = A + B$	$S_y = \sqrt{S_A^2 + S_B^2}$
$Y = AB$	$S_y = \sqrt{B^2 S_A^2 + A^2 S_B^2}$
$Y = A/B$	$S_y = \sqrt{B^{-2} S_A^2 + A^2 B^{-4} S_B^2}$
$Y = A^n$	$S_y = n A^{n-1} S_A$
$Y = \sin A$	$S_y = S_A \cos A$
$Y = \cos A$	$S_y = S_A \sin A$
$Y = \operatorname{tg} A$	$S_y = S_A \cos^{-2} A$
$Y = \operatorname{ctg} A$	$S_y = S_A \sin^{-2} A$
$Y = \ln A$	$S_y = S_A A^{-1}$
$Y = \lg A$	$S_y = 0,4 S_A A^{-1}$

2.6. Систематические погрешности измерительных приборов

Измерительным прибором называется средство измерений, предназначенное для преобразования сигналов измерительной информации в форму, доступную для непосредственного восприятия наблюдателем. Для всех измерительных приборов характерно наличие отсчетных устройств.

По способу снятия показаний измерительные приборы подразделяются на *показывающие, цифровые и регистрирующие*. Последние, в свою очередь, подразделяются на *самопишущие и печатающие*. Предельные (максимальные) погрешности, даваемые измерительными приборами, иногда наносятся на самом приборе, иногда указываются в прилагаемом паспорте. Упомянутая погрешность показывающих и регистрирующих приборов определяется классом их точности. Класс точности равен приведенной погрешности прибора $Y_{\text{п}}$ и обычно указывается в паспорте прибора и на шкале приборов.

Приведенная погрешность – это относительная погрешность, выраженная в процентах от всей действующей шкалы прибора:

$$Y = \frac{S_0}{A} 100\%, \quad (2.10)$$

где S_0 – допускаемая абсолютная погрешность прибора;

A – верхний предел измерения для приборов с односторонней шкалой (ноль слева); а для приборов с двусторонней шкалой (ноль посередине) $A = A_1 + A_2$; где A_1 и A_2 – верхние пределы измерения.

Зная допустимую приведенную погрешность прибора (класс точности), можно найти абсолютную погрешность для любого показания по формуле:

$$S_0 = \frac{Y_{\text{п}} A}{100\%}, \quad (2.11)$$

Например, лабораторный амперметр с пределами измерения $0 \div 1$ А имеет приведенную погрешность $Y_{\text{п}} = \pm 0,5\%$. Тогда абсолютная погрешность любого показания $S_0 = \frac{0,5\% \cdot 1}{100\%} = \pm 0,005A$.

Для простых измерительных приборов типа линейки абсолютная погрешность S_0 показания берется равной половине цены наименьшего деления. С учетом доверительной вероятности погрешность измерительного прибора

$$\Delta_{\text{np}} = t_{\text{f}\alpha} \frac{S_0}{\sqrt{n}}. \quad (2.12)$$

2.7. Алгоритм математической обработки результатов эксперимента

Таким образом, обработка результатов эксперимента осуществляется в следующей последовательности:

2.7.1. Проводится n измерений: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

2.7.2. Определяется выборочное среднее измеряемой величины

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}.$$

2.7.3. Находится выборочная дисперсия по формуле

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2.$$

2.7.4. Находится эмпирический стандарт по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}.$$

2.7.5. Находится доверительный интервал измеряемой величины a с доверительной вероятностью $P=1-\alpha$ по формуле $\Delta_{cl} = \frac{t_{f\alpha} \cdot S}{\sqrt{n}}$.

2.7.6. Оценивается погрешность измерительного прибора

$$\Delta_{np} = t_{f\alpha} \cdot \frac{S_0}{\sqrt{n}}.$$

2.7.7. Если $\Delta_{cl} \gg \Delta_{np}$, то погрешностью измерительного прибора пренебрегают и результат записывают в виде $\bar{x} - \Delta_{cl} < a < \bar{x} + \Delta_{cl}$.

2.7.8. Если $\Delta_{np} \gg \Delta_{cl}$, то случайной погрешностью пренебрегают и результат записывают в виде $\bar{x} - \Delta_{np} < a < \bar{x} + \Delta_{np}$.

2.7.9. Если Δ_{np} порядка Δ_{cl} , то находят общую погрешность Δ по формуле $\Delta = \sqrt{\Delta_{cl}^2 + \Delta_{np}^2}$. Результат записывают в виде $\bar{x} - \Delta < a < \bar{x} + \Delta$.

2.8. Порядок выполнения работы

2.8.1. Подготовьте 10 образцов на растяжение из полиэтиленовой пленки размером 80 x 5 мм. Нанесите на пленке две метки, обозначив рабочую часть длиной 50 мм.

2.8.2. Растяните образцы до полной реализации высокоэластической деформации и измерьте линейкой длину l образцов.

2.8.3. Найдите абсолютное удлинение $\Delta l = l - l_0$.

2.8.4. Подсчитайте относительную деформацию образцов

$$\varepsilon\% = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%.$$

2.8.5. Результаты измерений приведите в таблице 2.4.

2.8.6. Проведите математическую обработку результатов эксперимента в соответствии с алгоритмом, приведенным в разделе 2.7.

Таблица 2.4. – Результаты измерений образцов из полиэтиленовой пленки на растяжение

n_i	l_i , мм	l_0 , мм	Δl , мм	ε , %

2.9. Вопросы и задания для самоконтроля

2.9.1. Что понимают под измерением физической величины?

2.9.2. Дайте определение погрешности измерения и назовите три ее группы.

2.9.3. Назовите закон распределения случайной величины и три способа его задания.

2.9.4. Что называют измерительным прибором?

2.9.5. На какие виды делятся измерительные приборы?

2.9.6. Раскройте алгоритм математической обработки результатов эксперимента.

Лабораторная работа № 3 Строение дерева и древесины

Цель работы: изучение макроскопического и микроскопического строения древесины, основных разрезов и строения ствола лиственных и хвойных пород; определение древесных пород на основании макроскопических признаков строения древесины.

Оснащение: комплект образцов изучаемых пород; ручная лупа 3–5 кратного увеличения; определитель пород по внешним признакам; цветной плакат разрезов ствола.

Теоретические сведения

3.1. Строение дерева и древесины

Растущее дерево состоит из *кроны, ствола и корней* (рисунок 3.1).

Крона состоит из *ветвей и листьев* или *хвои*. Из листьев и хвои получают витаминную муку, из ветвей – технологическую щепу для производства картона и ДВП.

Различают *поперечный, радиальный и тангенциальный разрезы* ствола дерева (рисунок 3.2).

Поперечный разрез проходит перпендикулярно оси ствола и направлению волокон, образуя торцевую плоскость.

Радиальный разрез – продольный разрез, проходящий через сердцевину ствола вдоль волокон древесины и перпендикулярно касательной к годичному слою в точке касания.

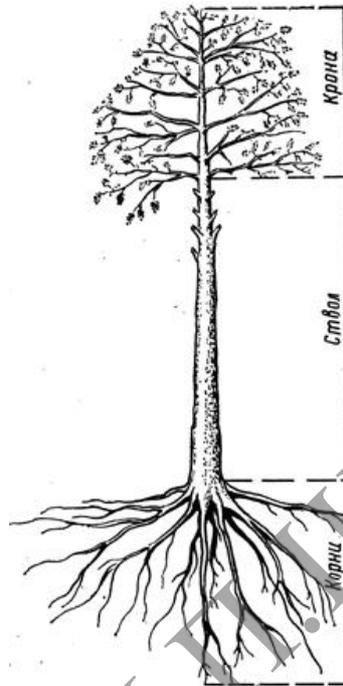
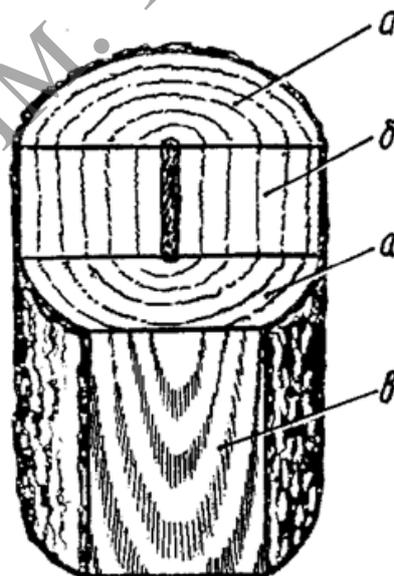


Рисунок 3.1. – Части растущего дерева

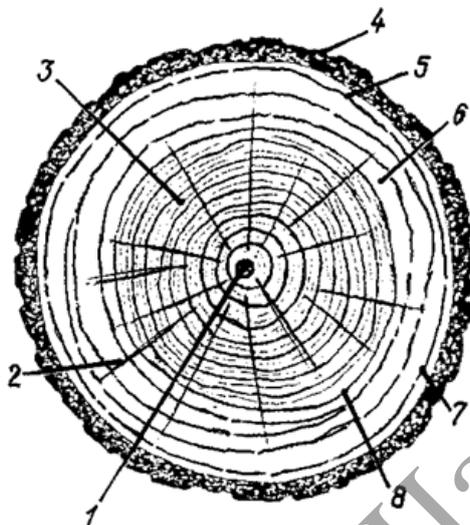


a – поперечный (торцевой); *б* – радиальный; *в* – тангенциальный.

Рисунок 3.2. – Главные разрезы ствола дерева

Тангенциальный разрез – продольный разрез, проходящий на некотором расстоянии от сердцевины по радиальному направлению вдоль волокон древесины и по касательной к годичному слою.

На поперечном разрезе ствола можно видеть *серцевину, древесину с годичными слоями и кору* (рисунок 3.3).



1 – сердцевина; 2 – сердцевинные лучи; 3 – ядро; 4 – пробковый слой; 5 – лубяной слой; 6 – заболонь; 7 – камбий; 8 – годичные слои

Рисунок 3.3 – Поперечный разрез ствола

Серцевина 1 – узкая центральная часть ствола. Является рыхлой тканью и видна на поперечном (торцевом) разрезе в виде пятнышка диаметром 2–5 мм, а на радиальном – в виде прямой или извилистой темной узкой полоски.

Древесина – совокупность *проводящих, механических и запасяющих тканей* в стволах, ветвях и корнях древесных растений между корой и сердцевинной.

Кора покрывает дерево сплошным кольцом и состоит из внешнего слоя – *корки 4* и внутреннего – *луба 5*. Луб проводит воду с органическими веществами вниз по стволу. Кора предохраняет дерево от механических повреждений, перепадов температуры и насекомых. Кора может быть гладкой (пихта), чешуйчатой (сосна), волокнистой (можжевельник) и бородавчатой (бересклет). Цвет коры у березы белый, темно-серый у дуба, темно-бурый у ели и т. д. Кора составляет 6–25 % объема ствола и используется для дубления кож, теплоизоляционных материалов.

Между лубом и древесиной располагается очень тонкий слой – *камбий 7*, состоящий из живых клеток, из которых образуются клетки древесины и коры. Клетки древесины растут в 5–6 раз быстрее, чем клетки пробкового слоя.

3.2. Макроскопическое строение древесины

Макроструктура древесины – структура, которую можно исследовать невооруженным глазом или с помощью лупы.

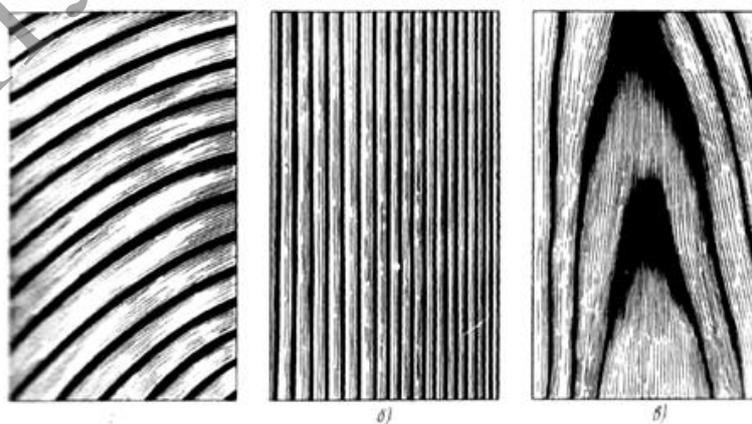
Центральную часть древесины называют *ядром* *ж*, а периферийную часть – *заболонью* *б* (рисунок 3.3). Древесина обычно имеет светлый цвет (ольха, береза, граб); у некоторых деревьев ядро имеет более темную окраску, а заболонь – светлую (дуб, сосна, лиственница). Ядро состоит из мертвых клеток, а заболонь – из живых.

Породы, имеющие ядро, называют *ядровыми* (сосна, лиственница, кедр, дуб, ясень, тополь). Породы, у которых нет различия между центром и периферией ни по цвету, ни по содержанию воды, называются *заболонными* (береза, клен, граб). Если в центральной части дерева воды меньше, а ее цвет не отличается от периферической, ее называют *спелой древесиной*, а породы – *спелодревесными* (ель, пихта, бук, осина).

У некоторых безъядровых пород наблюдается потемнение центральной части ствола (береза, бук, осина, ель, клен), поэтому центральная зона у таких пород называется *ложным ядром*. У молодых деревьев ядро отсутствует. Ядро образуется за счет отмирания живых клеток древесины (у тиса, акации на третий год; у сосны на 30–35 год).

Переход от заболони к ядру может быть резким (лиственница, тис) или плавным (кедр, грецкий орех). Заболонь служит для проведения воды вверх, ядро выполняет механическую функцию. Древесина заболони менее стойка к загниванию, легко пропускает воду.

Годичный слой *г* – концентрический слой ежегодного прироста древесины за один вегетационный период (рисунки 3.3, 3.4 *а*). Годичные слои нарастают ежегодно от центра к периферии и самый молодой слой, таким образом, – наружный. На радиальном разрезе годичные слои имеют вид продольных прямых полос, на тангенциальном – извилистых конусообразных линий (рисунок 3.4 *б, в*).

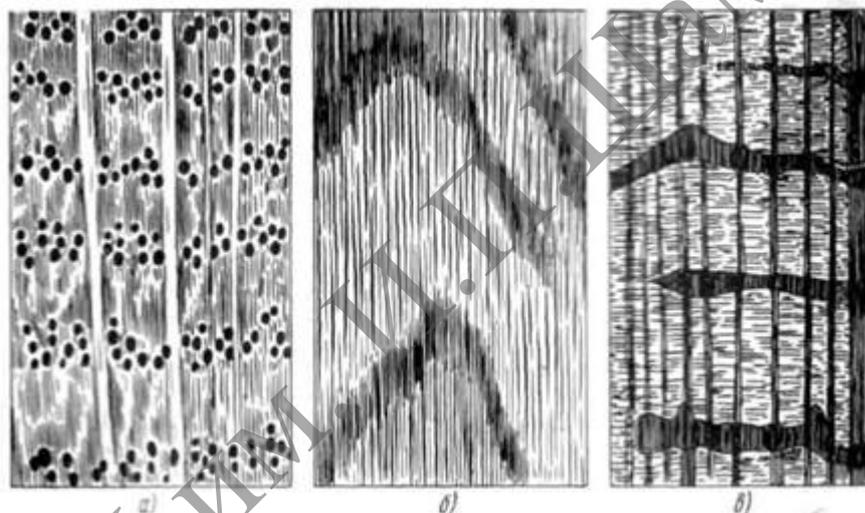


а – на поперечном разрезе; *б* – на радиальном; *в* – на тангенциальном
Рисунок 3.4. – Вид годичных слоёв на разрезах древесины (сосна)

Ширина годичных слоев зависит от погодных условий роста (засуха, мороз); у сторон дерева, обращенных к свету, годичные слои шире. У быстрорастущих пород годичные слои широкие (тополь, ива).

Каждый годичный слой состоит из двух частей: *ранняя древесина* (внутренняя) – обращена к сердцевине, светлая и мягкая; *поздняя древесина* (наружная) – обращена к коре, темная и твердая. Ранняя образуется в начале лета и служит для проведения воды вверх по стволу, поздняя – откладывается в конце лета и выполняет механическую функцию.

Сердцевинные лучи 2 видны на поперечном разрезе некоторых пород в виде линии, направленных от сердцевины к коре, часто блестящих, начинающихся у первичных лучей у самой сердцевины, а у вторичных – на разном расстоянии от нее (рисунок 3.3, 3.5 а). В растущем дереве эти лучи служат для проведения воды в горизонтальном направлении и хранения запасных питательных веществ.



а – на поперечном разрезе; б – на тангенциальном; в – на радиальном

Рисунок 3.5. – Вид сердцевинных лучей на разрезах древесины

На радиальном разрезе сердцевинные лучи видны в виде светлых блестящих полосок или лент, расположенных поперек волокон (рисунок 3.5 в). На тангенциальном разрезе – в виде темных штрихов с заостренными концами, размещенных вдоль волокон с шириной луча 0,015–0,6 мм (рисунок 3.5 б).

По ширине сердцевинные лучи бывают: очень узкие, не видимые глазом (береза, осина, груша, хвойные породы); узкие, трудноразличимые (клен, вяз, липа); широкие, видимые невооруженным глазом, при этом бывают настоящие широкие (дуб, бук) и ложно широкие (граб, ольха), представляющие пучки сближенных узких лучей.

Сердцевинные повторения, видимые на торцевом разрезе как темные пятнышки бурого, коричневого цвета, расположенные ближе к границе годичного слоя, возникают вследствие повреждения камбия насекомыми или морозом.

Сосуды – трубки, каналы различной величины, предназначенные для проведения воды, видны на поперечном разрезе лиственных пород в виде отверстий. В *кольцесосудистых лиственных породах* крупные сосуды расположены в ранней древесине годичных слоев и образуют сплошное кольцо. В поздней древесине мелкие сосуды собраны в группы, заметные по светлой окраске.

При равномерном распределении крупных и мелких сосудов *лиственные породы* называют *рассеяннососудистыми*. Объем сосудов составляет 7–43 % от породы.

У древесины *хвойных пород* наблюдаются *смоляные ходы* – тонкие узкие каналы, заполненные смолой. Смоляные ходы бывают вертикальными и горизонтальными. Вертикальные смоляные ходы на поперечном разрезе видны в виде светлых точек в поздней древесине годичного слоя, на продольных разрезах – в виде темных штрихов, направленных вдоль оси ствола. Объем смоляных ходов составляет 0,2–0,7 % от объема древесины.

3.3. Микроскопическое строение древесины

Древесина состоит из клеток, до 98 % мертвых. *Растительная клетка* состоит из тонкой прозрачной оболочки, в которой находится *протопласт*, состоящий из *цитоплазмы* и *ядра*.

Клеточная оболочка – эластичная до 0,001 мм толщиной пленка, состоящая из *клетчатки* или *целлюлозы*.

При жизни клеток происходит их одревеснение и опробкование. Одревеснение клеточной оболочки происходит за счет образования в них *лигнина* и одревесневшие клетки прекращают рост или увеличивают размеры значительно меньше, чем клетки с целлюлозными оболочками.

Целлюлоза образует волоконца, называемые *микрофибриллами*, промежутки между которыми заполнены *лигнином*, *гемицеллюлозами* и *связанной влагой*. При росте клеточные оболочки утолщаются, неутолщенные места называются *порами*.

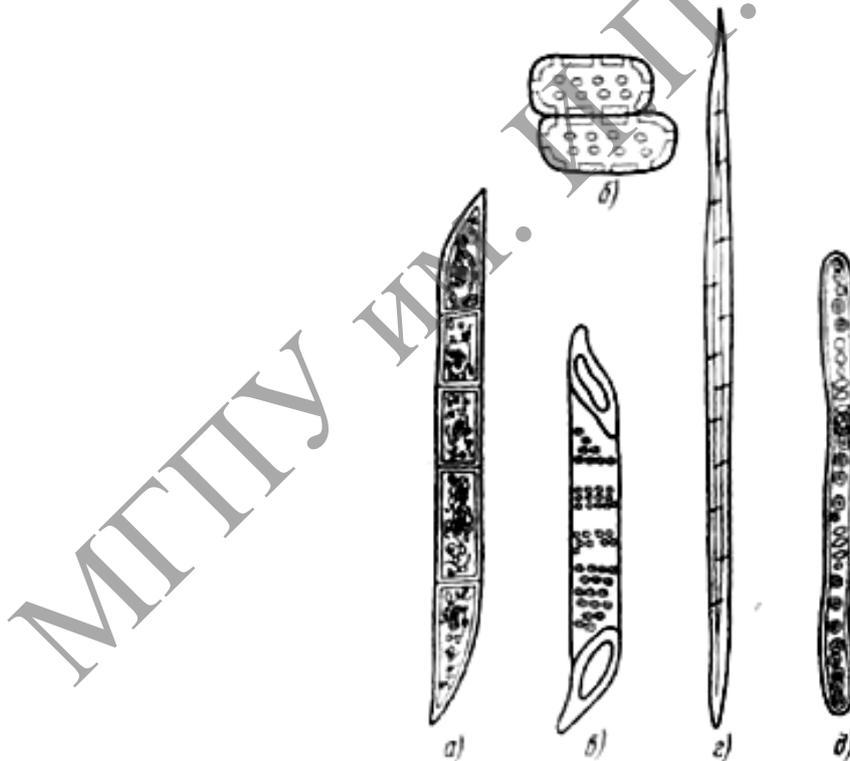
Различают два основных вида клеток: *прозенхимные* и *паренхимные*. *Прозенхимные клетки* – волокна с $l = (0,5–3)$ мм и $d = (0,01–0,05)$ мм с заостренными концами. *Паренхимные клетки* имеют вид многогранных призм с размерами сторон 0,01–0,1 мм. Паренхимные клетки запасают питательные вещества: крахмал, жиры и др. вещества и хранят их до весны, а весной направляют их в крону для образования листьев. Паренхимные клетки расположены по радиусу дерева и входят в состав

сердцевинных лучей, их количество составляет 1–2 % у хвойных и 2–15 % у лиственных пород. Прозенхимные клетки разделяются на *проводящие* и *опорные* (механические).

Клетки одинакового строения, выполняющие одни и те же функции, образуют *ткани* древесины. *Запасающие ткани* служат для накопления и хранения питательных веществ (расположены в стволе и корнях). *Проводящие ткани* – вытянутые тонкостенные клетки, (сосуды, трубки), по которым влага от корней подается к листьям. У сосудов $l \sim 100$ мм (у дуба $l \sim (2-3)$ см), $d \sim (0,01-0,5)$ мм.

Механические (опорные) ткани расположены в стволе и придают устойчивость растущему дереву. Это волокнистые *трахеиды* и волокна *либриформа*.

Покровные ткани находятся в коре и играют защитную роль. Основную массу, 90–95 % хвойных пород, составляют расположенные радиальными рядами вытянутые клетки с кососрезанными концами – *трахеиды* (рисунок 3.6). В трахеидах имеются поры, через которые они соединяются с соседними клетками. Ранние трахеиды образуются весной и в начале лета, имеют тонкие оболочки с порами и широкие полости.



а – тяж древесной паренхимы; *б* – запасающие клетки (сердцевинные лучи);
в – членик сосуда, *г* – волокно либриформа (механическая ткань); *д* – трахеида

Рисунок 3.6. – Анатомические элементы древесины

Поздние трахеиды имеют узкие полости и толстые клеточные оболочки, выполняющие механические функции. Трахеиды – мертвые клетки.

Смоляные ходы – клетки, вырабатывающие и хранящие смолу. Древесная паренхима у хвойных пород распространена мало – это вытянутые по длине ствола единичные клетки или группы клеток вдоль оси ствола.

Древесина лиственных пород имеет более сложное строение.

Сосуды – система клеток в растущем дереве для проведения воды из корней к листьям.

Волокна либриформа составляют до 76 % массы древесины. Это длинные клетки с заостренными концами, толстыми оболочками и узкими полостями. Стенки их всегда одревесневшие ($l \sim (0,3-2)$ мм, $d \sim (0,005-0,02)$ мм). Это наиболее прочные элементы древесины, выполняющие механические функции.

Клетки древесной паренхимы, выполняющие запасные функции, в лиственных породах развиты сильнее, чем у хвойных, и образуют сердцевинные лучи, состоящие до 100 и более клеток по высоте. Большое их количество обусловлено тем, что лиственные породы на зиму сбрасывают листья, следовательно, нуждаются в большем запасе питательных веществ.

Особенности микростроения древесины обуславливают различие их свойств. Волокна хвойных пород прямолинейны, следовательно, их прочность больше при одинаковой плотности. Извилистость волокон лиственных пород приводит к увеличению ударной вязкости и большей прочности при скалывании вдоль волокон. Древесина лиственных кольцесосудистых пород лучше гнется.

3.4. Внешний вид древесины

Внешний вид древесины определяется *цветом, блеском, текстурой, запахом, макроструктурой*.

Цвет древесине придают дубильные, смолистые и красящие вещества, находящиеся в полостях клеток.

Белый цвет у осины, ели, липы. У граба – светло-серый цвет, цвет дуба и ясеня – бурый, у грецкого ореха – коричневый, у ольхи в свежесрубленном состоянии – светло-розовый. Под влиянием света, воздуха, влаги древесина многих пород теряет яркость, приобретает сероватую окраску, темнеет (ольха приобретает желтовато-красную окраску). Мореный дуб (долго пролежавший в воде) приобретает темно-коричневый и даже черный цвет. У молодых деревьев древесина светлее. Устойчивым цветом обладает древесина дуба, груши, белой акации, каштана.

Цвет древесины улучшают пропариванием (бук), протравливанием (дуб, каштан), окрашиванием. Цвет древесины определяют по атласу или шкале цветов.

Блеск – способность направленно отражать световой поток и зависит от плотности древесины, количества, размеров и расположения сердцевинных лучей. Особый блеск у бука, клена, белой акации, дуба.

Древесина осины, липы, тополя с узкими сердцевинными лучами и тонкими стенками клеток механических тканей имеет матовую поверхность. Блеск усиливают полированием, лакированием, вощением, оклеиванием прозрачными пленками из искусственных смол.

Текстура – рисунок, получающийся на разрезах древесины при перерезании ее волокон, годичных слоев и сердцевинных лучей, определяемый особенностями анатомического строения отдельных пород деревьев и направлениями среза.

Хвойные породы на тангенциальном разрезе из-за различия в цвете ранней и поздней древесины дают красивую текстуру. Лиственные породы с выраженными годичными слоями и сердцевинными лучами (дуб, бук, клен) имеют красивую текстуру на радиальном и тангенциальном разрезах. Текстуру усиливают и выявляют при использовании прозрачных лаков. Она определяет декоративную ценность древесины.

Запах определяется наличием в древесине смол, эфирных масел, дубильных и других веществ. Запах имеет значение при изготовлении тары для пищевых продуктов.

Качество древесины можно определить по показателям макроструктуры: *ширине годичных слоев, степени равнослойности и величине структурных неровностей.*

Ширина годичных слоев – число слоев на 1 см отрезка, отмеренного в радиальном направлении на поперечном (торцевом) срезе (у хвойных пород – от 3 до 25 слоев). При этом определяют в процентах содержание поздней древесины, определяющей её плотность и, следовательно, ее механические свойства.

Степень равнослойности – разница в числе годичных слоев на 2-х соседних участках длиной по 1 см, определяет резонансную способность ели и пихты.

Величина структурных неровностей возникает при перерезании полых анатомических элементов. Для уменьшения этих неровностей производят порозаполнение.

3.5. Порядок выполнения работы

3.5.1. Изучите по цветному плакату годичные слои древесины хвойных и лиственных пород на основных разрезах. Отберите образцы, на которых годичные слои видны хорошо (лиственница, сосна, дуб, тис, бук), и образцы, на которых они видны плохо (берёза, осина, ольха, липа, орех).

3.5.2. Запомните и запишите названия 6–8 пород с хорошей и плохой видимостью годичных слоёв.

3.5.3. Осмотрите визуально и через лупу основные разрезы образцов, подлежащих изучению.

3.5.4. Сравните поперечные разрезы древесины различных образцов. У большинства пород годичные слои округлой плавной формы (ель, сосна), некоторым свойственна волнистость годичных слоёв (тис, можжевельник, граб, ольха).

3.5.5. Сравните радиальные и тангенциальные разрезы древесины различных образцов. На радиальных разрезах годичные слои образуют параллельные полосы, направленные вдоль волокон. На тангенциальных разрезах годичные слои представлены в виде параболических или извилистых линий, направленных вершиной вверх по стволу дерева.

3.5.6. Рассмотрите через лупу отдельный годичный слой. Выделите в каждом слое две части, отличающиеся по цвету и плотности. Внутренняя часть слоя – светлая и пористая (ранняя древесина), наружная – тёмная и плотная (поздняя древесина).

3.5.7. Определите, пользуясь лупой, на различных образцах древесины резкость перехода ранней древесины в позднюю в пределах одного годичного слоя. Выделите образцы с постепенным переходом ранней древесины в позднюю (кедр, ель) и резким переходом ранней древесины в позднюю (лиственница). Хвойные породы по степени видимости перехода ранней древесины в позднюю располагаются в следующем убывающем порядке: лиственница, сосна, тис, пихта, кедр, можжевельник.

3.5.8. Запишите результаты изучения годичных слоёв, ранней и поздней древесины в таблицу 3.1.

Таблица 3.1. – Характеристика годичных слоев основных пород древесины

Породы древесины	Характеристика годичных слоёв по внешним признакам						
	Степень видимости	Очертание на разрезах			Цвет частей годичного слоя		Переход ранней древесины в позднюю
		Поперечном	Радиальном	Тангенциальном	Ранней древесины	Поздней древесины	

3.6. Задания для самоконтроля

3.6.1. Назовите породы с хорошей и плохой видимостью годовичных слоёв.

3.6.2. Определите назначение коры, камбия, древесины и сердцевины в растущем дереве.

3.6.3. Сформулируйте признаки ядровых, заболонных и спелодревесных пород древесины (назовите их).

3.6.4. Выделите характерные признаки годовичных слоёв на главных разрезах ствола.

Лабораторная работа № 4

Определение числа годовичных слоёв и содержания поздней древесины в годовичном слое

Цель работы: изучение метода определения числа годовичных слоёв в 1 см и содержание поздней древесины в годовичном слое по ГОСТ 16483.18 – 72.

Оснащение: лупа с 3–5-кратным увеличением; измерительная металлическая линейка; образцы древесины с поперечным (торцевым) разрезом; штангенциркуль; шлифшкурка; карандаш.

Теоретические сведения

4.1. Виды годовичных слоёв

Ширина годовичных слоёв зависит от породы и условий произрастания дерева, а также их положения в стволе. У быстрорастущих пород деревьев годовичные слои широкие – 1–1,5 см (тополь, ива), у медленнорастущих – узкие – до 0,1 см (тис, самшит). В нижней части ствола годовичные слои узкие, вверх по стволу ширина их увеличивается. У одной и той же породы ширина годовичных слоёв может быть различной, зависящей от условий роста при засухе, недостатке питательных веществ. На деревьях, произрастающих на заболоченных почвах, годовичные слои узкие, у растущих на опушке леса на обращенной к свету стороне годовичные слои более широкие. Некоторым породам (граб) свойственна волнистость годовичных слоёв на поперечном разрезе.

4.2. Зависимость механических свойств древесины от годовичных слоёв

От числа годовичных слоёв, приходящихся на 1 см, зависят физико-механические свойства древесины. Для каждой породы древесины существует оптимальное число годовичных слоёв в 1 см. Увеличение или

уменьшение этого числа приводит к изменению физико-механических свойств древесины. Так, для высококачественной древесины сосны число годовых слоев в 1 см должно быть не менее 3 и не более 20, для древесины дуба – не менее 2 и не более 12.

Чем более развита поздняя часть годовых слоев, тем выше показатели физико-механических свойств древесины, т.е. ее качество. Зная процент поздней древесины, можно ориентировочно судить о свойствах материала в целом. У различных пород содержание поздней древесины различно. Например, у дуба оно составляет до 65 %, у сосны до 26 %. Основываясь на этом параметре, можно определять по таблице показателей физико-механических свойств древесины различных пород предел прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе древесины без лабораторных испытаний образцов.

4.3. Порядок выполнения работы

4.3.1. Возьмите образцы древесины в форме прямоугольной призмы основанием не менее 20×20 мм и длиной вдоль волокон от 10 до 20 мм. Испытание можно проводить и на других образцах при наличии торцевой поверхности размером не менее 20–60 мм в радиальном направлении.

4.3.2. На гладко обработанном, зачищенном шлифшкуркой торце образца в радиальном направлении проведите карандашом линию, на которой на протяжении примерно 20–60 мм обозначьте точками границы крайних целых годовых слоев. Расстояние l (рисунок 4.1) между отмеченными точками измерьте с погрешностью не более 0,05 см. Одновременно подсчитайте число N целых годовых слоев на протяжении отмеченного расстояния l .

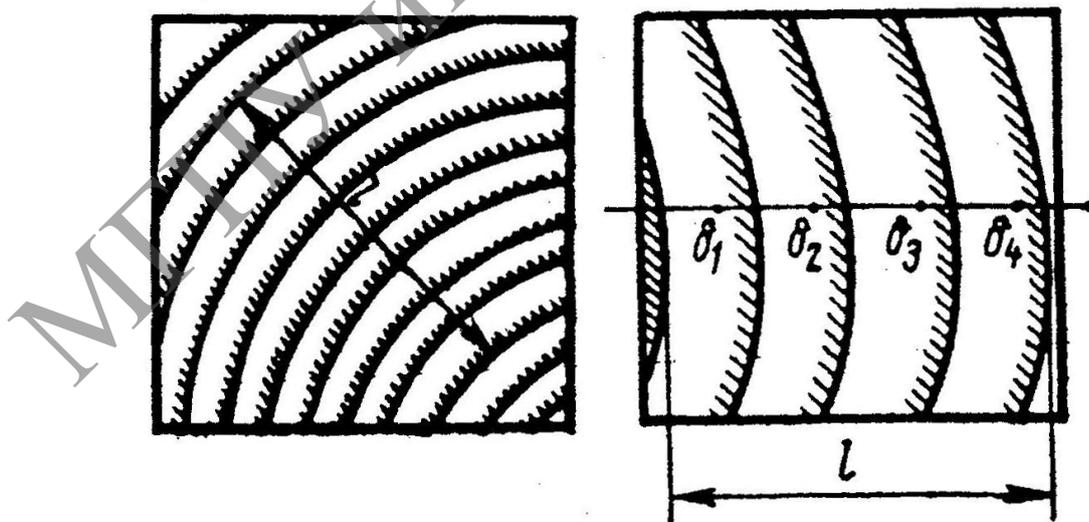


Рисунок 4.1. – Схема разметки торцевого среза образца породы древесины

4.3.3. Определите содержание поздней древесины m в годичном слое. Для этого в каждом годичном слое между отмеченными точками измерьте с помощью измерительной лупы ЛИ – 3 ширину поздней части годичного слоя b с погрешностью не более 0,01 см. Показатели ширины поздней части годичного слоя сложите: $b = \sum b_i = b_1 + b_2 + b_3 + b_4 + \dots + b_n$. Вычислите содержание поздней древесины по формуле:

$$m = (\sum b_i / l) 100\%, \quad (4.1)$$

где $\sum b_i$ – суммарная ширина частей поздней древесины, см;
 l – общее протяжение тех годичных слоев, в которых измерялась ширина поздней древесины, см.

4.3.4. С погрешностью не более 0,05 см определите число годичных слоев n в 1 см по формуле:

$$n = N / l, \quad (4.2)$$

где N – общее число целых годичных слоев на расстоянии l ;
 l – расстояние между отметками, т. е. длина измеряемого в радиальном направлении участка.

4.3.5. Запишите в таблицу 4.1 результаты определения числа годичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годичном слое.

Таблица 4.1. – Определение числа годичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годичном слое

Номер образца и порода древесины	Протяжение l годичных слоев по радиальному направлению, см	Число N целых годичных слоёв на длине l	Число n годичных слоёв в 1 см	Общая ширина $\sum b_i$ поздней древесины, см	Содержание поздней древесины m , %

4.3.6. Сделайте вывод о качестве исследованных образцов древесины.

4.4. Вопросы и задания для самоконтроля

4.4.1. В каких породах древесины определяют содержание поздней древесины?

4.4.2. Изложите метод определения качества древесины по числу годовичных слоев в 1 см на примере исследованных образцов.

4.4.3. Какие признаки, характеризующие годовичные слои, влияют на физико-механические свойства древесины?

Лабораторная работа № 5 Определение хвойных пород древесины по внешним признакам

Цель работы: определение древесины хвойных пород на основании макроскопических признаков строения древесины.

Оснащение: комплект образцов изучаемых пород; ручная лупа с 3–5-кратным увеличением; определитель пород по внешним признакам; плакаты разрезов ствола.

Теоретические сведения

5.1. Макроскопические признаки пород древесины

Каждая древесная порода имеет характерные особенности, по которым ее можно отличить от другой. Основными макроскопическими признаками при определении пород древесины являются:

- наличие ядра;
- заболонь;
- степень резкости перехода от ядра к заболони у ядровых пород;
- степень видимости годовичных слоев и их очертание на поперечном разрезе;
- четкость границы между ранней и поздней древесиной в годовичных слоях;
- наличие смоляных ходов, их размеры и количество;
- цвет;
- блеск;
- текстура (рисунок);
- плотность;
- твердость.

5.2. Макроскопические признаки хвойных пород древесины

У древесины хвойных пород хорошо видны на всех разрезах годовичные слои. Поздняя древесина резко отличается от ранней.

Многочисленные сердцевинные лучи очень узкие и почти не видны невооруженным глазом. Сосудов у древесины нет. Лиственница, сосна, кедр, тис и можжевельник имеют ядро, а ель и пихта – спелую древесину. В древесине пихты, тиса, можжевельника и кипариса смоляных ходов нет. Многие хвойные породы пахнут скипидаром, т. е. имеют запах сосновой смолы.

Основные макроскопические признаки древесины хвойных пород приведены в таблице 5.1.

5.3. Хвойные породы древесины

Кедр (420 кг/м³). В основном произрастает в лесах Российской Федерации. Различают два вида кедра: кедр сибирский, или сосна кедровая сибирская, и кедр корейский. Сибирский кедр растёт в европейской части на северо-востоке, а в Сибири почти на всей территории; корейский кедр произрастает в южной части Дальнего Востока и в Маньчжурии.

По физико-механическим свойствам древесина кедра занимает промежуточное положение между древесиной сибирской ели и пихты, но по стойкости против гниения превышает их. Древесина кедра хорошо обрабатывается в разных направлениях; используется для производства карандашей, в столярно-мебельном производстве, для изготовления шпал, рудничной стойки и др.

Тис (670 кг/м³). Древесина тиса имеет красивый внешний вид и поэтому ценится в мебельном производстве, используется для внутренней отделки помещений, изготовления токарных и резных изделий, мелких художественных изделий.

Сосна (520 кг/м³) занимает около 1/6 площади всех лесов нашей страны. Самой распространённой породой сосны является сосна обыкновенная. Древесина сосны используется в судо-, вагоно-, и мостостроении, в сельскохозяйственном машиностроении, в столярно-мебельном производстве, для изготовления строительных деталей, фанеры, ящиков. Применяется для сухой перегонки и в качестве топлива, является сырьём для целлюлозно-бумажной промышленности. Сосна идет на изготовление шпал, столбов связи и линий электропередач.

Древесина сосны занимает главное место в лесном экспорте страны (вывозится в виде пиломатериалов, рудничной стойки и др.)

Ель (450 кг/м³) занимает 1/8 покрытой лесом площади. Род елей включает девять видов. Наибольшее хозяйственное значение имеют два вида ели: европейская (обыкновенная) и сибирская.

Ель имеет мутовчатые сучки, чем и отличается от сосны. Ель обыкновенная, произрастающая в северных районах России, по физико-механическим свойствам даёт лучшую древесину. Древесина ели из-за большой сучковатости обрабатывается несколько хуже. Преимущества ее – однородность строения, белый цвет и малая смолистость.

Таблица 5.1. – Макроскопические признаки древесины основных хвойных пород

Показатели	Породы				
	Лиственница	Сосна	Кедр	Ель	Пихта
Ядро	Красновато-бурое	От розового до буровато-красного	От светлого розового до желтовато-розового	Породы безъядровые спелодревесные	
Заболонь	Буровато-белая; узкая (до 20 годичных слоев)	Желтовато-белая, разной ширины (от 20 до 80 годичных слоев)	Желтовато-белая; широкая (до 40 годичных слоев)	–	–
Общая характеристика цвета древесины	Бурый оттенок	Красноватый или желтоватый оттенок	Розоватый оттенок	Белая со слабым желтоватым оттенком, однородная	Белая со слабым желтоватым или буроватым оттенком
Сердцевинные лучи	Не видны				
Годичные слои	Различаются на всех разрезах				
Цвет древесины	Поздняя древесина темно-бурого цвета, развита сильно, очень резко отличается от ранней древесины светло-бурого цвета	Поздняя древесина красновато-бурого цвета, хорошо развита, резко отличается от ранней светлой древесины	Поздняя древесина желтовато-розового цвета, слабо развита, переходит в раннюю постепенно, растушеванно	Поздняя древесина имеет вид узкой светло-бурой полосы, переходит в раннюю постепенно	Поздняя древесина слабо развита, переходит в раннюю белого цвета постепенно

Показатели	Породы				
	Лиственница	Сосна	Кедр	Ель	Пихта
Смоляные ходы	Мелкие, немногочисленные	Многочисленные, диаметром от 0,06 до 0,13 мм; через лупу хорошо видны на всех разрезах	Многочисленные, самые крупные по сравнению с другими породами	Немногочисленные, хорошо различаемые через лупу	Нет
Запах	Скипидарный	Резкий скипидарный	Характерный для кедровых орехов	Слабый скипидарный	Довольно сильный приятный запах имеет кора. Древесина запаха не имеет
Кора	Толстая, темно-серого цвета, с большим количеством трещин	Внизу толстая, с трещинами, темно-бурая, вверху тонкая, гладкая, золотистая	Бурая, в трещинах, довольно толстая	Бурая, в трещинах, довольно тонкая	Тонкая, гладкая, серого цвета

Древесина ели – основное сырьё для целлюлозно-бумажного производства, применяется в строительстве для изготовления оконных и дверных блоков, досок для покрытия полов, плинтусов, наличников, обшивки и раскладок, бытовой мебели. Однородность строения и высокая способность резонировать обуславливают её применение в музыкальной промышленности. Сортименты для речного судостроения – кокоры – также изготавливают из ели.

Древесину ели используют для получения драни, гонта, стружки для упаковки яиц. Из коры ели получают дубильные материалы для кожевенной промышленности. В лесном экспорте ель также занимает важное место (пиломатериалы, балансы).

Лиственница (650 кг/м^3) в большом количестве произрастает в Российской Федерации. Она занимает около $2/3$ площади всех лесов этой страны. Известны 14 видов лиственницы, из которых наибольшее хозяйственное значение имеют даурская и сибирская. Даурская лиственница произрастает на Дальнем Востоке и в Восточной Сибири, сибирская – в лесах Западной Сибири и частично в Восточной Сибири (в бассейне р. Енисей).

Древесина лиственницы имеет высокие физико-механические показатели: плотность и прочность её древесины почти на 30 % выше, чем древесины сосны. Она обладает высокой стойкостью против гниения. Древесина лиственницы тяжёлая, и это затрудняет её сплав.

Древесину лиственницы используют в случаях, когда требуется высокая прочность и стойкость против гниения (гидротехнические сооружения, сваи, столбы связи, шпалы, рудничная стойка). В вагоностроении древесину лиственницы иногда применяют вместо древесины дуба. Используют её в мебельном производстве, так как она имеет красивую текстуру, в целлюлозно-бумажном и гидролизном производствах, для подсычки и т. д. В Беларуси промышленное значение её пока мало.

Пихта (375 кг/м^3). В Российской Федерации растёт девять видов пихты: сибирская, кавказская, белокорая, маньчжурская и др. Сибирская пихта произрастает на северо-востоке европейской части России и большей части лесной зоны Сибири до Байкала на востоке и до Алтая и Средней Азии на юге.

Кавказская пихта растёт в горах Западного Кавказа в смеси с другими породами, пихта белокорая и маньчжурская – на Дальнем Востоке. Древесина кавказской пихты обладает наиболее высокими физико-механическими свойствами и не уступает древесине ели; сибирская пихта даёт древесину с более низкими физико-механическими свойствами по сравнению с древесиной ели (плотность и прочность на сжатие ниже на 15–25 %, при статическом изгибе – на 20 %, при ударной вязкости – на 50 %).

Древесину кавказской пихты используют наравне с древесиной ели. В качестве резонансной древесины её применяют в музыкальной промышленности. Древесину других видов пихты используют вместо древесины ели.

5.4. Порядок выполнения работы

5.4.1. Изучите по таблице 5.1 или описанию макроскопические признаки древесины хвойных пород, запомните наиболее характерные из них.

5.4.2. Отберите из комплекта образцов, предложенных для изучения, любой и внимательно осмотрите его, начиная с поперечного разреза. После этого осмотрите продольные разрезы образца. При осмотре плохо различимых признаков пользуйтесь лупой.

5.4.3. Сопоставьте характеристики выявленных особенностей с данными таблицы или описанием макроскопических признаков пород. Соответствие описания с действительными признаками образца точно указывает на название распознаваемой породы древесины. Определите таким же образом породу древесины еще одного-двух образцов.

5.4.4. Запишите макроскопические признаки древесины хвойных пород в таблицу 5.2 в следующей последовательности: наличие и цвет ядра; размеры и цвет заболони; переход от заболони к ядру; видимость и очертание годичных слоев; переход ранней древесины в позднюю; цвет ранней и поздней древесины; сердцевинные лучи; сердцевина; смоляные ходы; блеск; текстура.

Таблица 5.2. – Макроскопические признаки древесины хвойных пород

Макроскопические признаки древесины	Хвойные породы		
	Сосна	Лиственница	Ель

5.5. Задания для самоконтроля

5.5.1. Назовите хвойные породы.

5.5.2. Выделите характерные признаки хвойных пород.

5.5.3. Назовите область применения хвойных пород древесины.

5.5.4. Приведите физико-механические свойства древесины хвойных пород: сосны, ели, лиственницы, пихты, кедра.

Лабораторная работа № 6

Определение лиственных кольцесосудистых пород древесины по внешним признакам

Цель работы: определение древесины лиственных кольцесосудистых пород по внешним макроскопическим признакам.

Оснащение: лупа 3–5-кратного увеличения; описание (таблица) макроскопических признаков древесины лиственных кольцесосудистых пород; образцы пород призматической и цилиндрической формы.

Теоретические сведения

6.1. Макроскопические признаки пород древесины

Каждая древесная порода имеет характерные особенности, по которым ее можно отличить от другой. Основными макроскопическими признаками при определении пород древесины являются:

- наличие ядра;
- заболонь;
- степень резкости перехода от ядра к заболони у ядровых пород;
- степень видимости годичных слоев и их очертание на поперечном разрезе;
- четкость границы между ранней и поздней древесиной в годичных слоях;
- наличие, размеры, окраска и количество сердцевинных лучей;
- размеры сосудов и характер их группировок в древесине;
- сердцевинные повторения;
- цвет;
- блеск;
- текстура (рисунок);
- плотность;
- твердость.

6.2. Макроскопические признаки лиственных кольцесосудистых пород древесины

Для древесины лиственных кольцесосудистых пород характерно наличие хорошо заметных сосудов. Крупные сосуды в ранней части годичного слоя и на поперечном разрезе образуют сплошное кольцо отверстий, видимых невооружённым глазом. В плотной тёмной поздней зоне древесины заметны скопления мелких сосудов в виде светлых радиальных полосок, волнистых линий вдоль границы годичных слоёв, у большинства пород видны сердцевинные лучи. Лиственные кольцесосудистые породы относятся к ядровым. Древесина у них твердая

и тяжелая, блестит и имеет на разрезах красивую структуру. Годичные слои хорошо видны на всех разрезах. Сердцевинные лучи бывают широкие и узкие. Смоляных ходов в древесине лиственных пород нет.

Макроскопические признаки древесины основных кольцесосудистых лиственных пород приведены в таблице 6.1.

6.3. Лиственные кольцесосудистые породы древесины

Кольцесосудистые породы включают дуб, ясень, вяз, каштан, тутовое дерево.

Дуб относится к ядровым породам, древесина его имеет узкую заболонь желтовато-белого цвета и широкое ядро с темно-бурой окраской. Годовые кольца хорошо видны на всех разрезах. Поздняя древесина состоит из толстостенных плотных клеток и мелких сосудов. Древесина дуба имеет узкие и широкие сердцевинные лучи, которые хорошо видны на всех разрезах, на радиальном- в виде широких блестящих лент или пятен. Древесина дуба устойчива к загниванию, обладает высокими физико-механическими свойствами, имеет красивую текстуру, благодаря чему широко применяется в строительстве различных сооружений, для паркета и в мебельном производстве. Она может пролежать в воде сотни лет, не изменяя физико-механических свойств.

Ясень относится к ядровым породам, имеет широкую заболонь белого с желтовато-розоватым оттенком и ядро светло-бурого цвета. Годичные слои заметны на всех разрезах. Годичное кольцо ранней древесины состоит из крупных сосудов; поздняя древесина более плотная- из мелких сосудов. Древесина ясеня по цвету, текстуре и физико-механическим свойствам сходна с древесиной дуба, но не имеет широких сердцевинных лучей. Древесина ясеня обладает высокими вязкостью и пластичностью, хорошо гнётся без образования морщин и поэтому широко используется в производстве гнутой мебели, спортивного инвентаря, благодаря красивой текстуре широко применяется в производстве фанеры, паркета и мебели.

Вяз – ядровая порода, имеет широкую заболонь серовато-белого и ядро буровато-серого цвета. Древесина вяза тяжелая, обладает высокими прочностью, твердостью, хорошо гнется. Она применяется в производстве фанеры и мебели.

Каштан съедобный относится к ядровым породам, древесина его имеет узкую заболонь с серовато-белой окраской и серовато-бурое ядро. По строению и внешнему виду она похожа на древесину дуба, но уступает ей по физико-механическим свойствам. От древесины дуба её отличает отсутствие широких сердцевинных лучей. Древесину каштана используют в производстве мебели и фанеры.

Таблица 6.1. – Макроскопические признаки древесины основных кольцесосудистых лиственных пород

Показатели	Породы				
	Дуб	Ясень	Ильм	Вяз	Карагач
Годичные слои	На поперечном разрезе из-за резкой разницы между ранней и поздней древесиной видны хорошо	Различаются хорошо	Хорошо различаются на всех разрезах		
Сосуды	Мелкие, в поздней части годичного слоя расположены радиальными рядами	Мелкие, в поздней зоне образуют беспорядочные белые точки или черточки	Мелкие, образуют волнистые линии в поздней части годичных слоев	непрерывные	Мелкие, образуют прерывистые волнистые линии
Сердцевинные лучи	Широкие, хорошо видны на всех разрезах	Узкие, на поперечном разрезе с трудом различимы или совсем не видны			
		На радиальном разрезе заметны в виде коротких черточек	На радиальном разрезе четко выделяются в виде блестящих черточек	На радиальном разрезе мало заметны и отличаются только по блеску	На радиальном разрезе хорошо видны из-за темной окраски
Цвет древесины	Ядро желтовато-коричневое или темновато-бурое. Заболонь узкая, светло-желтая, четко отделяется от ядра	Ядро светло-бурое. Заболонь широкая, желтовато-белая, постепенно переходит в ядро	Ядро темно-бурое. Заболонь узкая, буровато-серая, хорошо отличается от ядра	Ядро светло-бурое. Заболонь широкая, желтовато-белая, постепенно переходит в ядро	Ядро красновато-бурое. Заболонь узкая, желтовато-белая, хорошо отличается от ядра
Кора	В верхней части ствола зеркальная, гладкая, в нижней темно-серая, грубая	Темно-серого цвета с продольными трещинами	Бороздчатая, темно-серая	Светло-серая, отслаивается	Глубоко трещиноватая

6.4. Порядок выполнения работы

6.4.1. Изучите по таблице 6.1 макроскопические признаки древесины лиственных кольцесосудистых пород дуба, ясеня, каштана, вяза, карагача.

6.4.2. Отберите из комплекта образцов, предложенных для изучения, образец дуба, внимательно изучите его поперечный разрез, а затем тангенциальный. При осмотре плохоразличимых признаков воспользуйтесь лупой.

6.4.3. Сопоставьте характеристики выявленных особенностей с данными таблицы 6.1 описания макроскопических признаков древесины лиственных кольцесосудистых пород.

6.4.4. Исследуйте таким же образом породу древесины еще двух-трех различных образцов.

6.4.5. Запишите макроскопические признаки древесины наиболее типичных кольцесосудистых пород (дуб, ясень, каштан) в таблицу 6.2 в следующей последовательности: цвет и размеры ядра; цвет и размеры заболони; переход от заболони к ядру; видимость и очертание годичных слоев; переход ранней древесины в позднюю; расположение сосудов в ранней части годичного слоя; группировка мелких и крупных сосудов в поздней части годичного слоя на поперечном разрезе; сердцевинные лучи; сердцевина; блеск; текстура.

Таблица 6.2. – Макроскопические признаки древесины лиственных кольцесосудистых пород

Макроскопические признаки древесины	Лиственные кольцесосудистые породы		
	Дуб	Ясень	Каштан

6.5. Вопросы и задания для самоконтроля

6.5.1. Назовите лиственные кольцесосудистые породы древесины и область их применения.

6.5.2. Приведите сравнительные характеристики по макроскопическим признакам дуба и ясеня.

6.5.3. Какие свойства и признаки придают блеск дубу и другим кольцесосудистым породам?

6.5.4. Назовите основные физико-механические свойства лиственных кольцесосудистых пород древесины.

Лабораторная работа № 7

Определение лиственных рассеянно-сосудистых пород древесины по внешним признакам

Цель работы: определение древесины лиственных рассеяннососудистых пород по макроскопическим признакам строения древесины.

Оснащение: лупа трёх-пятикратного увеличения, описание (или таблица) макроскопических признаков и образцы древесины лиственных рассеяннососудистых пород призматической и цилиндрической формы.

Теоретические сведения

7.1. Макроскопические признаки пород древесины

Каждая древесная порода имеет характерные особенности, по которым ее можно отличить от другой. Основными макроскопическими признаками при определении лиственных рассеянно-сосудистых пород древесины являются:

- наличие ядра;
- заболонь;
- степень видимости годичных слоев и их очертание на поперечном разрезе;
- четкость границы между ранней и поздней древесиной в годичных слоях;
- наличие, размеры, окраска и количество сердцевидных лучей;
- размеры сосудов и характер их группировок в древесине;
- сердцевинные повторения;
- цвет;
- блеск;
- текстура (рисунок);
- плотность;
- твердость.

7.2. Макроскопические признаки лиственных рассеянно-сосудистых пород древесины

Для древесины лиственных рассеяннососудистых пород характерно то, что сосуды распределены по всему годичному слою равномерно. Годичные слои у большинства пород видны недостаточно четко, сосуды не образуют сплошного кольца, поздняя зона годичного слоя не имеет рисунка. Сердцевинные лучи хорошо видны лишь у некоторых пород. Древесину рассеянно-сосудистых пород делят на мягкую (липа, ольха,

осина, ива), твердую (бук, клен, береза) и очень твердую (граб, самшит, белая акация).

Макроскопические признаки древесины основных рассеяно-сосудистых лиственных пород приведены в таблице 7.1.

7.3. Лиственные рассеяно-сосудистые породы древесины

Рассеяно-сосудистыми породами с мягкой древесиной являются липа, осина, тополь, ива, берёза, ольха.

Берёза относится к заболонным породам, древесина ее белого цвета с красновато-желтым оттенком. Древесина железной, черной и желтой берёзы немного темнее, чем пушистой и бородавочной пород. Годичные слои, сосуды, сердцевинные лучи на всех разрезах различаются плохо. Древесина берёзы уступает по прочности древесине дуба и ясеня. Она неустойчива к загниванию, кроме того, сильно изменяется в своем объёме при высыхании и увлажнении, вследствие чего из нее не рекомендуется изготавливать дверки, выдвижные ящики к мебели и т. д. Она хорошо обрабатывается инструментами, шлифуется и полируется, окрашивается в нежные светлые тона, благодаря этому нашла широкое применение в мебельном производстве.

Ольха относится к заболонным породам. В свежесрубленном состоянии древесина ее белого цвета, на воздухе быстро окисляется и через несколько минут приобретает красно-бурый цвет. Годичные слои, сосуды и сердцевинные лучи на всех разрезах различаются плохо. Древесина мягкая, легкая, имеет однородное строение, хорошо обрабатывается инструментом, имитируется под красное дерево, благодаря чему широко применяется в фанерном и мебельном производстве. При высыхании очень мало коробится, поэтому используется в литейном деле для изготовления моделей.

Липа – спелодревесная порода с мягкой, лёгкой древесиной белого цвета, красновато-розового оттенка. Годичные слои и сосуды на всех разрезах различаются слабо. Серцевинные лучи тоже очень узкие, однако им можно наблюдать невооруженным глазом на поперечном разрезе в виде блестящих линий, а на радиальном – тусклых полосок и пятен, окрашенных немного темнее древесины.

Древесина липы имеет однородное строение, хорошо обрабатывается инструментом, окрашивается в различные светлые тона, очень незначительно растрескивается и коробится при высыхании. Ее широко применяют для разных работ по дереву, изготовления художественных изделий, мебельных ящиков, чертежных досок, литейных моделей, карандашей, игрушек.

Таблица 7.1. – Макроскопические признаки древесины основных лиственных рассеянно-сосудистых пород

Показатели	Породы								
	Бук	Граб	Клен обыкновенный	Береза	Орех грецкий	Груша	Липа	Ольха	Осина
Группа	Безъядровая, спелодревесная	Безъядровые, заболонные		–	Ядровая	Безъядровая, спелодревесная	Безъядровые		
Годичные слои	Различаются ясно	Хорошо видны на поперечном разрезе, извилистые	Различаются ясно	Различаются плохо	Ясно видны, волнистые	Различаются плохо		Различаются нечетко	Различаются плохо
Сосуды	Мелкие, незаметные				Крупные, одиночные, видимые	Мелкие, незаметные			
Сердцевинные лучи	Широкие, видимые на всех разрезах	Узкие, незаметные, ложноширокие, заметны на поперечном разрезе	Видны на всех разрезах, многочисленные	Узкие, различаются только на радиальном разрезе			Узкие, видны на радиальном и поперечном разрезах	Узкие, незаметные, ложноширокие, заметны на всех разрезах	Не видны, очень узкие
Цвет древесины	Красновато-белый	Серовато-белый	Белый с желтым или красноватым оттенком	Белый с красноватым или желтоватым оттенком	Древесина ядра коричневатосерого цвета, заболонь сероватобурая	Красновато-бурый, розоватый	Белый с легким розоватым оттенком	Белый, на воздухе быстро краснеет, становится красноватобурым	Белый со слабым, зеленоватым оттенком

Осина относится к заболонным породам с мягкой и легкой древесиной белого цвета, зеленоватого оттенка, однородного строения. Она очень неустойчива к загниванию. Древесина осины является основным исходным сырьём для производства спичек и коробок к ним.

Тополь относится к ядровой породе, имеет широкую заболонь белого цвета и светло-бурое ядро. Годичные кольца, сосуды, сердцевинные лучи слабо заметны на всех разрезах. Древесина тополя мягкая, легкая, неустойчива к загниванию.

Ива относится к ядровым породам с широкой заболонью белого цвета и розовато-красным ядром. Годовые кольца очень слабо видны, сосуды мелкие, узкие сердцевинные лучи не различаются. Древесина ивы мягкая, лёгкая, хорошо окрашивается, легко обрабатывается инструментом, однако неустойчива к загниванию. По своим свойствам приближается к древесине липы и практически имеет то же применение; молодые побеги ивы широко используют для изготовления плетёной мебели и корзин.

Рассеянно-сосудистыми породами с твердой древесиной являются: бук, орех, клен, граб, груша.

Бук принадлежит к спелодревесным породам, древесина у него белого цвета с желтовато-красным оттенком. Годичные слои и широкие сердцевинные лучи (в виде блестящих лент или пятен) хорошо заметны на всех разрезах. На тангенциальном разрезе сердцевинные лучи имеют вид чечевичек коричневого цвета высотой в 3–5 мм, что придает древесине характерный рисунок. По физико-механическим свойствам древесина бука немного уступает древесине дуба, но малостойка к загниванию. В пропаренном состоянии хорошо гнется, благодаря чему применяется в производстве гнутой мебели. В радиальном разрезе имеет красивую текстуру, поэтому широко используется в мебельном производстве и для изготовления паркета, фанеры.

Орех относится к ядровым породам с широкой заболонью сероватого цвета и коричнево-серым ядром. Годичные слои и сердцевинные лучи малозаметны. Крупные сосуды рассеяны по всей древесине и хорошо видны невооруженным глазом. Древесина ореха обладает очень красивой текстурой и достаточно высокими механическими свойствами. Она равноценна древесине дуба, а по объемной массе на 5–7 % легче. Древесина ореха хорошо обрабатывается инструментом, шлифуется, полируется. Благодаря наличию разнообразного и красивого рисунка широко используется в производстве облицовочной фанеры. Особенно высоко ценят в мебельном производстве капы (наросты на стволе) орехового дерева, обладающие оригинальной текстурой.

Клен относится к заболонным породам. В зависимости от вида клена древесина может быть белого цвета или с красноватым либо буроватым

оттенком. Древесина клена тяжелая, твердая, плотная, высокой прочности. По объемной массе, прочности при сжатии, статическом изгибе и твердости она выше древесины дуба примерно на 10–15 %. Древесину клена применяют в мебельном производстве, для изготовления фанеры, музыкальных щипковых и смычковых инструментов, обувных колодок, колодок для строгальных инструментов (фуганок, рубанок и др.). Высоко ценится кленовая древесина «птичий глаз» с оригинальной узловой текстурой, а также «струйчатая», с волнистым расположением волокон. Капы клена, обладающие красивой текстурой, применяются для отделки высококачественной мебели и в производстве художественных изделий.

Граб относится к безъядровым породам с очень твердой древесиной, применяется в производстве музыкальных инструментов, в машиностроении.

Груша относится к спелодревесным породам, древесина у нее розового или буровато-розового цвета, однородного строения, тяжелая, твердая, хорошо шлифуется, полируется, окрашивается; очень мало коробится и почти не растрескивается при сушке. Широко используется в производстве чертежных принадлежностей (линеек, треугольников, лекал), оправ для оптических приборов, музыкальных инструментов; очень хорошо имитируется под черное дерево. Древесину груши применяют для высших сортов мебели и строганого шпона, используемого для облицовки столярной мебели.

7.4. Порядок выполнения работы

7.4.1. Изучите по таблице или описанию макроскопические признаки древесины лиственных рассеянно-сосудистых пород березы, бука, граба, клена, ореха, ольхи, осины, липы, груши.

7.4.2. Отберите из комплекта образцов, предложенных для изучения, образец березы, внимательно осмотрите его поперечный разрез, а затем тангенциальный. При осмотре плохо различимых признаков воспользуйтесь лупой.

7.4.3. Сопоставьте характеристики выявленных особенностей с данными таблицы описания макроскопических признаков древесины лиственных рассеянно-сосудистых пород.

7.4.4. Определите таким же образом породу древесины еще двух-трех различных образцов.

7.4.5. Запишите макроскопические признаки древесины рассеянно-сосудистых пород (береза, бук, клен, граб) в таблицу 7.2 в следующей последовательности: цвет древесины; размеры и цвет ядра; размеры и цвет заболони; видимость и очертание годичных слоев; величина и расположение сосудов; сердцевинные лучи; сердцевина; прожилки; блеск; текстура.

Таблица 7.2. – Макроскопические признаки древесины лиственных рассеяно-сосудистых пород

Макроскопические признаки древесины	Лиственные рассеяно-сосудистые породы			
	Береза	Бук	Клен	Граб

7.5. Задания для самоконтроля

7.5.1. Перечислите характерные признаки древесины лиственных рассеяно-сосудистых пород.

7.5.2. Назовите область применения древесины рассеяно-сосудистых пород.

7.5.3. Приведите сравнительные характеристики древесины березы и ольхи по макроскопическим признакам и свойствам.

7.5.4. Приведите сравнительные характеристики древесины осины и бука по макроскопическим признакам и свойствам.

Лабораторная работа № 8 Пороки древесины

Цель работы: изучение пороков древесины, определение наиболее распространенных пороков древесины на образцах пиломатериалов и в круглых лесоматериалах.

Оснащение: технические плакаты с изображением пороков древесины; образцы древесины с пороками; ручная лупа 3–5-кратного увеличения; линейка металлическая.

Теоретические сведения

8.1. Классификация пороков древесины

Изменение внешнего вида древесины, нарушение целостности тканей и клеточных оболочек, правильности ее строения, повреждения древесины, снижающие её качества и ограничивающие возможность её использования, называются *пороками*.

Пороки древесины механического происхождения, возникающие в ней в процессе заготовки, транспортировки и механической обработки называются *дефектами*.

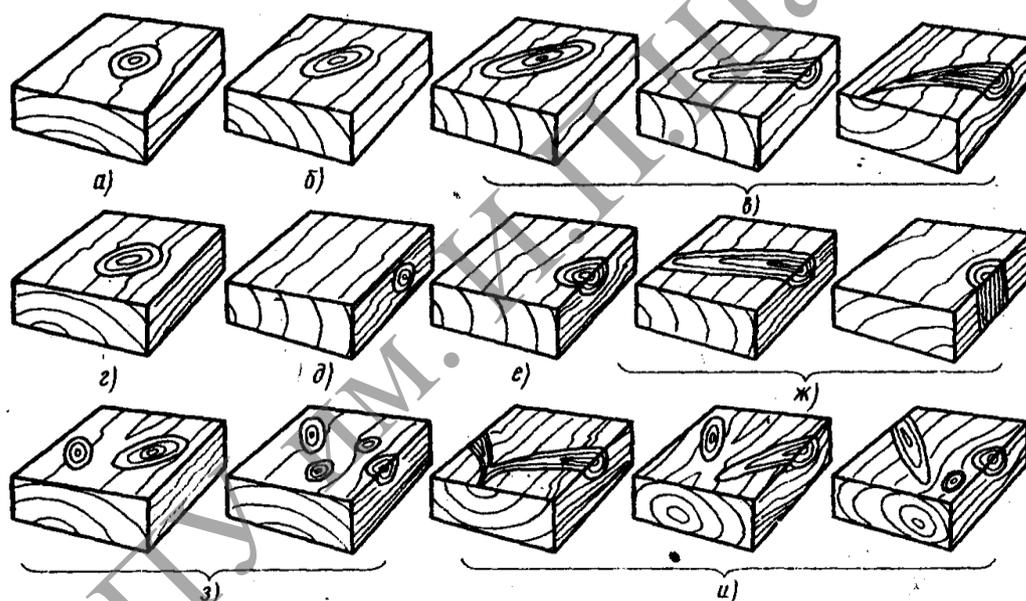
Пороки древесины (ГОСТ 2140 – 81) подразделяют на *сучки, трещины, пороки формы ствола, пороки строения древесины, химические окраски, грибные поражения, биологические повреждения, инородные включения, механические повреждения, пороки обработки, покоробленности*.

8.1.1. Сучки

Сучок – часть ветви, заключенная в древесине ствола. Классифицируют сучки по различным параметрам (рисунок 8.1).

По выходу на поверхность сучки делят на открытые и закрытые. Сучки открытые – выходящие на боковую поверхность круглого лесоматериала. Сучки закрытые – не выходящие на боковую поверхность, обнаруживаемые по следам зарастания.

По форме сучки делятся на круглые, овальные и продолговатые.



а – круглый; *б* – овальный; *в* – продолговатый; *г* – пластевой; *д* – кромочный; *з* – ребровой; *и* – сшивные; *ж* – групповые; *з* – разветвленные

Рисунок 8.1. – Разновидности сучков

По положению в сортименте сучки делятся на пластевые, кромочные, ребровые, торцевые, сшивные.

По возможному расположению сучки делят на разбросанные (на расстоянии более 150 мм друг от друга), групповые (два или более сучка на расстоянии ширины пилопродукции), разветвленные (два продолговатых или один продолговатый в сочетании с овальным или ребровым на расстоянии ширины пилопродукции).

По состоянию древесины сучки бывают здоровые светлые и здоровые темные, здоровые с трещинами, загнившие (сучки с гнилью до 1/3 площади разреза), гнилые (сучки с гнилью более 1/3 площади разреза), табачные (гнилые сучки, в которых древесина превратилась в рыхлую массу ржаво-бурого цвета).

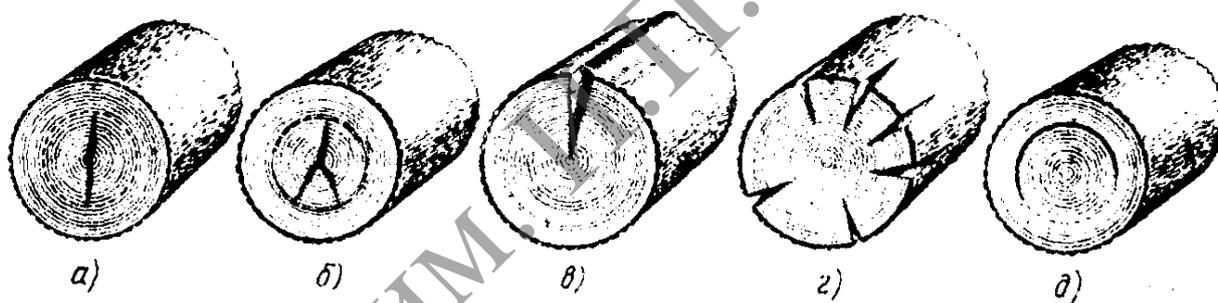
По количеству выхода на поверхность сучки бывают односторонние, выходящие на одну или две смежные стороны пилопродукции, и сквозные, выходящие на противоположные стороны сортимента.

Древесина сучка в 2–3 раза тверже древесины ствола. Сучки – наиболее распространенный и неизбежный порок.

Измеряют сучки в линейных мерах или долях соответствующих размеров сортимента.

8.1.2. Трещины

Трещины – разрывы древесины вдоль волокон. В круглых пиломатериалах трещины бывают метиковые – радиально направленные трещины в ядре, отходящие от сердцевины и имеющие значительную протяженность по длине сортимента (рисунок 8.2).



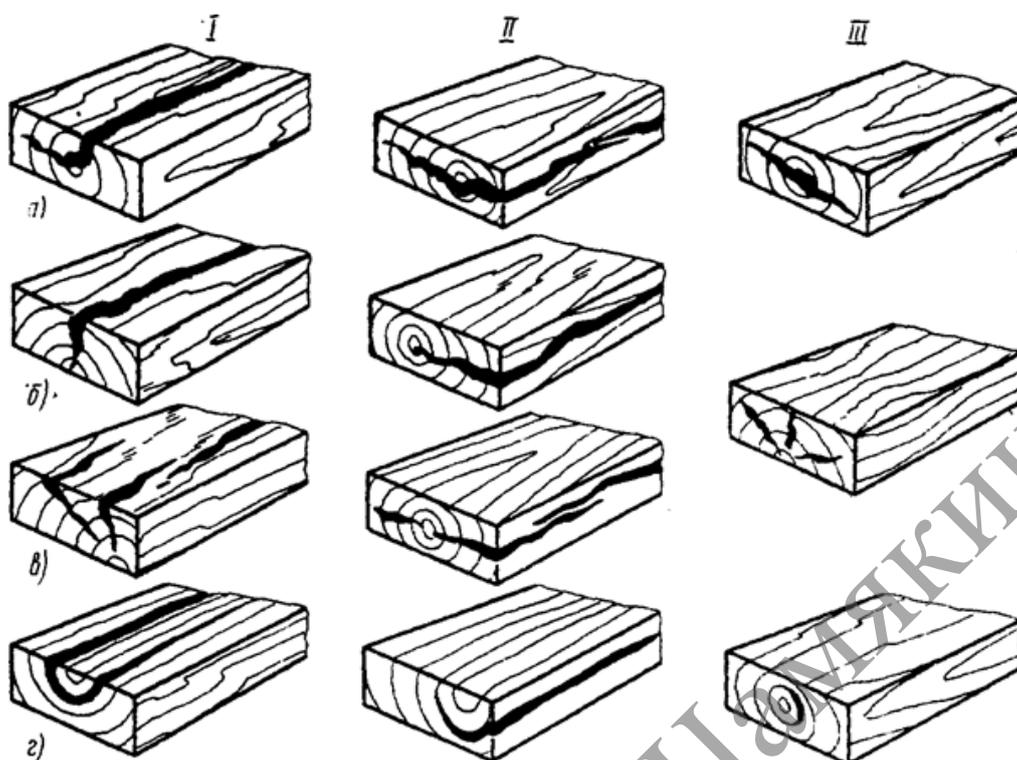
а – простая метиковая; *б* – сложная метиковая; *в* – морозная;
г – трещина усушки; *д* – отлупная

Рисунок 8.2. – Разновидности трещин в круглых лесоматериалах

Трещина радиальная от заболони к ядру называется морозной. Радиальная трещина, возникающая в срубленной древесине при сушке, называется трещиной усушки.

Трещина, проходящая между годичными слоями, возникающая в ядре растущего дерева, называется отлупной.

По положению в сортименте трещины бывают пластевые, кромочные и торцевые, которые, в свою очередь, по типу разделяются на метиковые, морозные, трещины усушки и отлупные (рисунок 8.3).



I – пластевые; II – кромочные; III – торцовые;
 а – метиковые; б – морозные; в – трещины усушки; г – отлупные
Рисунок 8.3. – Разновидности трещин в пилопродукции

По глубине распространения трещины классифицируются на несквозные, неглубокие, сквозные и глубокие.

Трещины шириной не более 0,2 мм – сомкнутые, шириной более 0,2 мм – разошедшиеся. Измеряют трещины, как и сучки, в линейных мерах или долях диаметров сортимента.

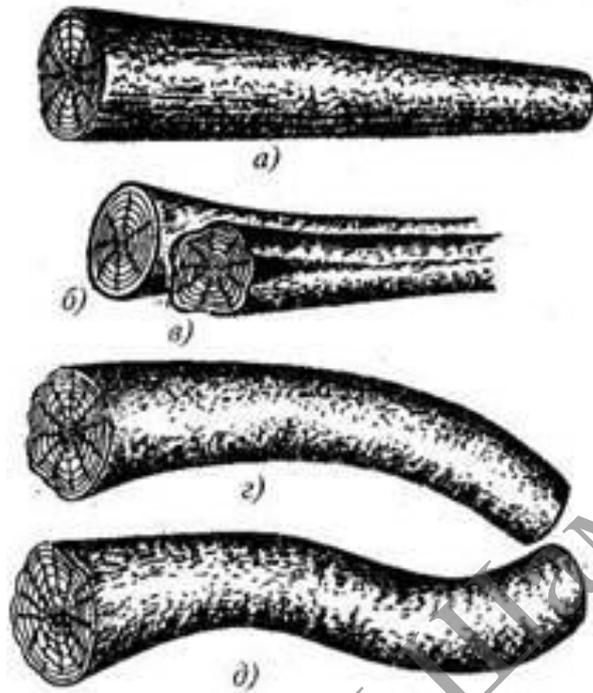
8.1.3. Пороки формы ствола

К порокам формы ствола относят *сбежистость*, *закомелистость*, *овальность*, *наросты* и *кривизну* (рисунок 8.4).

Сбежистость – уменьшение диаметра круглых лесоматериалов или ширины необрезной пилопродукции на всем их протяжении, превышающее нормальный сбег – 1 см на 1 м длины сортимента.

Закомелистость – резкое увеличение диаметра d комлевой части круглых лесоматериалов или ширины L необрезной пилопродукции, когда d или L в 1,2 раза больше, чем на расстоянии 1 м от торца комля.

Овальность – форма поперечного торца лесоматериала, для которого $\frac{d_2}{d_1} \geq 1,5$, где d_2 и d_1 – наибольший и наименьший диаметры торца соответственно.



a – сбежистость; *б* – закомелистость округлая; *в* – закомелистость ребристая;
г – кривизна простая; *д* – кривизна сложная

Рисунок 8.4. – Пороки формы ствола

Наросты – резкое местное утолщение ствола различной формы и размеров. Текстура наростов очень красива и ценится в производстве мебели.

Кривизна – искривление продольной оси сортимента. Простая кривизна – с одним изгибом, сложная – с несколькими изгибами сортимента. Измеряют ее по величине стрелы прогиба сортимента в месте искривления в % от протяженности кривизны по длине сортимента.

8.1.4. Пороки строения древесины

К порокам строения древесины относят: наклон волокон, крень, тяговая древесина, свилеватость, завиток, глазки, кармашек, сердцевина, сухобокость, прорость, рак, засмолок, ложное ядро, пятнистость, прожилки, внутренняя заболонь и водослой.

Наклон волокон – отклонение направления волокон продольной оси лесоматериала, обусловленное спиральным расположением волокон.

Крень – изменение строения древесины хвойных пород в сжатой зоне ствола и сучьев, проявляющееся в виде кажущегося резкого утолщения ширины поздней древесины годовых слоев.

Тяговая древесина – изменение строения древесины лиственных пород в растянутой зоне стволов и сучьев, проявляющееся в резком увеличении ширины годовых слоев.

Свилеватость – извилистое или беспорядочное расположение волокон древесины.

Завиток – местное искривление годовых слоев у сучков или проростей.

Глазки – следы не развившихся в побег спящих почек диаметром не более 5 мм.

Кармашек – полость внутри годовых слоев или между ними, заполненная смолой или камедями.

Сердцевина – узкая центральная часть ствола из рыхлой ткани, характеризующаяся бурым или более светлым цветом. Двойная сердцевина сопровождается овальностью ствола, смещенная сердцевина обусловлена эксцентрическим расположением сердцевины.

Пасынок – отставшая в росте или отмершая вторая вершина, проходящая через сортимент под острым углом к его продольной оси на значительном протяжении.

Сухобокость – омертвевший в растущем дереве участок поверхности ствола.

Прорость – зарастающая или заросшая рана, сопровождающаяся радиальной щелевидной полостью, заполненная остатками коры или омертвевшими тканями.

Рак – углубление или вздутие, возникшее на поверхности ствола растущего дерева в результате деятельности грибов или бактерий.

Засмолок – участок древесины, обильно пропитанный смолой.

Ложное ядро – темное, неравномерно окрашенное ядро, граница которого не совпадает с годовыми слоями, отделенное от заболони каймой и не отличающееся по твердости от окружающей древесины.

Пятнистость – окраска заболони лиственных пород в виде пятен и полос без снижения твердости, близкая по цвету к окраске ядра.

Прожилки – пятна в виде тонких желтовато-бурых полосок рыхлой ткани, расположенных по границе годовых слоев.

Внутренняя заболонь – годовые слои внутри ядра, окраска и свойства которых близки к окраске и свойствам заболони.

Водослой – участки ядра темной окраски в растущем дереве в результате резкого увеличения их влажности.

8.1.5. Химические окраски, грибные и биологические повреждения, инородные включения

Химические окраски древесины – ненормально окрашенные по цвету участки в срубленной древесине, возникающие в результате развития химических и биологических процессов.

Грибные поражения подразделяются на деревоокрашивающие и дереворазрушающие. Различают *грибные ядровые пятна* (полосы), *плесень* (грибница или плодоношение плесневых грибов), *гниль*, возникающая под воздействием дереворазрушающих грибов, *дупло* – полость, возникающая в растущем дереве в результате полного разрушения древесными грибами.

К *биологическим повреждениям* относят *червоточину* и *повреждения древесины паразитными растениями и птицами*.

Инородные включения – посторонние тела не древесного происхождения в древесине.

8.1.6. Механические дефекты

К *механическим повреждениям* относят *обдир коры, заруб, отщеп, скол, багорные наколы*.

Дефекты, образующиеся на поверхности древесины при обработке, называют *дефектами обработки резанием*. К ним относят: *риски* – глубокие следы на поверхности, оставляемые инструментами; *волнистость* – следствие неплоского распила, фрезерования; *ворсистость* – наличие на поверхности отдельных волокон, придающих древесине шероховатость; *мишность* – наличие на поверхности цельных пучков волокон; *задиры* и *выщербины* – частично отделённые и приподнятые над поверхностью участки древесины с зацепистыми краями и выемками от задиров; *ожоги* – потемнение и частичное обугливание поверхности от трения об инструмент.

8.2. Порядок выполнения работы

8.2.1. Изучите плакаты, рисунки и таблицы и образцы пороков древесины.

8.2.2. Методом сравнения определите разновидности сучков в предлагаемых образцах, проведите их классификацию по форме среза, по взаимному расположению, по положению в сортименте, по степени срастания, по состоянию древесины.

8.2.3. Проклассифицируйте трещины в предлагаемых образцах по их расположению в сортименте и по глубине.

8.2.4. Изучите пороки формы ствола и пороки строения древесины. На пласти образца проведите линию, параллельную продольной оси образца, длиной λ не менее двойной ширины пласти. Измерьте отклонение

волокон Δl от этой линии в её конце и найдите отношение этого отклонения к базовой длине в процентах по формуле:

$$v = (\Delta l / l) 100\%. \quad (2.8.1)$$

8.2.5. Изучите химические окраски, грибные поражения, биохимические повреждения древесины.

8.2.6. Изучите и проклассифицируйте механические повреждения, пороки обработки и покоробленность древесины.

8.2.7. Запишите результаты изучения, определения и измерения пороков в таблицу 8.1.

Таблица 8.1. – Пороки древесины

Пороки древесины		Эскизная зарисовка, схема и результаты измерения	Краткое описание порока
Вид	Разновидность		

8.3. Вопросы и задания для самоконтроля

8.3.1. Назовите группы пороков древесины и их влияние на её физико-механические свойства.

8.3.2. Что собой представляют сучки и по каким признакам их классифицируют?

8.3.3. Как образуются трещины в древесине и какие разновидности трещин вы знаете?

8.3.4. Какие дефекты обработки резанием древесины вы знаете? Дайте их краткую характеристику.

Лабораторная работа № 9 Пиломатериалы и заготовки.

Композиционные материалы из древесины

Цель работы: изучение сортиментов круглых лесоматериалов, пиломатериалов и заготовок, оценка качества пиломатериалов и заготовок.

Оснащение: индикаторный глубиномер; складной метр или металлическая рулетка; сортименты круглых лесоматериалов, пиломатериалов и заготовок; ГОСТ 8486–66, ГОСТ 10632–77 и ГОСТ 4598–86.

Теоретические сведения

В различных отраслях народного хозяйства используется натуральная древесина и композиционные материалы на её основе. Натуральная древесина применяется в виде пиломатериалов и заготовок. Наибольшее распространение получили пиломатериалы из хвойных пород. Лиственные породы используются для изделий, изготовление которых связано с механическим деформированием (гибкой) материала.

9.1. Круглые лесоматериалы

Основными видами круглых пиломатериалов являются: *хлыст, бревно, кряж, чурак, жердь, кол.*

Хлыст – ствол поваленного дерева, отделенный от корневой части и вершины и очищенный от сучьев.

Раскряжёвка – поперечное деление хлыстов на части и сортименты.

Бревна – круглые деловые сортименты для выработки пиломатериалов, используемых в круглом виде.

Кряжи – круглые деловые сортименты для выработки специальных видов продукции (фанеры, лыжи, шпалы, спички и т. д.).

Чураки – отрезки кряжа с длиной, соответствующей размерам, необходимым для обработки на станках, длина кряжа равна кратному числу чураков.

Жердь – тонкомерный сортимент $d < (6-8)$ см.

Кол – короткомерный сортимент для опор.

Требования к круглым лесоматериалам в ГОСТ 9462–71 и ГОСТ 9463–72.

Длина бревен – от 3 м для хвойных пород и от 4,5 м для лиственных пород с градацией 0,5 м. Толщину бревен измеряют по ГОСТ 2292–74 в верхнем торце как среднее между d_{\min} и d_{\max} . Кора в объем древесины не включается. Круглые лесоматериалы хранятся по ГОСТ 3014.0–75 и классифицируются на стойкие и нестойкие к поражению насекомыми, грибами и к растрескиванию. Хранятся круглые лесоматериалы в штабелях на складах (ГОСТ 9014. 9–75).

Влажный способ хранения применяют для лесоматериалов, предназначенных для распиловки, лущения и строгания, и при этом способе должна сохраняться влажность древесины в коре в течение всего теплого периода.

Сухой способ хранения применяют для предварительно окоренных лесоматериалов сухопутной доставки, используемых в круглом виде. При этом торцы затевают и замазывают.

Применяют при хранении влагозащитные и влагозащитно-антисептические покрытия (ГОСТ 9014.2–79).

9.2. Пиломатериалы и заготовки

Путем раскря бревен получают пиломатериалы, из которых вырабатывают пиленые заготовки, а из заготовок детали.

Пиломатериалы (ГОСТ 18288–77) – это пилопродукция определенных размеров и качества с двумя плоскопараллельными пластинами радиальной и тангенциальной распиловки.

Заготовка – пиломатериал с размерами и качеством, соответствующим изготавливаемым деталям и изделиям, с припусками на обработку и усушку.

Калиброванная заготовка – высушенная и обработанная до заданного размера.

Досковая заготовка – ширина в 2 раза больше толщины.

Брусовая заготовка – ширина не более двойной толщины.

По геометрической форме и размерам пиломатериалы классифицируются на *брусья, бруски, доски, шпалы и обпол*.

Брусья – толщина и ширина > 100 мм, двухкантные с двумя пропиленными сторонами, трехкантные – с тремя, четырехкантные – с четырьмя.

Бруски – обрезной пиломатериал толщиной до 100 мм и шириной не более двойной толщины.

Доски – толщиной до 100 мм, шириной более двойной толщины.

Шпалы – брусы для опор рельсов железнодорожных путей.

Обпол – боковые части бревна, срезанные при продольной распиловке (дощатый – прирезанный по длине обпол с одной пропиленной и с другой частично пропиленной поверхностями, у горбыльного обпола пропилен только с одной стороны (рисунок 9.1).

Пиломатериалы могут быть тонкими (толщиной до 32 мм) и толстыми (толщиной 35 мм и более). Их также делят на короткие ($0,5 \text{ м} < l < 0,9 \text{ м}$); средние ($1 \text{ м} < l < 1,9 \text{ м}$) и длинные ($2 \text{ м} < l < 6,5 \text{ м}$) с градацией 0,25 м.

Пиломатериалы с непропиленными или частично пропиленными кромками с обзолом более допустимого стандартом называются необрезными, с кромками без обзола – обрезными.

Элементами пиломатериалов являются: *пласть, кромка, ребро, торец*.

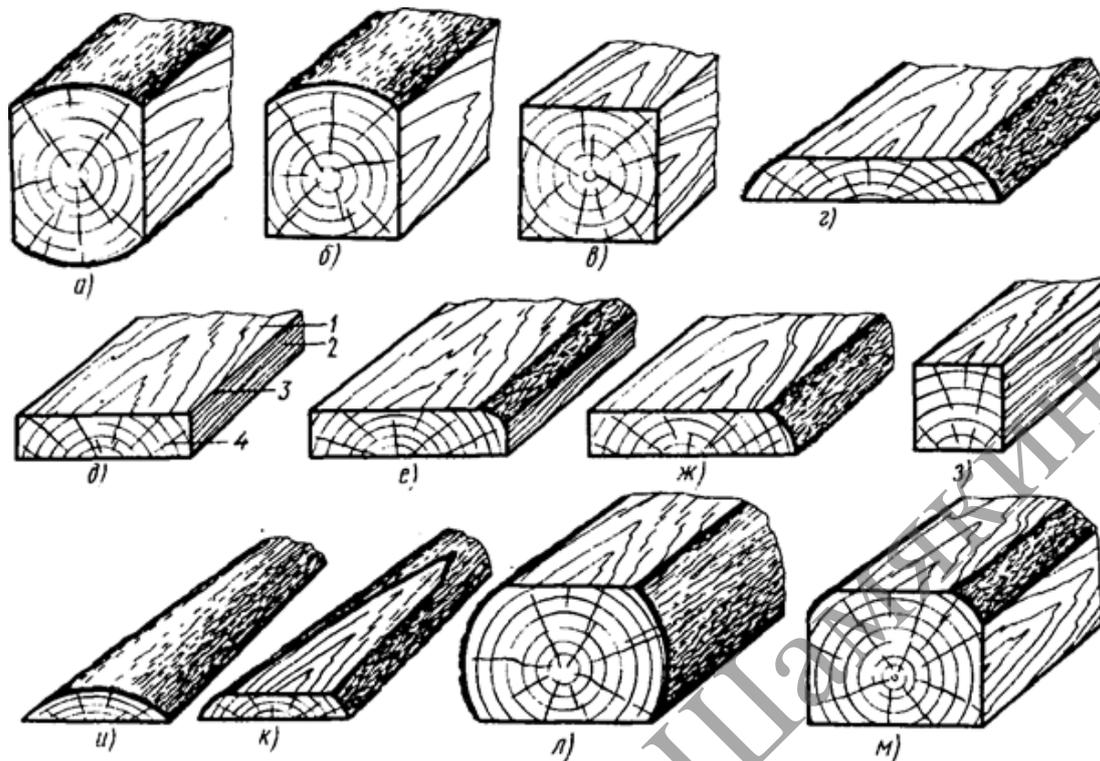
Пласть – продольная широкая сторона или любая сторона материала квадратного сечения.

Кромка – продольная узкая сторона.

Ребро – линия пересечения двух смежных сторон.

Торец – концевая поперечная сторона пиломатериала.

Пиломатериалы классифицируют по сортам: отборный, 1, 2, 3 и 4 сорта.



a – двухкантный брус; *б* – трехкантный брус; *в* – четырехкантный брус; *г* – необрезная доска; *д* – чистообрезная доска; *е* – обрезная доска с тупым обзолом; *ж* – обрезная доска с острым обзолом; *з* – брусок; *и* – обапол горбыльный; *к* – обапол дощатый; *л* – шпала необрезная; *м* – шпала обрезная; элементы доски: 1 – пласть; 2 – кромка; 3 – ребро; 4 – торец

Рисунок 9.1. – Виды пилопродукции

Заготовки бывают *пиленые, клееные, калиброванные* (предварительно простроганные или фрезерованные), *гнутоклееные, заготовки из модифицированной древесины*.

Хранение пиломатериалов (ГОСТ 3808.1–80 и ГОСТ 7319–80) должно предохранять древесину от растрескивания, коробления, действия грибов и насекомых.

9.3. Композиционные материалы

Из древесных полуфабрикатов для получения композиционных материалов используется древесная мука, стружка, опилки, щеп технологическая. Массы древесные прессовочные (МДП) состоят из мелких частиц древесины, пропитанных смолами, используются для изготовления деталей машин (втулок, шкивов, роликов) и строительных изделий, изготавливаются методом горячего прессования при $t = 150^{\circ}\text{C}$ и $p = (400\text{--}600)$ МПа:

МДПК – с частицами длиной до 80 мм;

МДПС – из стружки;

МДПО – из опилок;

МДПВ – частицы игловидной формы.

Древесина прессованная (ДПО, ДПД, ДПК, ДПР, ДПГ) используется в виде заготовок, обработанных по различным технологиям (пропарка, нагрев, пропитка аммиаком), используется для изготовления деталей, испытывающих ударные нагрузки, мебели, паркета $\rho \sim (700-1300) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, σ_{np} (вдоль волокна) – (140–230) МПа, ударная вязкость – (60–80) кДж/м².

Шпон – тонкий лущеный лист древесины, используется для изготовления фанеры и отделки изделий из древесных прессовочных масс и древопластиков. Шпон строганный применяют в качестве отделочного материала.

Фанера – многослойный материал, получаемый путем склеивания листов шпона с различными схемами его ориентации в слоях.

Древопластики – композиционные материалы на основе полимеров, в которых наполнителями являются измельченная древесина, опилки, стружка, слои шпона, щепы.

Древесностружечные плиты (ГОСТ 10632–77) получают методом горячего прессования, толщина от 10 до 25 мм, облицованные шпоном, пластиком или без облицовки (марки П – 1, П – 2, П – 3).

Древесноволокнистые плиты (ГОСТ 4598–74) используются в изделиях, защищенных от влаги (толщина от 2,5 до 25 мм, ширина от 1220 до 1830 мм, длина от 1200 до 5500 мм). По плотности их подразделяют на мягкие (М), полутвердые (ПТ), твердые (Т), сверхтвердые (СТ). Например, СТ – 500 ($\sigma_{изг} = 50$ МПа).

Древеснослоистые пластики (ДСП) – многослойные, горяче-прессованные, пропитанные синтетическими смолами листы шпона с различной ориентацией волокон в слоях:

ДСП – А – во всех слоях волокна параллельны и через 4 слоя – один с расположением волокон под углом 20–25°;

ДСП – Б – каждые 10–20 слоев параллельны и один с перпендикулярным расположением волокон;

ДСП – В – в смежных слоях волокна взаимноперпендикулярны;

ДСП – Г – в смежных слоях волокна расположены под углом 45°.

Основное назначение маркируется буквой: а – авиационный; э – электроизоляционный; м – самосмазывающийся антифрикционный; т – для деталей текстильных машин.

Армированные композиционные древопластики (ДПКА – 1 и ДПКА – 2) содержат, кроме пропитанных древесных компонентов,

стекло и углеродное волокно $\rho = (1400 - 1550) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\sigma_{\text{пр}} = (60 - 70) \text{ МПа}$, $\sigma_{\text{изг}} \sim (110 - 120) \text{ МПа}$, ударная вязкость 17–32 кДж/м².

Столярные плиты (ГОСТ 13715–78) – щиты, изготовленные из узких реек и облицованные с обеих сторон лущеным шпоном в 1 или 2 слоя. Типы столярных плит: НР – несклеенные рейки; СР – склеенные рейки; БР – блочно-реечные щиты.

Из новых появившихся на рынке композиционных древесных материалов следует отметить ламинированные и кашированные ДСП, постформинг, софтформинг, МДФ – плитный материал, изготавливаемый методом сухого прессования мелкодисперсной древесной стружки при высоком давлении и температуре (англ. Medium Density Fibreboard, MDF).

Ламинированные покрытия являются современным высокотехнологичным видом отделочных материалов. Термин «ламинированные» означает «слоистые». Они имеют многослойную конструкцию, основой которой является древесноволокнистая плита или пластик. Нижний слой выполняется из специального картона с пропиткой, он надежно защищает покрытие от влаги и повышает звукоизоляционные свойства. На лицевую сторону плиты наклеивают несколько слоёв крафт-бумаги, пропитанной раствором меламиноформальдегидной смолы, поверх которого располагают слой бумаги с декоративным рисунком, имитирующим различные породы дерева, структуру камня и т. д. Декоративный слой защищен прозрачным пергаментом, пропитанным смолой. В состав слоя добавляют иногда неорганические наполнители, которые обеспечивают повышенную твердость и износостойкость. Прессуют декоративные покрытия в специальных пресс-камерах, обеспечивая термостатическое воздействие в течение нескольких часов при температуре более 150 °С. За это время происходит полимеризация смолы с образованием покрытия высокой прочности и твердости. Ламинированные напольные покрытия подразделяют на три основные группы: для помещений с малой эксплуатационной нагрузкой; для помещений со средней эксплуатационной нагрузкой; помещений с интенсивной эксплуатационной нагрузкой.

ДПС применяются в производстве мебели для кухни, офисов, торговых учреждений и напольного покрытия. *Кашированное ДСП* в отличие от ламинированной имеет более тонкий защитный слой, а декоративная бумага наклеивается на поверхность плиты при невысоких температурах и не покрывается сверху полимерами. Она менее устойчива к воздействию воды, и возможно отслаивание декоративной бумаги.

Постформинг – это ламинированное ДПС, покрытое ламинатом при повышенных температурах и давлении, что обеспечивает высокую устойчивость к механическим, термическим и химическим воздействиям. Для его производства применяется декоративная бумага повышенной

плотности, толщина ламината достигает 1мм, а толщина постформинга составляет 28–38 мм. *Софтформинг* – это облегченная ламинированная плита с глянцевой и матовой поверхностью, применяется в производстве мебели. МДФ представляет собой спрессованную массу из древесных мелких волокон с клеящими составами. МДФ имеет повышенную плотность, прочность и большую массу, чем у ДСП. Армированные композиционные пластики содержат в качестве наполнителя стеклянные и углеродные волокна.

9.4. Порядок выполнения работы

9.4.1. Изучите и заполните таблицу 9.1 сортиментов круглых лесоматериалов.

Таблица 9.1. – Сортименты круглых лесоматериалов

Наименование сортимента	Описание сортимента	Требование к лесоматериалам по ГОСТ 9462 – 71 и ГОСТ 9463 – 72

9.4.2. Изучите и заполните таблицу 9.2 сортиментов пиломатериалов и заготовок.

Таблица 9.2. – Сортименты пиломатериалов и заготовок

Наименование сортимента	Описание сортимента	Конечные расчёты		
		Толщина	Ширина	Длина

9.4.3. Обследуйте образцы пиломатериалов и определите по внешним признакам породу древесины изучаемых сортиментов.

9.4.4. Определите вид пиломатериала по размерам поперечного сечения, толщине и характеру обработки.

9.4.5. Установите по ГОСТ 8486–66, ГОСТ 10632–77 и ГОСТ 4598–86, в зависимости от наличия и размеров пороков, сорт изучаемого пиломатериала.

9.4.6. Измерьте длину, ширину и толщину сортиментов.

Длину пиломатериалов и заготовок измеряют по наименьшему расстоянию между торцами.

Ширину пиломатериалов и заготовок, обрезных с параллельными кромками измеряют в любом месте длины, где нет обзола, и не ближе 150 мм от торцов; необрезных пиломатериалов – по середине длины сортимента (без учёта коры) как полусумму ширины обеих пластей, причём размеры менее 5 мм не учитываются, а более считают за 10 мм.

Толщину пиломатериалов и заготовок измеряют в любом месте их длины, но не ближе 150 мм от торцов.

9.4.7. Определите объём сортиментов пиломатериалов в кубических метрах. Например, если толщина доски 50 мм, длина 5 м и ширина 250 мм, то объём её равен 0,0625 м³.

9.4.8. Запишите результаты выполненной работы в таблицу 9.3.

Таблица 9.3. – Исследование сортиментов пиломатериалов

Номер сортимента	Порода древесины	Вид пиломатериала	Наличие пороков, их размеры и количество	Сорт	Размеры			Объём, м ³	Суммарный объём для изготовления изделия
					Длина, м.	Ширина, м.	Толщина, м.		

9.5. Вопросы и задания для самоконтроля

9.5.1. Какие виды поверхностей рассматривают на пиломатериалах?

9.5.2. Назовите основные виды пиломатериалов.

9.5.3. Какие композиционные материалы на древесной основе имеют наиболее широкое применение?

9.5.4. Что представляет собой фанера и фанерные плиты? В чём их преимущество перед монолитной древесиной?

Лабораторная работа № 10

Определение влажности древесины

Цель работы: изучение метода определения абсолютной влажности древесины по ГОСТ 16483.7–71.

Оснащение: технические весы с погрешностью взвешивания не более 0,01 г; щётка; образцы древесины размером 20×20×30 мм; карандаш.

Теоретические сведения

10.1. Влажность древесины

Влажностью древесины называется отношение массы влаги, находящейся в данном объеме древесины, выраженное в процентах. Для технических измерений рассматривают несколько видов влажности.

Абсолютная влажность – отношение массы m влаги в данном объеме древесины к массе M_0 абсолютно сухой древесины:

$$W_0 = \frac{m}{M_0} 100\% . \quad (2.10.1)$$

Определяется влажность по ГОСТ 16588–79 и ГОСТ 164837–71.

Относительная влажность – отношение массы m влаги в древесине к массе M древесины во влажном состоянии:

$$W = \frac{m}{M} 100\% . \quad (2.10.2)$$

Свободная или *капиллярная влага* находится в полостях клеток и межклеточных пространствах.

Связанная или *гигроскопическая влага* находится в клеточных стенках.

Предел гигроскопичности – состояние, при котором клеточные стенки содержат максимальное количество связанной влаги, а в полостях клеток находится только воздух. Влажность при пределе гигроскопичности одинакова для всех пород и при 20 С⁰ составляет 30 %.

Различают следующие степени влажности древесины:

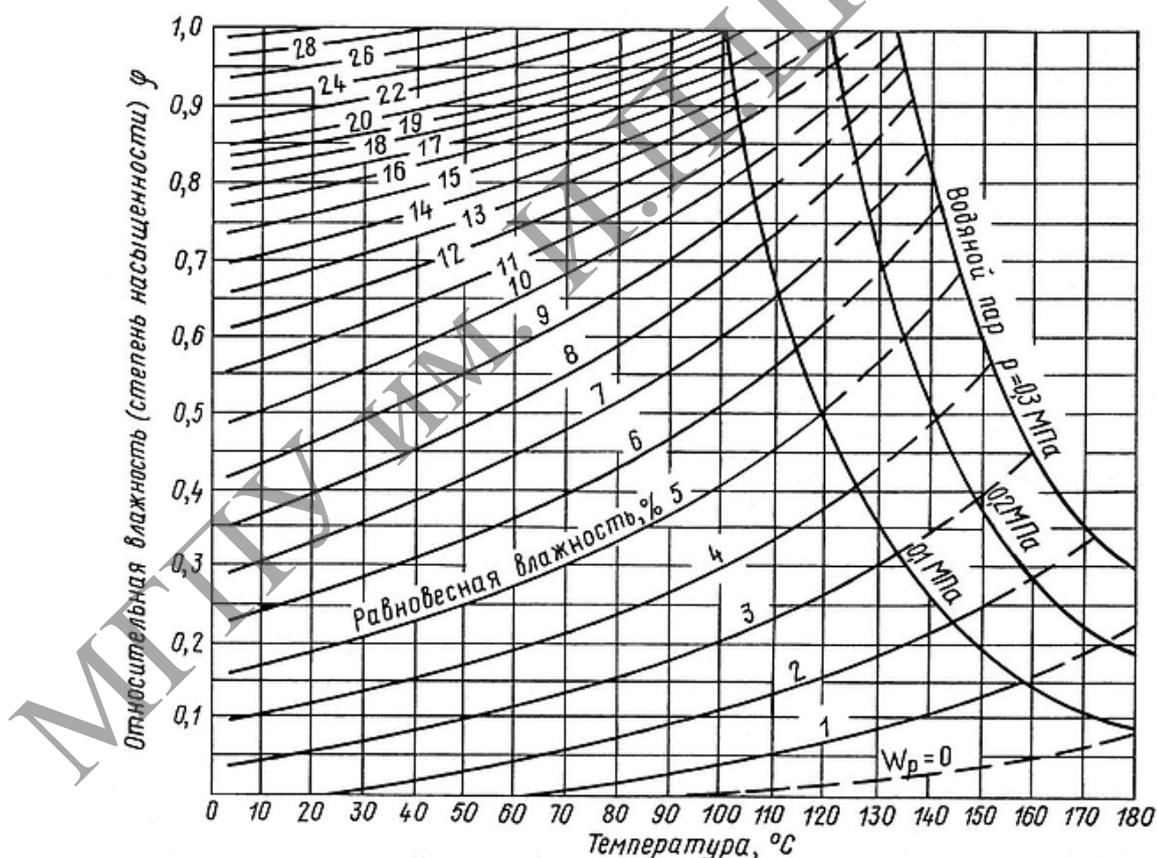
- мокрая > 100 % (древесина долго была в воде);
- свежесрубленная 50 < W < 100 %;
- воздушно-сухая 15 < W < 20 %;
- комнатно-сухая 8 < W < 12 %;
- абсолютно сухая W = 0 %.

При высушивании сначала удаляется (испаряется) свободная влага, а затем связанная. Удаление влаги происходит до тех пор, пока она равномерно не распределится в древесине.

Равновесная влажность – среднее значение между устойчивыми влажностями при сорбции (поглощении) и десорбции (испарении), соответствующие определенному сочетанию температуры и влажности окружающего воздуха. Равновесную влажность W_p определяют по диаграмме Л. С. Серговского (рисунок 10.1.).

Равновесная влажность W_p изменяется по высоте и радиусу ствола.

Влажность заболони у сосны в 3 раза выше влажности ядра. У лиственных пород распределение влажности по диаметру более равномерное. Влажность увеличивается вверх по стволу у заболони хвойных пород, а у ядра остается неизменной. У лиственных пород W заболони является постоянной; у ядра влажность вверх по стволу уменьшается: W_{max} зимой (ноябрь – февраль), а W_{min} – летом (июнь – август).



φ – относительная влажность; $t, ^\circ C$ – температура воздуха

Рисунок 10.1. – Диаграмма равновесной влажности Л. С. Серговского

Влажность деталей мебели должна быть $(8 \pm 2) \%$, шипов, фанеры не более 6% . Определяют влажность высушиванием и электрическим методом. Для высушивания заготавливают образцы $20 \times 20 \times 30$ мм, очищают от опилок, заусенцев и сразу взвешивают с погрешностью $0,01$ г. Затем выдерживают в электрическом шкафу при температуре $(103 \pm 2)^\circ \text{C}$. Первое взвешивание производят через 6 часов (10 часов для дуба и ясеня), затем через каждые 2 часа до постоянного веса и определяют влажность по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} 100\%, \quad (2.10.3)$$

где m_1 – масса образца до высушивания;
 m_2 – масса сухого образца.

Определение влажности электровлагометром основано на изменении электропроводности древесины в зависимости от ее влажности. Иглу ЭВМ вводят в древесину на 8 мм и при пропускании тока ЭВМ показывает W в процентах.

10.2. Усушка древесины

Усушка – уменьшение линейных размеров и объема древесины при удалении из нее связанной влаги (ГОСТ 16483.8–71). В тангенциальном направлении усушка в 1,5–2 раза больше, чем в радиальном. При полной усушке влажность древесины должна снизиться от предела гигроскопичности до 0. При этом усушка в тангенциальном направлении составляет 6–10 %, в радиальном 3–5 % и вдоль волокон – 0,1–0,3 %. Для определения полной усушки образцы помещают в воду и по достижении предела насыщения измеряют линейные размеры образца. Затем их измеряют после достижения сухого состояния. Коэффициент объемной усушки (КОУ) – величина усушки древесины при снижении связанной влаги на 1% влажности. Величина КОУ:

- не более 0,40 % – для малоусыхающих пород (ель, пихта, тополь белый, кедр);
- от 0,40 % до 0,47 % – для среднеусыхающих пород (бук, дуб, ольха, осина, тополь черный, ясень);
- от 0,47 % и более – для сильноусыхающих пород (береза, граб, лиственница, клен остролистный).

10.3. Деформации возникающие при сушке древесины

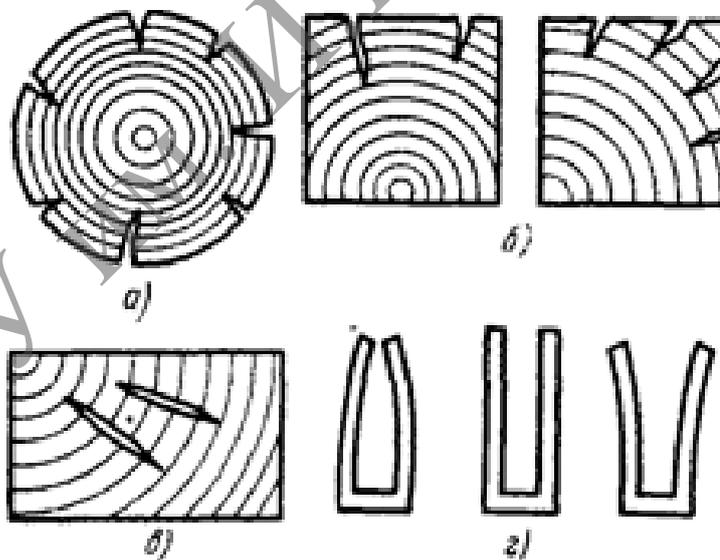
При сушке в древесине возникают внутренние напряжения, растрескивания, коробление, причина которых в неравномерности распределения влаги. Вначале снижается влажность в поверхностных слоях, при ее снижении за предел гигроскопичности должна произойти

усушка, но из-за сопротивления более влажных внутренних слоев поверхностные усыхают не полностью и, следовательно, возникают растягивающие напряжения в поверхностных зонах и сжимающие во внутренних. При снижении влажности внутренних слоев за предел гигроскопичности во внутренней зоне появятся растягивающие напряжения, во внешней, поверхностной зоне – сжимающие.

Если растягивающие напряжения достигают предела прочности древесины поперек волокон, то возникают *трещины*. В начале процесса сушки – на поверхности сортимента, а в конце – внутри (рисунок 10.2.).

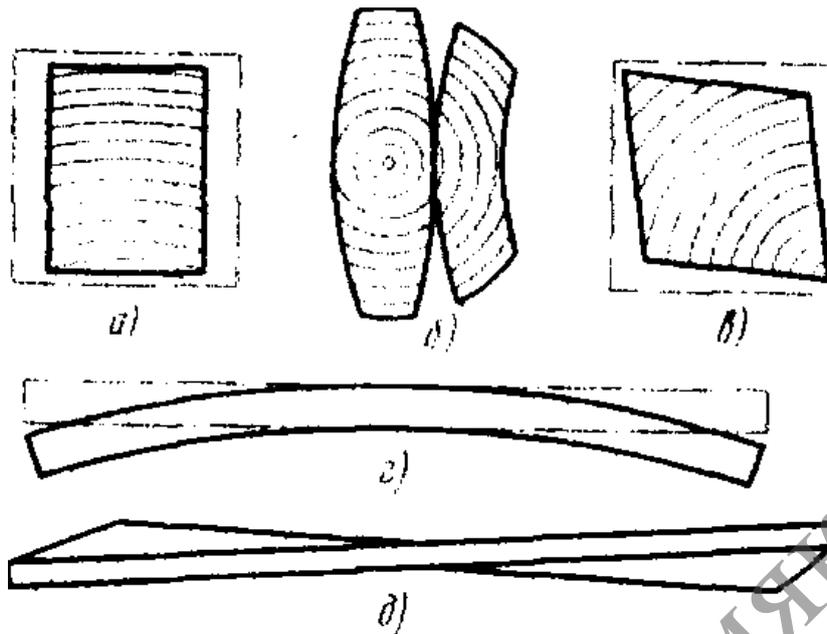
Обнаруживают эти напряжения с помощью *силовых секций*. Если зубцы секции сразу после изготовления останутся параллельными, то внутренних напряжений в древесине нет, если зубцы расходятся, то в наружных слоях напряжения растягивающие, а во внутренних сжимающие, если зубцы секции сходятся, то напряжения в наружных слоях сжимающие, а во внутренних – растягивающие.

Коробление – изменение формы поперечного сечения доски при сушке. Коробление бывает поперечным и продольным. Причина поперечного коробления – различие в усушке по радиальному и тангенциальному направлениям (рисунок 10.3.).



a – наружные трещины в бревне; *b* – наружные трещины в брусках; *v* – внутренние трещины; *z* – силовые секции

Рисунок 10.2. – Растрескивание древесины и силовые секции



a, в – изменение формы поперечного сечения брусков с различным расположением слоев на торцах; *б* – то же для досок (сердцевинной и боковой);
г – продольная покоробленность; *д* – крыловатость

Рисунок 10.3. – Виды коробления

По длине доски могут изгибаться в дугообразную форму и винтообразную форму (крыловатость).

Разбухание – увеличение линейных размеров и объема древесины при повышении связанной влаги. Это явление обратное сушке.

Водопоглощение – способность древесины поглощать капельно-жидкую влагу.

Плотность влажной древесины

$$\rho = \frac{m_w}{V_w}, [\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}. \quad (2.10.4)$$

где m_w – масса образца древесины при влажности W , г или кг;

V_w – объем образца древесины при влажности W , см^3 или м^3 .

Плотность древесины меньше плотности древесного вещества. Определяют плотность на образцах $20 \times 20 \times 30$ мм по ГОСТ 16483.1 – 73 при стандартной влажности 12 % – ρ_{12} .

Более тяжелая древесина, как правило, более прочная. Плотность древесины лежит в пределах: $375 \text{ кг/м}^3 < \rho_{12} < 800 \text{ кг/м}^3$. При этом считают:

$\rho_{12} < 510 \text{ кг/м}^3$ – малая плотность;

$550 \text{ кг/м}^3 < \rho_{12} < 740 \text{ кг/м}^3$ – средняя плотность;

$750 \text{ кг/м}^3 < \rho_{12}$ – высокая плотность.

10.4. Порядок выполнения работы

10.4.1. Изготовьте из древесины 3 образца в форме прямоугольной призмы с основанием 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм. Очистите образцы щёткой от опилок и пыли; на каждом образце карандашом напишите номер.

10.4.2. Взвесьте образцы на весах с погрешностью не более 0,01 г.

10.4.3. Поместите образцы в сушильный шкаф при температуре $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$.

10.4.4. Взвешивание при высушивании мягких пород проведите не ранее, чем через 6 часов после начала высушивания, и не ранее 10 часов при высушивании твёрдых пород.

10.4.5. Высушивание считается законченным, когда разность между двумя последовательными взвешиваниями будет не более 0,002 г.

10.4.6. Вычислите влажность образцов W в процентах с погрешностью не более 1 % по формуле (2.10.3).

10.4.7. Результаты определения влажности занесите в таблицу 10.1.

Таблица 10.1. – Определение влажности древесины

Номер образца, порода	Масса, г			Влажность древесины
	Образец до высушивания	Образец после высушивания	Испарившейся воды	

10.5. Вопросы и задания для самоконтроля

10.5.1. Дайте определение абсолютной и относительной влажности древесины.

10.5.2. Определите понятия свободной и связанной влаги.

10.5.3. Перечислите степени влажности древесины.

10.5.4. Что понимают под усушкой древесины?

10.5.5. Какие дефекты возникают при сушке древесины?

Лабораторная работа № 11 Определение плотности древесины

Цель работы: изучение метода определения плотности древесины по ГОСТ 16483.1 – 73.

Оснащение: штангенциркуль с погрешностью измерения не более 0,1 мм; технические весы; сушильный шкаф; сосуд для вымачивания образцов; карандаш; образцы древесины размерами $20 \times 20 \times 30$ мм.

Теоретические сведения

11.1. Плотность древесины

Плотность древесины – это отношение массы древесины к её объёму. Плотность влажной древесины ρ_w определяют по формуле:

$$\rho = m_w / V_w , \quad (2.11.1)$$

где m_w – масса образца древесины при влажности W , кг;
 V_w – объём образца древесины при влажности W , м³.

Плотность древесины вследствие пористого строения меньше, чем плотность древесного вещества. Плотность древесины зависит от её влажности. Принято сравнивать плотность древесины различных пород при одной и той же влажности, равной 12 %.

По значению плотности древесину можно разделить три основные группы:

- с малой плотностью (до 540 кг/м³) – сосна, ель, пихта, кедр, тополь, ольха, липа;
- со средней плотностью (от 550 до 740 кг/м³) – лиственница, береза, дуб, вяз, клен, платан;
- с высокой плотностью (более 750 кг/м³) – акация белая, граб, самшит, саксаул, кизил.

С плотностью древесины непосредственно связана ее прочность: более плотная, тяжелая древесина прочнее легкой. Древесина плотных и средней плотности пород хорошо поддается обработке резанием, легко шлифуется, лакируется, полируется. Породы с малой плотностью хуже поддаются такой обработке, но зато хорошо и легко изгибаются без излома.

Для расчета иногда пользуются плотностью древесины в абсолютно сухом состоянии, когда массу и объём древесины измеряют после того, как образец высушат до влажности, равной нулю.

Условную плотность древесины определяют как отношение массы образца в абсолютно сухом состоянии к объёму образца при пределе гигроскопичности ($W_{п.г.} = 30\%$). При этом условная плотность древесины не зависит от влажности.

11.2. Порядок выполнения работы

11.2.1. Изготовьте 2 образца в форме прямоугольной призмы с основанием 20 × 20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм.

11.2.2. Взвесьте один образец древесины на технических весах с погрешностью не более 0,01 г. Измерьте штангенциркулем размеры поперечного сечения (a и b) и длину l по осям симметрии образцов.

11.2.3. Определите влажность образцов в соответствии с лабораторной работой № 10 по формуле: $W = [(m_1 - m_2) / m_2]100\%$, где m_1 – масса образца до высушивания, кг; m_2 – масса образца после высушивания, кг.

11.2.4. Вычислите плотность древесины при влажности в момент испытания ρ_w с погрешностью до 5 кг/м^3 по формуле:

$$\rho_w = m_w / (a_w b_w l_w), \quad (2.11.2)$$

где:

m_w – масса образца при влажности W , кг;

a_w и b_w – размеры поперечного сечения образца, м;

l_w – длина образца, м.

11.2.5. Образец, высушенный так же, как описано в работе № 10, взвесьте с погрешностью до $0,01$ г и штангенциркулем измерьте размеры поперечного сечения (a и b) и длину l по осям симметрии образцов.

11.2.6. Вычислите плотность древесины в абсолютно сухом состоянии с погрешностью до 5 кг/м^3 по формуле:

$$\rho_0 = m_0 / (a_0 b_0 l_0), \quad (2.11.3)$$

где:

m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, кг;

a_0 и b_0 – размеры поперечного сечения образца в абсолютно сухом состоянии, м;

l_0 – длина образца в абсолютно сухом состоянии, м.

11.2.7. Вторым образцом вымочите трое суток в дистиллированной воде при температуре $10-20$ °С до влажности равной или большей предела гигроскопичности. Образцы измерьте, как описано выше, и взвесьте с погрешностью не более $0,01$ г.

11.2.8. Вычислите условную плотность древесины с погрешностью до 5 кг/м^3 по формуле:

$$\rho_{\text{усл}} = m_0 / (a_{\text{мах}} b_{\text{мах}} l_{\text{мах}}), \quad (2.11.4)$$

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

$a_{\text{мах}}$, $b_{\text{мах}}$, $l_{\text{мах}}$ – размеры образца при влажности, равной или больше предела гигроскопичности, м.

11.2.9. Запишите результаты определения плотности древесины на образцах в таблицу 11.1.

11.2.10. Сравните полученные результаты с табличными, приведенными в таблице 11.2.

11.3. Вопросы для самоконтроля

11.3.1. Что называют плотностью древесины?

11.3.2. На какие группы классифицируют древесину по плотности?

11.3.3. Как связана плотность с другими свойствами древесины?

11.3.4. В каких трех основных состояниях измеряют плотность древесины?

Таблица 11.1. – Определение плотности древесины

Номер образца, порода	Размеры образцов, мм						Масса образцов, г		Плотность, кг/м ³						
	До высушивания			После высушивания								При влажности равной или больше предела гигроскопичности			
	Толщина a_w	Ширина b_w	Длина l_w	Толщина a_0	Ширина b_0	Длина l_0	Толщина a_{max}	Ширина b_{max}	Длина l_{max}	При влажности момент испытания m_w	В абсолютно сухом состоянии m_0	Влажность $W, \%$	При влажности момент испытания ρ_w	В абсолютно сухом состоянии ρ_0	Условная $\rho_{усл}$

Таблица 11.2. – Среднее значение плотности древесины, кг/м³

Порода	Плотность ρ_{12}	Плотность абсолютно сухой древесины ρ_0	Условная плотность $\rho_{усл.}$	Порода	Плотность ρ_{12}	Плотность абсолютно сухой древесины ρ_0	Условная плотность $\rho_{усл.}$
Лиственница	660	630	520	Ясень	680	640	550
Сосна	500	470	400	Бук	670	640	530
Ель	445	420	360	Вяз	650	615	520
Кедр	435	410	350	Береза	650	600	520
Пихта сибирская	375	350	300	Орех	590	–	470
Граб	800	760	630	Ольха	520	490	420
Акация белая	800	760	630	Осина	495	470	400
Груша	710	670	570	Липа	495	470	400
Дуб	690	650	550	Тополь	455	430	360
Клен	690	650	550	Ива	455	430	360

Лабораторная работа № 12

Клеи и их свойства. Склеивание древесины

Цель работы: изучение классификации клеев и их свойств, технологического процесса склеивания, научиться определять прочность склеивания древесины.

Оснащение: бруски древесины различных пород размером не менее 25 × 60 × 320 мм; приспособления для закрепления образцов; шлифовальная шкурка; кисть; струбцины; стальной угольник; штангенциркуль; стандартные растворы клея; сосуд с водой.

Теоретические сведения

12.1. Характеристика клеев и клеевых соединений

Клеи – коллоидные растворы органических, элементоорганических или неорганических соединений, способные при затвердевании образовывать прочные клеевые соединения, обладающие хорошей *адгезией, когезионной прочностью, эластичностью и долговечностью*.

Адгезия – способность клеевой прослойки прилипать и прочно удерживаться на поверхности склеиваемого материала.

Когезия – собственная объемная прочность клеевого слоя.

Адгезионное разрушение – разрушение клеевого соединения по границе «склеиваемый материал – адгезив».

Когезионное разрушение – разрушение по объёму клеевой прослойки или склеиваемого материала.

Высокая прочность клеевого шва обеспечивается при выполнении следующих требований:

- применять клей, хорошо смачивающий склеиваемые поверхности;
- полярные материалы склеивать полярными клеями, неполярные – неполярными;
- наносить тонкие клеевые слои для исключения внутренних напряжений;
- клеевая прослойка не должна быть жестче склеиваемого материала.

Клеи характеризуются следующими параметрами.

Клеящая способность. Характеризуется прочностью клеевого шва на скол. Клей считается прочным, если при раскалывании стамеской линия скола проходит не по шву, а по древесине. Если раскалывание происходит по клеевому шву, клей признают непригодным.

Вязкость клея. Зависит от концентрации клеевого раствора, т.е. от количества основного склеивающего вещества в нем. Вязкость показывает способность раствора проникать в поры древесины.

Грибостойкость – это способность клея сопротивляться загниванию от грибков и других микроорганизмов.

Водостойкость – это способность клея сохранять прочность клеевого шва под действием воды и влажного воздуха.

Водостойкость определяется вымачиванием склеенных образцов в воде комнатной температуры в течение 24 ч или же выпариванием в кипящей воде в течение 1 ч. Если после этого прочность шва на скалывание понизилась не более чем на 30 % по сравнению с прочностью в сухом состоянии, клей считается водостойким.

Схватываемость – скорость затвердевания клея.

Жизнеспособность клея – это время, в течение которого приготовленный раствор обладает необходимой вязкостью, т.е. пригоден для использования.

Прочность на сдвиг.

Прочность на отрыв.

Долговечность

$$\tau = Ae^{-an\sigma}, \quad (2.12.1)$$

где:

A, a – параметры клея;

σ – действующее напряжение;

n – коэффициент концентрации напряжений.

12.2. Классификация клеев

В основном используется классификация клеев по пленкообразующему материалу:

12.2.1. *Смоляные клеи на основе полимеров* бывают *термореактивные и термопластичные*, обладают высокой прочностью;

12.2.2. *Резиновые клеи* на основе полимеров (каучуков) обладают высокой эластичностью, склеивание осуществляется либо при вулканизации резины, либо при холодном отверждении уже вулканизованных резин.

12.2.3. *Клеи животного происхождения*, вырабатываемые из животного белка коллагена, называются *глутиновыми клеями*. Клей мездровый (ГОСТ 3252–80) производится в виде плиток, чешуек, стружки, дробы, марок КМЭ, КМВ, КМ – 1, КМ – 2 и КМ – 3.

12.2.4. *Клей костный* (ГОСТ 2067–80) производится в виде плиток, дробленый, гранулированный; клей галерта – в виде однородной желеобразной массы. Клей глутиновый производится в виде плиток $250 \times 90 \times 16$ мм.

12.2.5. Основной частью *казеиновых клеев* (ГОСТ 3056–74) является молочный белок – *казеин* (обезжиренный творог). В столярном производстве казеиновый клей приготавливают из порошка, содержащего все необходимые компоненты.

Характеристики и области применения некоторых конструкционных клеев приведены в таблице 12.1.

Таблица 12.1. – Характеристика и области применения некоторых конструкционных клеев

Тип клея	Марка клея	Предел проч-ности при сдвиге, МПа	Термо-стой-кость, °С	Склеиваемые материалы
Феноло-формальдегидный	В31-Ф9	13...15	45...100	Оргстекло между собой и с тканями, пористые материалы
Феноло-каучуковый	ВКЗ ВК-32-200 ВК – 13	14...25	200 200 300	Металлы, стеклопластики
Феноло-поливинилацетатный	БФ – 2 БФ – 4 ВС – 350 БФР – 2	17...18	80 200 350 –	Металлы, стеклопластики, древопластики и др. материалы
Феноло-кремнийорганический	ВК – 8 ВК – 15 ВК – 18 ВК – 20	12...17	100 1200 кр. 200 700	Стали, титан, графит и др. Металлы и неметаллические материалы
Эпоксидный	К – 153,Л-4 ВК – 32 – ЭМ ВК – 1 Эпоксид П и ПР ВК – 9	10...30	60 60 150 100	Металлы, стеклопластики, неметаллические материалы Стальные, алюминиевые и титановые сплавы, стеклопластики, полимеры Металлы и стеклопластики Металлы и неметаллические материалы
Эпоксидно-полиуретановый	ЭПЦ – 1 ВК – 16	10...15	125 150 250	Стали, алюминиевые сплавы, неметаллические материалы Асбоцемент, стали, неметаллические материалы Металлы, стеклопластики, неметаллические материалы
Эпоксидно-кремнийорганический	ТКМ – 75	18...20	300	Металлы и стеклопластики
Полиуретановый	ПУ – 2 ВК – 11	11...20	60	Металлы, неметаллические материалы, декоративно-отделочные ткани, поролон с деревом и алюминиевыми сплавами
Кремнийорганический	ВКТ – 2	10...17	200	Стекловолокнистые материалы со сталями
Полиэфирный	ТМ – 60	–	100	Полиэтиленовые плёнки
Перхлорвиниловый	ХВК – 2а	–	60	Ткани х/б с древесиной
Полиамидный	СП – 6	15...30	300...375	Коррозийно-стойкие стали, титановые сплавы, композиты

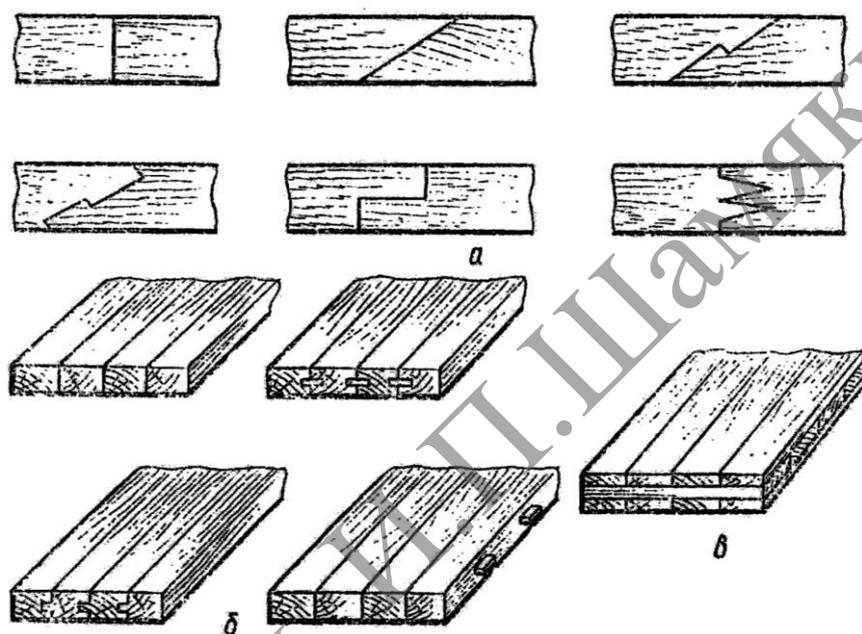
Примечание – Кр. – кратковременный.

12.3. Технологический процесс склеивания

Технологический процесс склеивания включает следующие стадии:

- подготовка поверхности под склеивание;
- подготовка клеевых растворов;
- нанесение клеевого состава (адгезива);
- сжатие склеиваемых изделий;
- отверждение клея и контроль склеиваемого соединения.

Типы и конструктивные формы клеевых соединений приведены на рисунках 12.1 и 12.2.



a – торцовые; *б* – боковые; *в* – перекрестные

Рисунок 12.1. – Клеевые соединения

Соединение листовых материалов	
Тавровые соединения	
Трубчатые соединения	

Рисунок 12.2. – Конструктивные формы клеевых соединений

12.4. Порядок выполнения работы

12.4.1. Изготовьте брусья длиной 320 ± 10 мм, шириной 60 ± 2 мм и толщиной 25 ± 1 мм из одной породы древесины влажностью 7–12 %. Волокна древесины брусков должны быть параллельны плоскости склейки, а годичные слои под углом 45–90° к плоскости склейки.

12.4.2. Склеиваемые бруски плотно прифугуйте один к другому, чтобы не было зазора. Поверхность брусков очистите щёткой или кистью от загрязнений и пыли.

12.4.3. Изучите таблицу 12.2 и выберите вид клея и вид заготовок для склеивания.

Таблица 12.2. – Факторы, влияющие на прочность склеивания древесины

Марка клея	Порода древесины (вид заготовки)	Время выдержки, мин	Температура склеивания, °С	Сила сжатия образцов, кН	Влажность древесины, %
ПВА	Дуб	10	20	0,5	12
«Момент»	Сосна	20	36	1	25
«Феникс»	Фанера	40	70	30	50

12.4.4. Нанесите клей кистью движением в одну сторону на склеиваемые поверхности ровным слоем.

12.4.5. Выдержите склеиваемые бруски по выбранному из таблицы 12.2 режиму склеивания.

12.4.6. Испытайте образцы на разрыв либо стамеской, либо с помощью специального приспособления.

12.4.7. Измерьте штангенциркулем размеры сколовшейся части образца с погрешностью не более $\pm 0,5$ мм, вычислите площадь склейки.

12.4.8. Запишите результаты определения прочности склеивания образцов в таблицу 12.3.

Таблица 12.3. – Определение прочности склеивания образцов

Марка клея	Порода древесины (вид заготовки)	Время выдержки, мин	Температура склеивания, °С	Сила сжатия образцов, кН	Влажность древесины, %	Площадь скалывания, см ²

12.4.9. По полученным данным сделайте вывод о типе разрушения клеевого соединения и прочности склеиваемого шва.

12.5. Задания для самоконтроля

- 12.5.1. Назовите типы разрушений клеевых соединений.
- 12.5.2. Приведите классификацию клеев.
- 12.5.3. Назовите основные свойства клеев.
- 12.5.4. Зарисуйте типы и конструктивные формы клеевых соединений.
- 12.5.5. Опишите технологический процесс склеивания.

Лабораторная работа № 13 Конструкционные полимерные материалы. Формообразование деталей из термопласта давлением

Цель работы: изучение конструкционных полимерных материалов, овладение первоначальными навыками штампования деталей из листового термопласта.

Оснащение: слесарные тиски; струбицы; штамп, тонколистовой термопластичный полимер (полиметилметакрилат); муфельная печь.

Теоретические сведения

13.1. Полимеры и материалы на их основе

Полимерные вещества использовались человеком давно, но особенно широкое их применение началось в наше время.

Полимерная промышленность – одна из наиболее прогрессивных отраслей народного хозяйства. Биологические полимеры (ДНК, РНК, белки) играют решающую роль в функционировании любой живой системы.

Основой большинства неметаллических материалов являются полимеры – вещества, молекулы которых состоят из многочисленных элементарных звеньев одинаковой структуры. Химический состав полимера выражают этим структурным звеном, а число звеньев n в макромолекулярной цепи называют степенью полимеризации. Для физиков полимеры – это длинные цепные молекулы, находящиеся в состоянии теплового движения и взаимодействующие друг с другом.

Самой наглядной и наиболее важной характеристикой каучукоподобного состояния полимеров является способность сильно деформироваться под действием сравнительно небольших напряжений.

Из типичной кривой растяжения резин следует, что их деформация достигает 500–1000 %, модуль Юнга $E = 10^6$ Н/м² (для твердых тел $E = 10^{11}$ Н/м², $\varepsilon = 1$ %).

При приложении нагрузки деформация образцов происходит не сразу, как у обычных материалов, а в течение некоторого промежутка времени, т. е. полимеры занимают промежуточное состояние между низкомолекулярными жидкостями и твердыми телами.

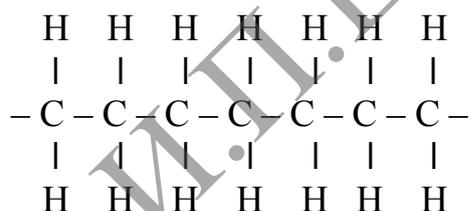
Полимерные молекулы – это цепи, их звенья образованы из многих химических групп, соединенных друг с другом ковалентными химическими связями. Эти повторяющиеся малые структурные элементарные звенья (мономерные единицы) могут быть одинаковыми и различными.

Число звеньев полимерной цепи n – важнейшая её характеристика. Молекулы синтетических полимеров содержат обычно от сотен до десятков тысяч звеньев: $n \sim (10^2 - 10^4)$. Самые длинные из известных – молекулы ДНК, для которых $n \sim 10^9$.

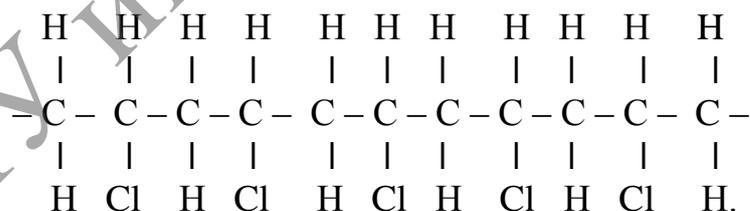
Часто полимерами называют также и технические материалы, получаемые на их основе: пластмассы, волокна, резины.

Цепное строение молекул характерно для всех полимерных веществ.

Типичными представителями класса полимеров являются полиэтилен



и поливинилхлорид



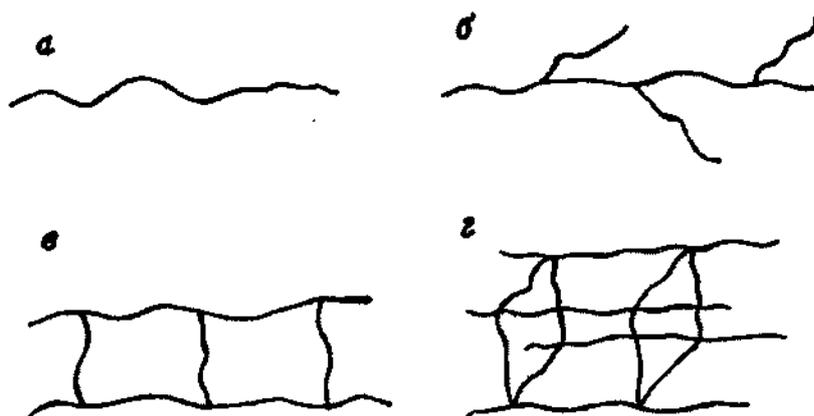
13.2. Разновидности полимеров по строению

В простых полимерных цепях все звенья построены из одинаковых мономеров – это *гомополимеры*; в *гетерополимерах* или *сополимерах* звенья состоят из нескольких разных типов мономеров.

Полимеры с низкой степенью полимеризации называют *олигомерами*, с высокой степенью полимеризации – *высокомолекулярами*.

Если наблюдается совершенный порядок по цепи, то полимер называют регулярным (натуральный каучук)





a – линейная; *б* – разветвлённая; *в* – лестничная; *г* – сетчатая

Рисунок 13.1. – Формы макромолекул полимеров

По построению главной цепи все высокомолекулярные соединения делятся на гомоцепные полимеры, когда главная цепь построена из одинаковых атомов



и гетеротропные полимеры, у которых главная цепь построена из различных атомов



Полимерные цепи всегда находятся в конденсированной фазе, т.е. всегда взаимодействуют с окружающей средой, которая может иметь как полимерный характер, так и являться обычной жидкостью (растворы полимеров).

13.3. Гибкость цепных молекул

Характерным для полимеров является не только наличие длинных цепных молекул, но и резкое различие характера связей вдоль цепи и между полимерными цепями. Специфические свойства полимеров могут быть реализованы только тогда, когда связи вдоль цепи намного прочнее поперечных связей, образующихся вследствие межмолекулярного взаимодействия любого происхождения. Именно в этом особенность молекулярного строения полимерных тел. Разветвление полимерных молекул или соединение их в сетку вносит некоторые изменения в комплекс свойств, но не меняет положения дел по существу до тех пор, пока остаются достаточно длинные цепные линейные отрезки.

Утрата цепного строения молекул при образовании из них глобул (сворачивание цепи в сферический клубок) или частых сеток приводит к полной потере всего комплекса характерных для полимеров свойств.

Под *гибкостью* молекулы понимается полная свобода вращения относительно связей, расположенных вдоль молекулы при сохранении валентных углов и межатомных расстояний.

Конформации молекул характеризуются величиной расстояния между концами цепи. При одном расстоянии между концами может быть много конформаций. Большим расстояниям соответствует меньше конформаций. При максимально возможном расстоянии возникает одна конформация. Различные конформации (реализация гибкости) осуществляются не мгновенно, а проявляются во времени, что обусловлено наличием взаимодействий, требующих определенных активационных энергий для их преодоления.

В полимерных системах рассматриваются две структурные единицы: цепная молекула и звено (отдельная характерная группа атомов, входящих в состав полимерной цепи). Специфические свойства в основном определяются тремя параметрами:

- молекулярным весом;
- гибкостью цепных молекул;
- межмолекулярным взаимодействием.

Анализ показывает, что все многообразие свойств полимеров обусловлено в конечном счете обилием возможных для макромолекул конформаций.

13.4. Область упруговязких свойств линейных аморфных полимеров

В физике полимеров для выделения стеклообразного и высокоэластичного состояний широко используются термомеханические кривые, когда за характеристику состояния полимерного тела принимается величина деформации, развивающейся за определенное время при данной температуре T и заданной величине вызывающего деформацию напряжения.

Термомеханическая кривая кристаллического тела (рисунок 13.2) имеет две ярко выраженные области: в области *I* весьма незначительный рост деформации обусловлен температурной зависимостью модуля упругости; при температуре плавления $T_{пл}$ наблюдается переход кристаллического твердого тела в жидкое состояние и в области *II* течение вязкой жидкости обусловлено понижением коэффициента вязкости η при нагревании жидкости.

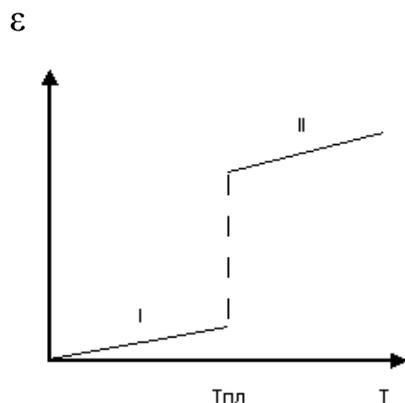


Рисунок 13.2. – Термомеханическая кривая кристаллического тела

Термомеханическая кривая низкомолекулярной жидкости (рисунок 13.3) не имеет четко выраженного перехода от стеклообразного *I* к вязкотекучему состоянию *II*. Такой переход осуществляется в интервале температур 20–30 °С.

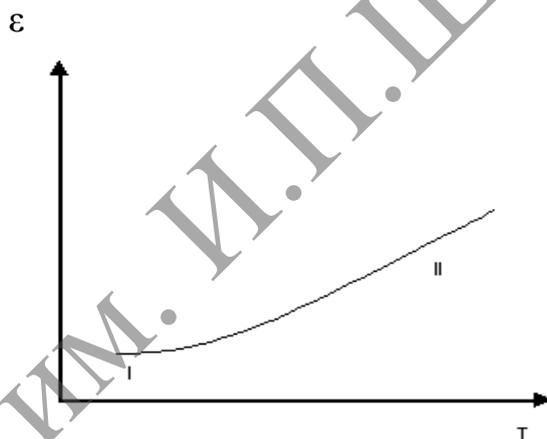


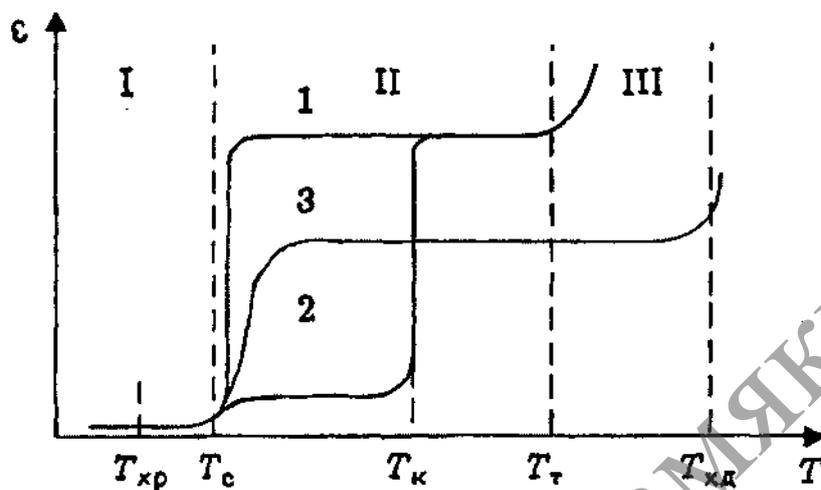
Рисунок 13.3. – Термомеханическая кривая низкомолекулярной жидкости

Для высокомолекулярных соединений в области низких температур наблюдается стеклообразное состояние (рисунок 13.4, *I*).

В стеклообразном состоянии микроброуновское движение отдельных звеньев цепи затруднено, наблюдаются только колебания атомов около положения равновесия, деформация межатомных расстояний и валентных углов при приложении нагрузки.

При достижении температуры стеклования T_c реализуется микроброуновское движение отдельных звеньев цепных молекул. Развивается высокоэластичная деформация (область *II*), достигающая 500–1000 %. Область стеклообразного состояния не зависит от длины молекулярной

цепи (для достаточно больших молекул), т. е. температура стеклования T_c для данного полимера есть величина постоянная.



1 – для аморфного термопласта; 2 – для кристаллического термопласта;
3 – для реактопласта

Рисунок 13.4. – Термомеханические кривые

При температуре течения T_t наблюдается вязкотекучее состояние, когда перемещается вся макромолекула в целом, какова бы ни была её длина. Поэтому температура течения T_t растет с ростом длины молекул.

Для сшитых пространственных полимеров стадия вязкого течения отсутствует, перемещение макромолекул в целом друг относительно друга невозможно из-за пространственной сшивки. Для таких полимеров в области высоких температур может наблюдаться химическая деструкция.

13.5. Конструкционные полимерные материалы

Термопластичные полимеры имеют линейную или разветвленную структуру макромолекул с невысокой температурой перехода в вязкотекучее состояние. Они хорошо перерабатываются литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяются они в качестве высоко- и низкочастотных диэлектриков, химически стойких конструкционных материалов, прозрачных оптических стекол, плёнок, волокон и т. д.

Полиэтилен $[-CH_2 - CH_2 -]_n$. Это твердый, упругий, без запаха, белый в толстом слое, прозрачный в тонком, кристаллизующийся неполярный материал. Производятся ПЭНД, ПЭВД, ПЭСД, для которых

с ростом плотности увеличивается степень кристалличности, возрастают прочность, твёрдость и теплостойкость. ПЭ легко перерабатывается, сваривается, устойчив к ударным и вибрационным нагрузкам. Недостаток – склонность к фотостарению. Применение – трубы, плёнки, прессованные детали, изоляция, защита поверхности от коррозии.

Полипропилен $[-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) -]_n$ – жесткий, нетоксичный, неполярный, негигроскопичный, химически стойкий к агрессивным средам (кислотам, щелочам) материал. Хорошо формуется в изделия, сваривается контактной сваркой. Недостатки – невысокая морозостойкость ($-10 \dots -20^\circ\text{C}$), склонность к фотостарению. Применение – антикоррозионная футеровка резервуаров, арматуры, контактирующих с агрессивной средой трубопроводов, электроизоляционные материалы.

Поливинилхлорид $[-\text{CH}_2 - \text{CHCl} -]_n$ – аморфный полимер белого или светло-желтого цвета, обладает высокими диэлектрическими свойствами, атмосферо- и химстойкостью. Стоек к бензину и маслам. Не поддерживает горения.

Непластифицированный поливинилхлорид называется винипластом, который используют при $0 < t \leq 70^\circ\text{C}$.

Пластифицированный до 30–40 % от массы полимера дибутилфталатом поливинилхлорид называют пластикатом с морозостойкостью – 50°C . Применение – электроизоляция, гидроизоляция, покрытие конвейерных лент, полов, заменитель кожи.

Политетрафторэтилен $[-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 -]_n$ (фторопласт – 4, фторолон – 4) – тонкодисперсный порошок белого цвета, кристаллизующийся до 97 % неполярный полимер с температурой плавления кристаллических областей 327°C . В вязкотекучее состояние переходит при 423°C . Материал термостойкий, стоек к действию растворителей, кислот, щелочей и окислителей, набухает во фреонах. Это материал с низким коэффициентом трения, сохраняет упругие свойства при криогенных температурах (до -269°C). Применение – конденсаторы, уплотнительные элементы, сильфоны, мембраны, фурнитура, детали антифрикционного назначения.

Полистирол $[-\text{CH}_2 - \text{CHC}_6\text{H}_5 -]_n$ – твердый, жесткий, прозрачный, аморфный, карбоцепной полимер, хороший диэлектрик, стойкий к щелочам и кислотам, стоек к радиационному воздействию. Недостатки – низкие теплостойкость и ударная вязкость. Применение – детали теле- и радиотехники, сосуды для химикатов, детали широкого потребления.

Полиизобутилен $[-\text{C}(\text{CH}_3)_2 - \text{CH}_2 -]_n$ – твердый полимер, по эластичности близкий к каучуку, с морозостойкостью до -74°C , хороший диэлектрик. Недостатки – обладает хладотекучестью. Полиизобутилен, наполненный графитом, тальком, асбестом используют как прокладочный материал и уплотнительный антикоррозионный материал.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) – прозрачный аморфный полимер на основе сложных эфиров и метакриловой кислоты. Стоек к действию разбавленных кислот, щелочей, углеводородных топлив и смазок, атмосферостоек, оптически прозрачен (светопрозрачность 92 %, пропускает 75 % ультрафиолетовых лучей). Морозостойкость до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Растворяется в эфирах, кетонах, органических растворителях.

Перерабатывается литьем под давлением, экструзией, прессованием. При $100\text{--}150\text{ }^{\circ}\text{C}$ формуется изделия методом пластического деформирования. Недостатки – невысокая твердость, способность к «серебрению» – появлению сетки мелких трещин, снижающих прозрачность. Применение – изготовление светотехнических изделий, оптических линз, радиодеталей, деталей, стойких к бензину, маслам.

Полиамиды (капрон, нейлон, анид и др.) $[-\text{NH}-(\text{CH}_2)_m-\text{CO}-]_n$ – кристаллизующиеся полимеры с хорошими механическими свойствами, высокой износостойкостью, не набухают в маслах и бензине, но не стойки к растворам минеральных кислот и окислителям. Недостатки – гигроскопичность. Применение – конструкционные материалы для зубчатых колес, звездочек цепных передач, подшипников скольжения, уплотнителей.

Полиуретаны – полимеры, содержащие в основной цепи макромолекулы уретановой группы $(-\text{NH}-\text{CO}-\text{O}-)$, кроме того, они могут содержать амидные, мочевиные, эфирные группы. Обладают высокой эластичностью, морозостойкостью до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Механическая прочность и эластичность определяются наличием исходных компонентов, используемых для получения полиуретана. Применение – уплотнительные устройства, трубы, шланги, клей в керамике.

Поликарбонаты $[-\text{O}(\text{R})\text{C}(\text{O})\text{O}-]_n$ – сложные полиэфиры угольной кислоты, обладают высокими механическими свойствами, стабильны в диапазоне температур $-135\text{ }^{\circ}\text{C} < t\text{ }^{\circ}\text{C} < 140\text{ }^{\circ}\text{C}$, химстойкие. Применение – шестерни, подшипники, детали радиоаппаратуры, криогенной техники.

Полиарилаты $[-\text{O}(\text{C}(\text{R})\text{C}(\text{O})\text{R}')\text{O}-]_n$.

Пентапласт $[-\text{OCH}_2\text{C}(\text{CH}_2\text{Cl})_2\text{CH}_2-]_n$.

Полиэтилентетрафталат $[-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}(\text{C}(\text{O})\text{C}_6\text{H}_4\text{C}(\text{O})\text{O}-]_n$ (лавсан) – сложные полиэфиры с определенным набором механических, эластичных и химических свойств. Физико-механические свойства термопластов приведены в таблице 13.1.

Терморезистивные полимеры в ненаполненном виде как конструкционные материалы не применяются из-за высокой усадки (до 15%) и хрупкости. Используются они в качестве связующих для получения композиционных материалов, лаков, клеев.

Феноло-формальдегидные смолы – продукты поликонденсации фенолов с формальдегидом. Выпускаются смолы резольного и новолачного типа.

Резольные – отверждаются путем нагревания, *новолачные* – при нагреве с отвердителем (уротропином до 6–14 % массы смолы). Обладают атмосферо- и теплостойкостью, электроизоляционными свойствами, стойкостью к кислотам.

Эпоксидные смолы – олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее 2-х эпоксидных или глицидиловых групп, способные превращаться в полимеры пространственного строения. Они отверждаются посредством отвердителей. При холодном отверждении применяют алифатические полиамиды (полиэтилен, полиамин до 5–15 % массы смолы), при этом длительность отверждения составляет 24 часа. Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам. Отвержденные смолы – хорошие диэлектрики с высокой химической стойкостью.

Кремнийорганические полимеры обладают высокой термостойкостью, химстойкостью, диэлектрическими свойствами, но невысокой адгезией. Используют для производства композиционных материалов, лаков, эмалей, клеев, механические свойства которых $1100 < \rho < 1250$ кг/м³, $\sigma_e = (20-50)$ МПа, относительное удлинение при разрыве, $\delta = (0,6-5)$ %, модуль упругости $E = (1,7-3,3)$ ГПа.

13.6. Композиционные материалы на основе полимеров

Композиты – гетерофазные системы, состоящие из двух или более разнородных компонентов, имеющих границы раздела между ними. Компонент, обеспечивающий монолитность, называется *матрицей*, компоненты, распределенные в матрице, называются *наполнителями*.

По типу матрицы различают композиционные материалы на полимерной (органической и неорганической), металлической и керамической основе.

Матричный материал более вязкий и обеспечивает перераспределение действующей нагрузки по объему, защиту наполнителя от воздействий окружающей среды, определяет электрические, теплофизические свойства, стойкость к старению, технологические свойства композита.

Наполнители улучшают механические, электрические, теплофизические и другие свойства. *Наполнители бывают инертные и активные (упрочняющие)*. По структуре наполнительные композиты делятся на *дисперсно-упрочненные, волокнистые, слоистые и газообразные*.

Дисперсные наполнители: древесная мука, графит, тальк, слюда, каолин, силикаты Al, Ca, Mg, порошки металлов и сплавов.

Волокнистые наполнители: хлопковые и льняные очесы, стекловолокно, асбест, углеродное волокно, синтетические волокна (полиамидные, полиэфирные).

Слоистые наполнители: бумага, хлопчатобумажная ткань, стеклоткань, асботкань, углеграфитная ткань (текстолиты), древесный шпон (древопластики).

Газообразные наполнители: азот, углекислый газ, воздух. Используют при создании поро- и пенопластов.

Особенность композитов – сочетание высокой прочности, низкой плотности, химстойкости.

Свойства некоторых композитов на основе термопластов и реактопластов приведены в таблицах 13.1 и 13.2.

Газонаполненные пластмассы подразделяются на две группы:

– пенопласты, поры в которых изолированы друг от друга полимерной прослойкой;

– поропласты, имеющие открытопористую структуру, в которой присутствующие в ней газы и жидкости сообщаются друг с другом.

Из группы термоактивных пластмасс широкое применение в технике находят гетинакс, асботекстолит, текстолит. Основой большинства из них являются фенолформальдегидные смолы и различные наполнители.

Гетинакс обладает хорошими диэлектрическими свойствами. Наполнителем при его получении служит бумага. Применяют его для изготовления электроизоляционных изделий, плат, шайб, крышек и т. д.

Текстолит (наполнитель – хлопчатобумажная ткань) обладает высокой прочностью, износостойкостью, хорошими антифрикционными и диэлектрическими свойствами, стоек к кислотам невысокой концентрации. Из текстолита изготавливают зубчатые и червячные колёса, подшипники скольжения, втулки, панели, щитки и другие электротехнические детали.

Асботекстолит получают прессованием асбестовых тканей, пропитанных смолами. Он обладает высокой теплостойкостью, прочностью и хорошими фрикционными свойствами. Его применяют для изготовления деталей тормозных устройств, муфт сцеплений и других частей машин, работающих при повышенных температурах.

13.7. Порядок выполнения работы

13.7.1. Подготовьте к работе штамп, состоящий из пуансона 1 и матрицы 2. Матрица, склеенная из фанеры, имеет окно, соответствующее форме внешнего контура нижней части изготавливаемого корпуса. Размеры пуансона меньше размеров окна матрицы на толщину заготовки (рисунок 13.5).

Таблица 13.1. – Физико-механические свойства термопластов

Материал	Плотность, кг/м ³	Временное сопротивление σ_e , МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость по Бринеллю	Ударная вязкость (с надрезом), кДж/м ²	Температура плавления, °С	Теплопроводность, Вт/(мК)	Диэлектрическая проницаемость при частоте 1 МГц	Тангенс угла диэлектрических потерь, 10 ⁻⁴	Электрическая прочность, кВ/мм
Полиэтилен					Не ломается					
ПЭВД	918...930	100...170	500...600	1,4...2,5		103...110	0,33..0,36	2,2...2,3	3	45...55
ПЭНД	949...955	220...300	300...800	4,5...5,8	150	124...132	0,42..0,44	2,2...2,4	4	45...55
Полипропилен	920...930	30...25	200...800	6...6,5	5...12	172	0,15	2,0	3...5	60...80
Поливинилхлорид	1350..1420	40...60	5...100	13...16	2...10	180...220	0.15..0,17	3,2	180...190	35...45
Политетрафторэтилен	2150...2240	14...25	250...500	3...4	100	327	0,25	1,9...2,2	2	25...27
Политрифторхлорэтилен	2090...2160	25...40	20...40	10...13	20...160	210...215	0,06..0,12	2,5...2,7	100	13...15
Полистирол	1050	31...50	12...2,0	14...20	1,5...2,0		0,99	2,5...2,6	3...4	20...25
Полиамиды	1120...1160	50...100	50...150	14...15	80...130	225...240	–	3,0...4,0	170...310	22...25
Поликарбонат	1200	56...78	50...110	15...16	250...500	220...270	–	3,0	70...80	15,5..21,0
Пентапласт	1390...1410	40...50	10...15	–	–	185	–	2,0...3,1	90...120	21...27

Таблица 13.2. – Физико-механические свойства композитов на основе реактопластов

Композит	Плотность, 10^3 кг/м ³	Временное сопротивление, МПа	Предел прочности, Мпа		Модуль упругости при растяжении, ГПа	Ударная вязкость, кДж/м ²
			при сжатии	при изгибе		
Дисперсно-упрочненные	1,4...1,5	30...60	150...190	50...70	6...8	4...6
Волокнистые:						
волокниты	1,4...1,5	30...60	80...150	50...80	8...9	9...10
асбоволокниты	1,9...2,0	–	90...110	60...70	15...18	160...200
стекловолокониты	1,7...1,9	80...500	100...130	120...250	–	25...150
карбоволокониты	1,4...1,6	600..1000	350...540	800..1200	150...180	50...85
бороволокниты	2,0...2,1	90...130	90...150	125...175	210...270	80...110
Слоистые:						
гетинакс	1,3...1,5	80...100	160...290	80...100	10...11	4...15
текстолит	1,3...1,4	65...100	150...250	120...160	6...10	30...40
стеклотекстолит	1,6...1,9	250...600	210...260	150...420	19...30	65...525
СВАМ	1,8...2,0	350..1000	350...450	500...700	30...40	180...500

13.7.2. Вырезать заготовку из оргстекла размером 123×97×2 мм. Для резки органического стекла можно использовать струбцину, чтобы накрепко зафиксировать лист полимера, и острую ножовку по дереву. Чтобы избежать перегрева материала во время распила, рекомендуется охлаждать место реза водой. Не забудьте переложить стекло от твердых зажимов струбцины или тисков мягкой тканью. Это защитит оргстекло от появления царапин.

13.7.3. Подготовьте строительный фен к работе. Проверьте исправность шнура. Во избежание ожогов во время нагревания оргстекла пользуйтесь термоизолирующими перчатками или силиконовыми прихватками.

13.7.4. Включите фен. Поднесите заготовку к тепловому потоку воздуха. Периодически меняйте положение листа по отношению к направлению потока воздуха.

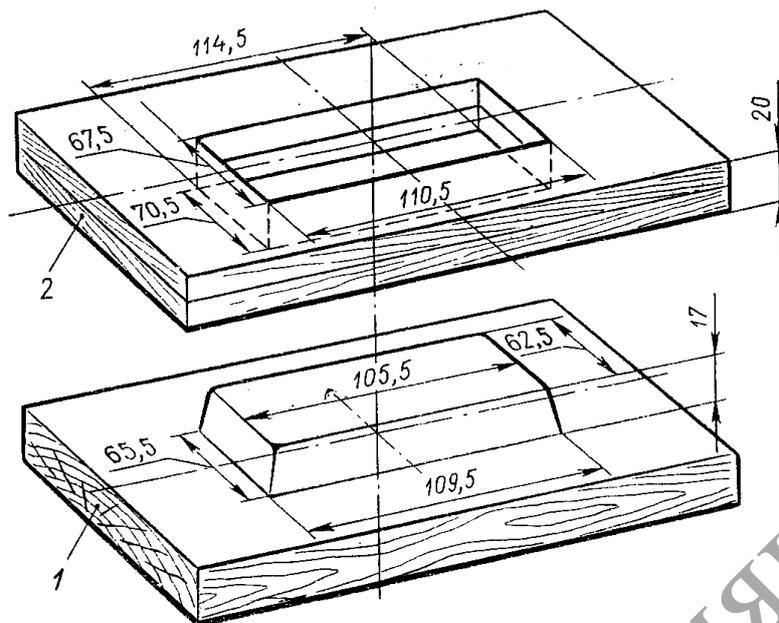


Рисунок 13.5. – Штмп для формобразования деталей из полиметилметакрилата (оргстекла) давлением

13.7.5. Убедившись, что полимер достиг нужной температуры и стал достаточно пластичным, нужно сразу придать ему нужную форму, не дожидаясь его остывания, иначе в месте сгиба может образоваться замутнение, признак микротрещин в материале. Если не соблюсти этих мер, стекло просто сломается по месту сгиба.

13.7.6. Нагретую примерно до 150°C заготовку из полиметилметакрилата (оргстекла) быстро положите между пуансоном и матрицей. Штмп стяните струбцинами и пакет в сборе охладите на воздухе. Вместо струбцины можно использовать слесарные тиски.

13.7.7. После охлаждения на воздухе деталь из термопласта извлеките из штмпа, удалите заусеницы, замерьте габариты (длину, ширину и высоту).

13.7.8. Результаты измерений занесите в таблицу 13.3.

Таблица 13.3. – Исследование процесса формобразования деталей из полиметилметакрилата (оргстекла)

Эскиз изделия	Материал	Наименование Марка (по ГОСТ) Масса	
	Режимы испытания		
	Температура	Время	Инструменты, приспособления
Последовательность выполнения работы			

13.8 Вопросы и задания для самоконтроля

- 13.8.1. Какие вещества называют полимерами?
- 13.8.2. Назовите разновидности полимеров по строению.
- 13.8.3. Чем обусловлена гибкость цепных молекул?
- 13.8.4. Какие молекулы называют термопластичными?
- 13.8.5. Какие полимеры называют терморезистивными?
- 13.8.6. Назовите основные компоненты композиционных полимерных материалов.

Лабораторная работа № 14

Композиционные материалы на основе полимеров. Резины

Цель работы: изучение классификации резин на основе синтетических полимеров и их эксплуатационные свойства.

Оснащение: различные марки резин на основе синтетических полимеров.

Теоретические сведения

14.1. Резиновые материалы

Резины – продукты вулканизации каучука и серы с различными ингредиентами, обладающие высокими эластичными свойствами в широком диапазоне температур (обратимые деформации до 1000 %).

Резиновые материалы применяются для изготовления амортизирующих деталей, уплотнений, герметизации, химзащиты, электроизоляционных деталей, трубопроводов, шлангов, камер, шин, ремней, транспортных лент и т.д.

Резиновые детали классифицируются на:

- уплотнительные (манжеты, сальники);
- вибро- и звукоизоляционные,
- противоударные;
- силовые (шестерни, муфты);
- опоры скольжения (подпятники, подшипники);
- гибкие компенсационные (сильфоны, патрубки);
- противоизносные (протекторы, катки);
- фрикционные (ремни, шлифовальные круги);
- несилловые и защитные (коврики, ручки, педали);
- декоративные.

Для резин характерна S-образная форма кривых σ - ε (рисунок 14.1).

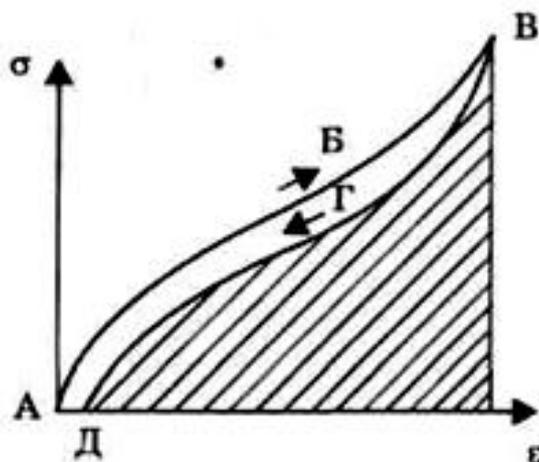


Рисунок 14.1. – Диаграмма “напряжение – деформация” при растяжении (AB) и снятии нагрузки (BD) с одинаковой скоростью

Механические свойства, $\sigma_e, \varepsilon \%$, сопротивление раздиру B , твердость по Шору H определяются по ГОСТ 269–66, ГОСТ 262–93. Стойкость к климатическому старению по ГОСТ 9.006–75. Сопротивление к термическому старению – ГОСТ 9.024–74, морозостойкость – ГОСТ 13808–79, биостойкость – ГОСТ 9.049–91, стойкость в жидких средах ГОСТ 9.030–74, ГОСТ 9.068–76, ГОСТ 9.065–76, диэлектрические свойства – ГОСТ 6438.3–71.

Механические свойства резин: $\sigma_e \sim (10-60)$ МПа, $\varepsilon \sim (100-800) \%$, сопротивление раздиру $B (10-150) \frac{кН}{м}$, твердость $H \sim 30-35$.

14.2. Типы полимеров, используемых для изготовления резин

Основные компоненты резины.

Каучук натуральный (НК) или синтетический (СК).

НК – продукт коагуляции млечного сока (латекса) бразильской гевеи, по химстроению является продуктом полимеризации изопрена.

СК – продукт полимеризации однородных или разнородных мономеров углеводородного, нитрильного, сульфидного, силоксанового и других типов:

- бутадиеновый каучук (СКБ);
- бутадиен – стирольный (СКС) и бутадиен – α –метилстирольный каучук (СКМС);
- изопреновый (СКИ);
- хлоропреновый (наирит) (СР, КР, П, НП);
- бутадиен – нитрильный (СКН);
- бутилкаучук (изобутилен + (0,6-3) % изопрена);
- этиленпропиленовый (СКЭП, СКЭПТ);

- уретановый (СКУ);
- фторкаучук (СКФ);
- полисульфидный (тиокол) (Т, НВТ, НВБ);
- силоксановый (СКТ, СКТВ, СКТФТ).

14.3. Компонентный состав резин

Вулканизирующие агенты

Вулканизация – сшивка макромолекул каучука при нагреве под действием вулканизирующих агентов. Сшитый каучук имеет пространственно-сшитую структуру, от густоты сетки которой зависят физико-механические свойства резины.

Обычный вулканизатор – сера S дисперсностью (0,35–0,40) мкм. При содержании S до 5 % резины мягкие, при S до 30 % – это твердый материал – эбонит.

Ускорители вулканизации – тиурам, альтакс, гуанидины, активаторы – оксиды металлов цинка и магния.

Наполнители активные или усиливающие вводятся для придания специальных свойств и определённых физико-механических свойств (сажа, диоксид кремния (белая сажа), силикаты металлов). Наполнители инертные вводят для снижения стоимости резинотехнических изделий (РТИ), которые не оказывают существенного влияния на свойства резины (мел, каолин, тальк и др.).

Пластификаторы вводят в каучук для облегчения совмещения его с остальными компонентами резиновой смеси, повышения адгезии каучука к тканям, пластичности, придания специфических свойств (морозостойкости, эластичности, газопроницаемости и т. д.). В качестве пластификаторов используют парафины, эфирные кислоты, битумы, дибутилфтолат, растительные масла и др.

Для увеличения долговечности вводятся противостарители (антиоксиданты) (фенолы, воск, амины). Кроме этого в резины вводят антирады, красители.

Резины общего назначения работают в диапазоне температур – $50 < t < 250$ °С и выпускаются в виде листов, пластин, рулонов, шнуров и т. д.

Резины специального назначения выпускаются с учётом специфики воздействия окружающей среды и условий эксплуатации:

- теплостойкие (СКТ, СКТВ);
- масло-бензостойкие (наирит, СКП, СКУ);
- морозостойкие (СКБ, СКН, СКТ, СКС);
- стойкие к воздействию агрессивных сред (БК);
- свето-озоностойкие (СКФ, СКЭП, БК);
- износостойкие (СКУ);

- электротехнические (НК,СКБ,СКС, СКТ, БК) ($\rho_v = 10^{13} \dots 10^{12} \text{ Ом} \cdot \text{м}$);
- электропроводящие (НК, СКН) ($\rho_v = 10^4 \dots 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$);
- радиационные;
- вакуумные, вибро-, водо-, огнестойкие и т. д.

Механические свойства резин представлены в таблице 14.1.

Таблица 14.1. – Механические свойства резин

Каучук-основа	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Сопротивление раздиру, кН/м	Твердость по Шору
Изопреновый	15...35	300...800	20...150	30...95
Бутадиеновый	10...25	300...800	20...70	40...90
Бутадиен-стирольный	10...30	250...800	15...70	40...95
Бутадиен-нитрильный	10...30	200...700	25...85	35...95
Хлоропреновый	10...30	100...800	20...80	30...95
Бутиловый	8...23	200...800	20...80	35...90
Этилен-пропиленовый	10...25	100...800	20...60	30...95
Акрилатный	8...15	100...500	20...45	40...90
Фторсодержащий	10...25	100...450	15...60	50...90
Кремнийорганический	4...12	100...800	10...45	30...90
Полиуретановый	20...60	200...800	30...130	35...95

14.4. Эбонит

Эбонит – твердая резина с большим содержанием серы (до 35–40 %), обладает высокой химической стойкостью, твердостью, диэлектрическими свойствами, хорошо обрабатывается резанием, обладает высокими механическими свойствами, полируется. Подделочный эбонит выпускают в виде пластин, стержней, трубок для производства деталей радио- и телефонной аппаратуры, медицинского оборудования, аккумуляторных блоков, пробок, втулок, кранов путем формирования на шприцмашинах.

Радиометаллические изделия получают путем горячего и холодного крепления резины к металлу.

14.5. Порядок выполнения работы

14.5.1. Изучите эксплуатационные характеристики резин и их классификацию.

14.5.2. Подготовьте 10 образцов на растяжение из резинового шнура или резиновой ленты размером 80×5 мм. Нанесите на образце две метки, обозначив рабочую часть l_0 длиной 50 мм.

14.5.3. Растяните образцы до полной реализации упругой деформации и измерьте линейкой длину l образцов.

14.5.4. Найдите абсолютное удлинение $\Delta l = l - l_0$.

14.5.5. Рассчитайте относительную деформацию образцов $\varepsilon\% = \frac{\Delta l}{l_0} 100\%$.

14.5.6. Результаты измерений занесите в таблицу.

n_i	l_0 , мм	l_i , мм	Δl , мм	$\varepsilon\%$

14.5.7. Проведите математическую обработку результатов эксперимента в соответствии с алгоритмом, приведенным в разделе 2.7. лабораторной работы № 2.

14.6. Вопросы и задания для самоконтроля

14.6.1. Что называют резинами?

14.6.2. Приведите классификацию резин.

14.6.3. Перечислите основные компоненты резин и их назначение.

Лабораторная работа № 15

Композиционные материалы на основе полимеров.

Лакокрасочные покрытия

Цель работы: изучение лакокрасочных покрытий на основе полимеров, их классификации и области применения

Оснащение: образцы лаков, эмалей, грунтовок и шпатлевок.

Теоретические сведения

15.1. Лакокрасочные материалы

Лакокрасочные материалы – композиции, состоящие из пленкообразующего вещества, растворителей, наполнителей, пигментов и других компонентов, которые после нанесения и сушки образуют на поверхности изделия твердое покрытие.

15.2. Виды лакокрасочных покрытий

Основные функции лакокрасочных покрытий (ЛКП): защита металлических изделий от коррозии, неметаллических материалов от увлажнения, гниения, придание декоративных и специальных свойств.

Лаки – растворы природных или синтетических плёнкообразующих веществ в органических растворителях, образуют прозрачные покрытия.

Эмали – суспензии пленкообразующего вещества с пигментами, наполнителями и функциональными добавками, образуют после высыхания непрозрачные покрытия.

Грунты – основа, которую наносят на окрашиваемую поверхность для ее защиты от коррозии, создания хорошей сцепляемости с подложкой и последующими слоями ЛКП. Грунт – это плёнкообразующее вещество и 70–80 % пигментов, определяющих его антикоррозионные свойства.

Шпатлевки – композиции пастообразной консистенции из плёнкообразующего вещества, наполнителей и пигментов. Они применяются для выравнивания окрашиваемых поверхностей и исправления мелких дефектов толщиной слоя 0,4–10 мм.

Плёнкообразующие вещества – растительные масла, смолы, эфиры целлюлозы, растворимые в бензине, скипидаре, уайтспирите и других растворителях.

Пигменты придают эмалям цвет и укрывистость, т. е. способность перекрывать цвет подложки.

Это неорганические оксиды TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 и т.д.

Наполнители – мел, тальк, Al_2O_3 и другие улучшают малярно-технические свойства, под которыми подразумевают удобство работы с лакокрасочными материалами (плотность, наносимость, перелив, стекаемость), пластификаторы улучшают технологические свойства ЛКП. Сиккативы ускоряют высыхание лаков и эмалей. Стабилизаторы замедляют окисление и деструкцию.

15.3. Классификация лакокрасочных материалов по типу пленкообразующего материала и условиям эксплуатации

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) подразделяются на смоляные, эфирцеллюлозные, маслосодержащие, канифольные и т. д. Маркируют ЛКМ знаками пяти групп:

- первая группа знаков – лак, эмаль, грунт, шпатлёвка;
- вторая группа знаков – характеризует пленкообразующее вещество и обозначается двумя буквами:
 - канифольное – КТ;
 - битумно-масляное – БТ;
 - глифтальное – ГФ;
 - пенфталитовое – ПФ;

- фенольно-алкидное – ФА;
 - каучуковое – КЧ;
 - полиакриловое – АК, АС;
 - винилацетатное – ВА;
 - масляное – МА;
 - нитроцеллюлозное – НЦ;
 - перхлорвиниловое – ХВ, ХС;
 - третья группа определяет категорию по его преимущественному назначению и обозначается цифрой:
 - 1 – атмосферостойкий;
 - 2 – стойкий внутри помещения;
 - 3 – радиационностойкий;
 - 4 – водостойкий;
 - 5 – специальный (для кож, резин);
 - 6 – масло-бензостойкий;
 - 7 – химстойкий;
 - 8 – термостойкий;
 - 9 – электроизоляционный;
 - 0 – грунтовка;
 - 00 – шпатлевка;
 - четвертая группа определяет порядковый номер, присвоенный данной партии ЛКП и может содержать от одной до трех цифр;
 - пятая группа определяет цвет материала и пишется словами.
- Пример: ПФ-28 черная – эмаль пенфталевая, стойкая внутри помещений, номер 8, чёрная.

15.4. Буквенная классификация ЛКП

По эксплуатации ЛКП классифицируют и буквенно:

- стойкие внутри помещения – П ($t = 25 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$), $\varphi = (65 \pm 15) \%$);
- атмосферостойкие – А ($-60 < t < +60 \text{ }^\circ\text{C}$), φ до 85 %;
- химстойкие в агрессивных парах и газах – Х;
- стойкие к воздействию кислот – ХК;
- стойкие к воздействию щелочей – ХЩ
- водостойкие – В;
- стойкие к морской воде – ВМ;
- теплостойкие – Т₃₅₀ ;
- маслостойкие – М;
- бензостойкие – Б;
- электроизоляционные – Э.

15.5. Технология нанесения лакокрасочных покрытий

ЛКП образуются в результате последовательного нанесения на предварительно подготовленную поверхность грунта, шпатлёвки и одного или нескольких слоёв ЛКП (рисунок 15.1).



1 – два слоя лакокрасочного покрытия; 2 – слой шпатлёвки; 3 – слой грунта;
4 – покрываемая поверхность

Рисунок 15.1 – Лакокрасочные покрытия

Для обеспечения качественного лакокрасочного покрытия поверхность изделия тщательно готовится выравниванием, отчисткой от ржавчины, старой краски и заусенцев, обезжириванием, фосфатированием.

Механические способы отчистки заключаются в обработке поверхности металлическим песком, дробью, кварцевым песком с водой.

Химические способы отчистки включают обезжиривание, обработку поверхности металла солями фосфорной кислоты.

Термический способ очистки заключается в обработке их окислительным пламенем кислородно-ацетиловой горелки.

Нанесение ЛКП осуществляется кистью, распылением, окунанием, обливанием и другими способами.

Сушка ЛКП бывает без подогрева и горячая при $40 < t < 200$ °С.

15.6. Основные характеристики лакокрасочных материалов и покрытий

Вязкость характеризуют временем истечения 50 мл испытуемого материала через сопло вискозиметра ВЗ–4 при 20 °С (ГОСТ 8.420–81).

Укрывистость – способность ЛКП делать невидимым цвет покрываемой поверхности и определяют её количеством материала, необходимым для того, чтобы на пластине под слоем покрытия не были заметны предварительно нанесенные белые и черные полосы (определяется в г/м²).

Расход – массовое количество ЛКМ, необходимое для получения покрытия требуемой толщины и необходимыми физико-механическими свойствами (г/м^2).

Время высыхания (ГОСТ 19007–73) «от пыли», т. е. потери липкости, пристаивания пыли и время практического высыхания, т. е. достижения степени отверждения, при которой с деталью можно проводить дальнейшие технологические операции. Показатель высыхания – отсутствие прилипших к ЛКП волокон ваты после снятия груза $m = 200 \text{ г}$ и удаления ваты.

Характеристики ЛКП.

Адгезия определяется методом отслаивания и методом параллельных надрезов (ГОСТ 15140–78).

Толщина плёнки ЛКП измеряется магнитными измерителями толщины ИТП–1, ТПН–1У, ТЛКП, МТ–10Н, МТ–20Н, МИП–10 и др. и определяется силой притяжения магнита к ферромагнитной подложке, которая зависит от толщины немагнитной лаковой пленки $10 < d < 500 \text{ мкм}$.

Твёрдость определяют на маятниковом приборе МЭ–3 (ГОСТ 5233–89).

Прочность на удар на приборе У–1А (ГОСТ 4765–73) определяют по высоте падения груза $m = 1 \text{ кг}$, при которой не происходит разрушения ЛКП.

Эластичность определяют по шкале гибкости ШГ–1 (ГОСТ 6806–73) путём поочерёдного изгиба окрашенной стальной пластины вокруг стальных стержней $d = 1; 3; 5; 10; 15; 20 \text{ мм}$ и характеризуют толщиной стержня, при котором нет растрескивания ЛКП.

ЛКП характеризуют также термостойкостью, стойкостью к различным реагентам, атмосферостойкостью, сплошностью.

15.7. Порядок выполнения работы

15.7.1. Приготовьте заготовки длиной $320 \pm 10 \text{ мм}$, шириной $60 \pm 2 \text{ мм}$ и толщиной $25 \pm 1 \text{ мм}$ из древесины влажностью 7–12 %. Волокна древесины должны быть параллельны плоскости нанесения лакокрасочного покрытия.

15.7.2. Подготовьте поверхность заготовки к прозрачной отделке ручным шлифованием шлифшкуркой №№ 25, 20 и 16. Очистите поверхность заготовки щеткой или кистью от загрязнения и пыли.

15.7.3. Нанесите нитроцеллюлозный лак на поверхность тампоном (куском ваты, обернутым полотном). Лаком смачивают тампон, не погружая его весь в лак. Лак наносите в одном направлении вдоль волокон на всю длину заготовки за один проход. Каждый последующий проход кладите рядом, не оставляя непокрытых мест, потеков. Сразу дважды по одному и тому же месту проходить нельзя.

15.7.4. После первого покрытия поверхность просушите в течение 1–1,5 ч. и шлифуйте шлифшкуркой № 6 или № 5.

15.7.5. Операцию лакирования повторите 2–3 раза с выдержкой 1–1,5 ч. между нанесением до полного высыхания и промежуточным шлифованием.

15.7.6. Окончательное шлифование лакового покрытия осуществите шлифшкуркой № 3.

15.7.7. При использовании нитроцеллюлозного лака лакированную поверхность выдержите в течение 24 ч. смажьте уайт-спиритом, шлифуйте шлифшкуркой № 3 и протрите мягкой и чистой ветошью, смоченной в смеси этилового спирта (70 %) и растворителя № 646 (30 %). Для получения глянца обработайте поверхность 5–8 процентной нитроцеллюлозной политуры и обезжирьте пленки спиртом.

15.7.8. При лакировании масляным лаком лакированную поверхность полируют тампоном, смоченным в спирте для удаления следов шлифования и получения гладкой зеркальной поверхности, и протирают чистой фланелью.

15.7.9. Проведите контроль качества лакированной поверхности заготовки методом визуального осмотра.

15.7.10. В случае выявления дефектов проведите анализ их появления и при возможности устраните. При невозможности устранения дефектов повторите операцию лакирования в целом.

15.8. Вопросы и задания для самоконтроля

15.8.1. Что такое лакокрасочные материалы?

15.8.2. Каковы основные функции ЛКП?

15.8.3. Что делают для обеспечения качественного лакокрасочного покрытия поверхности?

15.8.4. Какими методами осуществляется нанесение ЛКП?

15.8.5. Перечислите характеристики лакокрасочных материалов и покрытий.

Лабораторная работа № 16

Строение и свойства металлов и сплавов. Классификация чёрных металлов

Цель работы: изучение строения, свойств и классификации металлов и сплавов, их использования в промышленности и учебном процессе в школьных мастерских.

Оснащение: образцы черных металлов и сплавов: чугуны, прокат, прутки, проволока, листовая металл, полосовой металл, оправка диаметром 6 и 12 мм, тиски, твердомер Бринелля, микроскоп МПБ–2, лупа.

Теоретические сведения

16.1. Строение металлов

Металлические и большинство неметаллических твердых материалов имеют кристаллическое строение. Характерным признаком кристаллического строения материалов является способность изделий, изготовленных из них, сохранять свою форму и оставаться твердыми при нагревании вплоть до критической температуры, при которой они переходят в жидкое состояние. Переход кристаллических тел из твердого в жидкое состояние и наоборот, совершается изотермически, т. е. при определенной температуре, называемой температурой плавления.

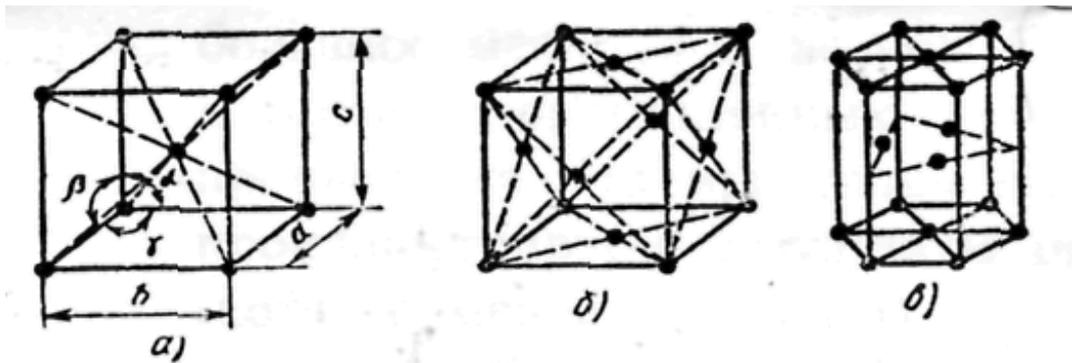
Элементарные частицы, из которых состоят кристаллические тела (атомы, ионы, молекулы), расположены в пространстве упорядоченно и образуют кристаллические решетки. В кристаллической решетке можно выделить элементарный объем, многократно повторяющийся из минимального числа элементарных частиц – элементарную ячейку.

Совокупность таких ячеек характеризует особенности строения кристаллического тела данного типа. Элементарные частицы в кристаллической решетке находятся во взаимодействии, характер которого зависит от их электронного строения. От характера этого взаимодействия зависят электрические, магнитные, тепловые и оптические свойства материала, его температура плавления и испарения, модуль упругости и другие свойства.

Все кристаллические тела образуют семь разновидностей кристаллических решеток, из которых для металлов наиболее характерны объемно-центрированная кубическая (ОЦК), гранецентрированная кубическая (ГЦК) и гексагональная плотноупакованная (ГПУ) (рисунок 16.1).

Для характеристики формы и размера элементарной ячейки кристаллической решетки используют шесть основных параметров: расстояния по осям координат a , b , c , называемые периодами решетки, и три угла α , β , γ между этими отрезками.

Свойства кристалла определяются не только типом кристаллической решетки, но и характером взаимодействия атомов, ионов и электронов между собой. При переходе паров металла в жидкость, а затем в твердое состояние его атомы сближаются настолько, что валентные электроны получают возможность переходить от одного атома к другому и свободно перемещаться таким образом по всему объему металла, обеспечивая высокую электро- и теплопроводность. Между электронами и положительными ионами возникают силы электрического взаимодействия.



a – объемно-центрированная кубическая; $б$ – гранецентрированная плотноупакованная; $в$ – гексагональная плотноупакованная

Рисунок 16.1. – Схемы кристаллических решеток

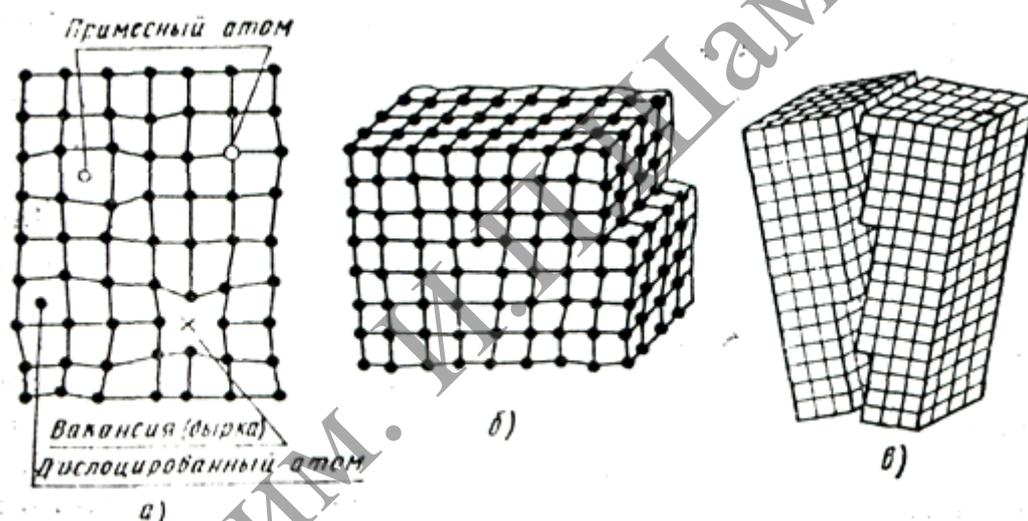
В зависимости от температуры и давления многие металлы могут образовывать различные типы кристаллических решеток. Эту способность металлов называют полиморфизмом, или аллотропией. Полиморфные превращения свойственны такому широко применяемому в машиностроении металлам, как Fe, Ti, Mn, Co, Sn. Например, железо при нагревании до температуры 910°C образует модификацию αFe с ОЦК-решеткой, в интервале $910\text{-}1400^{\circ}\text{C}$ – модификацию γFe с ГЦК-решеткой и свыше 1400°C – модификацию βFe с решеткой ОЦК. Это явление используют в технике для улучшения обрабатываемости металлов, при их термообработке и других процессах.

Всем кристаллам присуща анизотропия, т. е. неравномерность свойств в различных направлениях, определяемая различными расстояниями между атомами в кристаллической решетке. Наиболее сильно анизотропия выражена у металлов, имеющих асимметричное кристаллическое строение. От направления действия сил в кристалле существенно зависят такие показатели физических свойств, как прочностные характеристики, модуль упругости, термический коэффициент расширения, коэффициенты тепло- и электропроводности, показатель светового преломления и др. Анизотропия характерна и для поверхностных слоев кристаллов. Такие свойства, как поверхностное натяжение, электронные потенциалы, адсорбционная способность, химическая активность, существенно различны у различных граней кристалла.

Строение и свойства реальных кристаллов отличаются от идеальных, представленных на рисунке 16.1, вследствие наличия в них дефектов, которые подразделяются на поверхностные и внутренние. Реальный единичный кристалл обладает свободной наружной поверхностью, на которой уже вследствие поверхностного натяжения решетка искажена. Это искажение может распространяться и на прилегающую к поверхности зону.

Дефекты внутреннего строения подразделяют на нульмерные (точечные), одномерные (линейные) и двумерные (развитые в двух направлениях).

К *точечным дефектам* относятся: вакансии в случае, когда отдельные узлы кристаллической решетки не заняты атомами; дислоцированные атомы, когда отдельные атомы оказываются в междуузлиях; примесные атомы, количество которых даже в чистых металлах весьма велико. Около таких дефектов решетка будет упругоискаженной на расстоянии одного-двух ее периодов (рисунок 16.2, *а*). Хотя относительная концентрация точечных дефектов может быть невелика, она вызывает чрезвычайно большие изменения физических свойств кристалла. Например, тысячные доли примесей к чистым полупроводниковым кристаллам изменяют их электрическое сопротивление в 10^5 – 10^6 раз.



а – точечные; *б* – линейные; *в* – двумерные (плоскостные)

Рисунок 16.2. – Дефекты кристаллической решетки

Линейные дефекты малы в двух измерениях кристаллической решетки и достаточно велики в третьем. К таким дефектам относятся смещения атомных плоскостей или дислокации и цепочки вакансий (рисунок 16.2, *б*). Основным свойством таких дефектов является их подвижность внутри кристалла и активное взаимодействие между собой и с другими дефектами.

Плотность дислокаций в кристаллах велика: в недеформированных кристаллах их число на 1 см^3 достигает 10^6 – 10^8 ; при пластическом деформировании возникают новые дислокации и их число увеличивается в тысячи раз.

Двухмерные дефекты характерны для поликристаллических материалов, т. е. для материалов, состоящих из большого числа мелких кристаллов, различно ориентированных в пространстве.

Граница сросшихся при затвердевании кристаллов представляет собой тонкую (толщиной до 10 атомных диаметров) зону с нарушенным порядком в расположении атомов. В поликристаллическом теле границы отдельных кристаллов имеют криволинейные поверхности разделов, а сами кристаллы – неправильную форму. Поэтому их в отличие от правильно ограниченных кристаллов называют кристаллитами, или зёрнами.

Зёрна поликристалла при затвердевании растут из различных центров кристаллизации, и ориентация осей кристаллических решеток соседних зёрен различна. Зерно металла состоит из отдельных блоков, ориентированных по отношению друг к другу под небольшим углом. Границы между ними представляют собой обычно скопления дислокаций (рисунок 16.2, в). Поверхностные дефекты малы только в одном направлении; в двух других они могут достигать размера кристаллита.

Влияние дефектов строения на свойства материала огромно. Например, прочность реальных кристаллов на сдвиг из-за наличия дефектов строения уменьшается на три-четыре порядка, по сравнению с той же характеристикой идеального кристалла. Влияние дефектов строения на прочностные характеристики металлов неоднозначно. Из представленной на рисунок 16.3 зависимости видно, что прочность практически бездефектных кристаллов – «усов» очень высока.

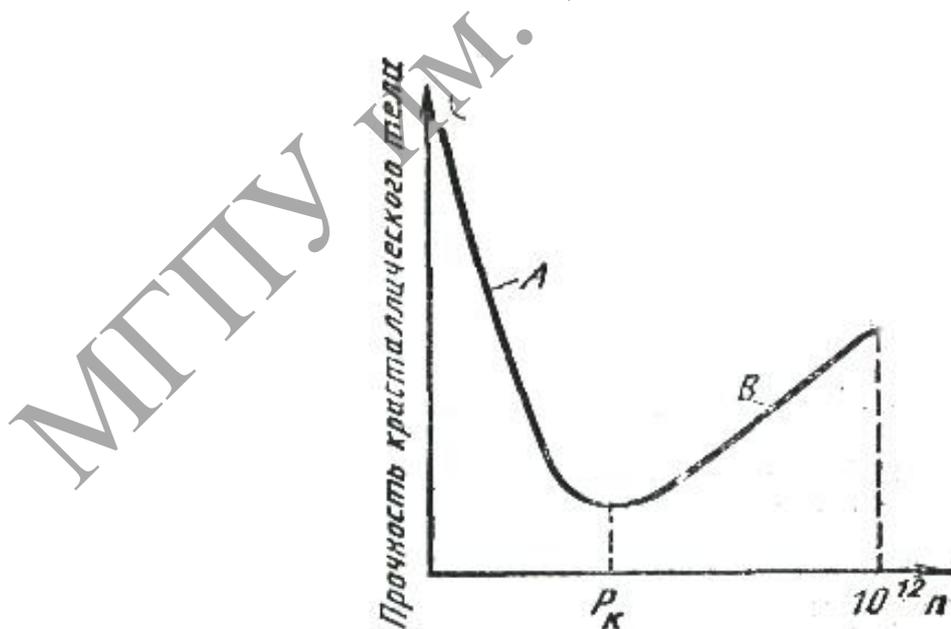


Рисунок 16.3. – Зависимость прочности кристаллического тела от плотности дефектов строения

Увеличение числа n дефектов строения в 1см^3 приводит к резкому снижению прочности (ветвь A). Точка P_k характеризует прочность металлов, которые принято называть «чистыми». Дальнейшее увеличение дефектов, например, введением легирующих примесей или методами специального искажения кристаллической решетки, повышает реальную прочность металлов (ветвь B). Для создания наиболее прочных материалов стараются получить оптимальное число дефектов. Наибольшее упрочнение достигается при плотности дислокаций 10^{12} – 10^{13} на 1 см^3 .

Дефекты не только оказывают влияние на прочностные характеристики, но и играют большую роль в процессах диффузии и самодиффузии, которые во многом определяют скорости протекания химических реакций в твердом теле, а также ионную проводимость кристаллов.

16.2. Строение сплавов

В технике значительно чаще применяют не чистые металлы, а сплавы, состоящие из двух или нескольких элементов, называемых компонентами.

Компонентами сплавов могут быть как чистые элементы, так и химические соединения. Широкое применение сплавов в качестве машиностроительных материалов можно объяснить тем, что они обладают разнообразным комплексом свойств, которые можно изменять путем изменения числа и вида компонентов, а также с помощью термической обработки или обработки других видов. При сплавлении компоненты образуют в сплаве фазы – однородные объемы, разграниченные друг от друга поверхностями раздела – границами, при переходе через которые свойства могут изменяться скачкообразно. В сплавах образуются следующие основные фазы: твердые растворы, химические соединения и механические смеси.

Механическая смесь получается при отдельной кристаллизации компонентов. Структура сплавов состоит из кристаллов вещества A и B , которые совершенно нерастворимы друг в друге. Под микроскопом видны зерна отдельных металлов, рентгеноструктурный анализ показывает наличие двух типов кристаллической решетки. Подобные сплавы образуют медь и свинец, свинец и сурьма, олово и цинк, алюминий и кремний. Тип сплава «механическая смесь» может быть представлен на диаграмме (рисунок 16.4).

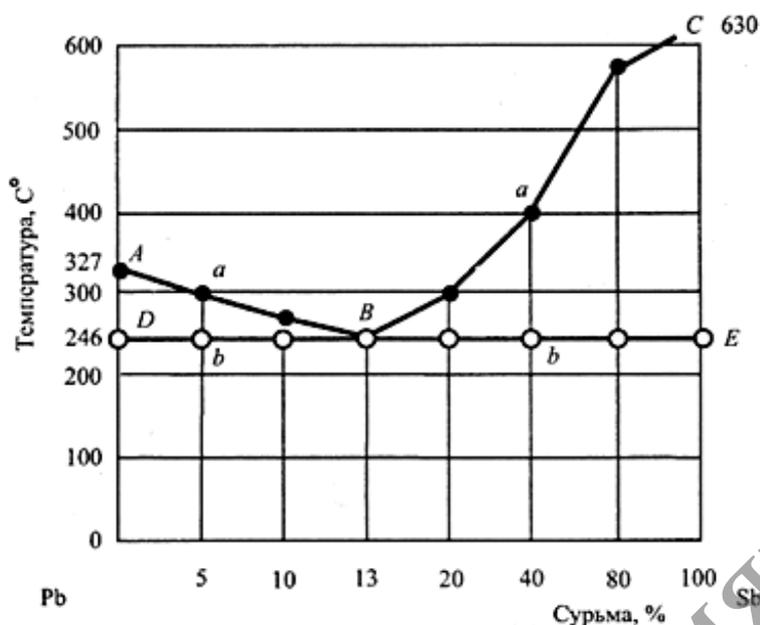


Рисунок 16.4. – Диаграмма состояния системы сплавов свинец (Pb) – сурьма (Sb)

Верхняя линия ABC соответствует началу кристаллизации и называется *линией ликвидуса* («ликва» – жидкость, лат.), нижняя – горизонтальная линия DBE , соответствующая концу кристаллизации, образует линию *солидуса* («солид» – твердый).

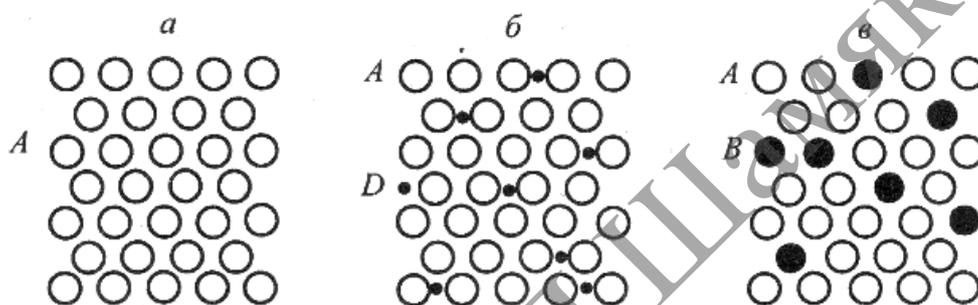
Выше линии ликвидуса сплавы находятся в жидком состоянии. Между линиями ликвидуса и солидуса идет процесс кристаллизации, и сплавы состоят из твердой и жидкой фаз. Ниже линии солидуса сплавы состоят из твердой фазы.

Сплав «твердый раствор» образуется в тех случаях, когда атомы обоих металлов способны растворяться один в другом не только в расплавленном состоянии, но и после затвердевания. Под микроскопом видны зерна одного вида металла, рентгеноструктурный анализ показывает один тип кристаллической решетки одного из компонентов сплава. Атомы другого (или других) компонента располагаются в решетке первого компонента в двух вариантах в зависимости от размеров диаметров атомов соединяемых металлов. Так, если атомные диаметры обоих компонентов близки по величине (не превышая 15 %), то образуется твердый раствор замещения, у которого атомы растворенного компонента замещают часть атомов растворителя в его кристаллической решетке (рисунок 16.5 в).

Если диаметры атомов одного из компонентов больше растворяющегося в нем компонента, образуются твердые растворы внедрения. В твердых растворах внедрения атомы растворенного компонента располагаются между атомами кристаллической решетки растворителя,

там, где для них имеется больше свободного пространства (рисунок 16.5 б). Твердые растворы внедрения могут образоваться при совместной кристаллизации металла с неметаллом, например, железа с углеродом. Эти сплавы могут быть с неограниченной и с ограниченной растворимостью.

Сплавы «*твердые растворы*» с неограниченной растворимостью образуются из компонентов, обладающих одинаковыми кристаллическими решетками, у которых атомные размеры компонентов различаются не более чем на 8–15 %. Эти компоненты имеют близкое строение валентной оболочки электронов в атомах. Неограниченно растворяются в твердом состоянии следующие металлы: Ag и Au, Ni и Pd, Ni и Cu, Mo и W, V и Ti. Твердые растворы внедрения имеют ограниченную концентрацию, поскольку число пор в решетке ограничено.



a – чистый элемент *A*; *б* – твердый раствор элемента внедрения *D* в элементе *A*;
в – твердый раствор замещения элемента *B* в элемент *A*

Рисунок 16.5. – Схема расположения атомов в твердых растворах

Сплавы «*твердые растворы*» в отличие от механических смесей являются однородными.

Сплавы «*химическое соединение*» образуются между компонентами, имеющими большое различие в электронном строении атомов и кристаллических решеток. Кристаллическая решетка сплавов «*химическое соединение*» отличается от решеток компонентов, образующих соединение. Свойства сплава «*химическое соединение*» резко отличаются от свойств образующих его компонентов, так как представляет собой новое вещество. Диаграмма состояния сплава «*химическое соединение*» состоит из двух диаграмм с двумя эвтектиками.

Форма кристаллов, в виде которых находятся разные фазы в сплаве, определяет структуру сплава. Как правило, в многокомпонентных металлических сплавах можно одновременно встретить фазы трех видов. Вероятность появления дефектов кристаллического строения у сплавов существенно выше, чем у однородного металла. Направленным изменением сочетания компонентов в сплавах можно изменять число дефектов строения и, следовательно, управлять их физико-механическими характеристиками.

16.3. Классификация черных металлов

Черные металлы представляют собой сплав железа с углеродом. Кроме углерода черные металлы в небольшом количестве могут содержать кремний, марганец, фосфор, серу и другие химические элементы. Для придания черным металлам специфических свойств к ним добавляют легирующие вещества – медь, никель, хром и др. Черные металлы в зависимости от содержания углерода подразделяют на чугуны и стали.

16.3.1. Классификация сталей

Сталь – сплав железа с углеродом с содержанием последнего не более 2,14 % как наиболее широко применяемый материал, представлена в современной технике наибольшим числом марок и классифицируется по следующим главным признакам.

По химическому составу.

Классификация применяется преимущественно для конструкционных сталей, и различают стали углеродистые, хромистые и т.д. или сложные (четверные) – хромоникелевые, хромокремнистые и еще более сложные. Для других сталей – инструментальных, жаропрочных, с особыми физическими или химическими свойствами классификация по химическому составу используются меньше.

По способу производства.

Стали обыкновенного качества или общего назначения.

По химическому составу – это углеродистая сталь, содержащая до 0,6 % С. Сталь выплавляется в конвертерах с применением кислорода или в больших мартеновских печах, разливается в крупные слитки (а также способом непрерывной разливки) и является поэтому более дешевой. Эти стали могут иметь повышенное содержание серы и фосфора: допускается до 0,05–0,060 % серы и 0,04–0,070 % фосфора.

Стали качественные. По химическому составу это углеродистые или легированные стали, выплавляемые в конвертерах с использованием кислорода для продувки и в основных мартеновских печах с соблюдением более строгих требований к составу шихты, процессам плавления и разливки. Содержание серы и фосфора в качественных сталях не должно превышать (в зависимости от марки) 0,035 % каждого. Неметаллических включений в этих сталях меньше, чем в сталях обыкновенного качества. Колебания в содержании углерода в пределах марки не должно превышать 0,08 %.

Стали высококачественные. По химическому составу – главным образом легированные, выплавляемые преимущественно в электрических, а также, в кислых мартеновских печах. Содержание серы и фосфора в высококачественных сталях еще меньше и не превышают 0,025 % каждого. Стали имеют также повышенную чистоту по неметаллическим

включениям. Колебания в содержании углерода в пределах марки должны быть не более 0,07 %, т. е. в более узких пределах, чем для качественных сталей.

Стали особо высококачественные. Выплавляются в электрических печах с электрошлаковым переплавом (или другими совершенными методами) и имеют наименьшее содержание фосфора и серы (до 0,015 %). Содержание углерода и легирующих элементов такое же, как и в соответствующих марках высококачественных сталей.

По применению.

Различают классы сталей: строительные, машиностроительные (конструкционные), машиностроительные специализированного назначения, инструментальные, с особыми физическими свойствами, с особыми химическими свойствами (устойчивые против коррозии).

Стали строительные – углеродистые, а также некоторые низколегированные стали, имеющие высокое содержание углерода.

Стали машиностроительные (конструкционные) общего назначения широко применяются для изготовления разнообразных деталей (валы, оси, червячные колеса и т. п.) практически во всех областях машиностроения: автомобильной, тракторной, станкостроения и др.

Стали и сплавы машиностроительные специального назначения.

Оцениваются не только по механическим свойствам при 20 °С, как и стали общего назначения, но и по ряду других свойств, определяемых условиями эксплуатации низкая или высокая температура. Наличие агрессивных сред) и ряду технологических качеств.

Стали особо высокой прочности и вязкости (мартенситно – стареющие) упрочняются в результате мартенситного превращения при закалке и дисперсионного твердения при отпуске (старении).

16.3.2. Классификация чугунов

Чугун представляет собой сплав железа с углеродом с содержанием последнего от 2,14 до 6,67,3 %. Присутствующие в чугуне кремний, марганец, фосфор и сера существенно влияют на его свойства: сера и фосфор повышает хрупкость чугуна, а специальные присадки хрома, никеля, магния, алюминия и кремния придает чугуну более высокие жаростойкость, износостойкость, повышенную сопротивляемость коррозии.

Чугун с добавкой указанных веществ называется легированным. В зависимости от формы, в которой углерод находится в чугуне, различают чугуны серые (литейные) и белые (передельные). В серых чугунах углерод находится в свободном состоянии в виде графита, а в белом в связанном состоянии в виде цемента. Пластинки графита, перерезают металлическую структуру чугуна, понижают его прочность.

Модифицированный серый чугун имеет более высокие механические свойства благодаря шаровидной и раздробленной форме графита.

Чугуны – наиболее широко применяемый материал для литых деталей, используемых при относительно высоких и малых динамических нагрузках. Преимущество чугуна – высокие литейные свойства и небольшая стоимость (по сравнению со сталью). Температура плавления чугуна значительно ниже (на 300–400°C), чем у стали, что облегчает процесс литья. Чугун с графитом как мягкой и хрупкой составляющей хорошо обрабатывается резанием (с образованием ломаной стружки).

Механические свойства чугуна, определяющие область его применения, в значительно большей степени характеризуется его структурой: формой и размерами выделения графита; строением металлической основы. По этому признаку различают следующие чугуны.

Серый чугун. В структуре серых чугунов присутствует графит пластичной формы. Отливки из этого чугуна получают в земляных и металлических (чугунных) формах – кокилях. Из-за сравнительной простоты отливки серые чугуны были самым распространённым видом. Однако их механические свойства (особенно пластичность) ниже, чем у других чугунов с графитом. Серые чугуны используют для менее ответственного назначения и при отсутствии ударных нагрузок.

Ковкий чугун имеет структуру графита хлопьевидной формы и в связи с этим более высокие механические свойства, прежде всего пластичность.

16.4. Технологические пробы. Определение предела прочности

В школьных учебных мастерских используется листовая и полосовая металл, пруток, проволока, из которого ученики изготавливают различные изделия (кольца для штор, подставки под горячее, чертилки, вешалки, дверные ручки, флюгера, совки, жетоны, урны, коробочки, ушки навесные, уголки оконные и др.). Поэтому при подготовке учителей трудового обучения, при изучении металлов и сплавов, целесообразно применять испытания – *технологические пробы*, для выявления способности металла к различным видам деформации, которым он подвергается при создании изделий в учебных мастерских.

Определение прочностных характеристик металлов (предел прочности при растяжении σ_B) целесообразно осуществлять, используя неразрушающие методы контроля твёрдости по Бринеллю *НВ* и корреляционную зависимость между твёрдостью *НВ* и пределом прочности σ_B .

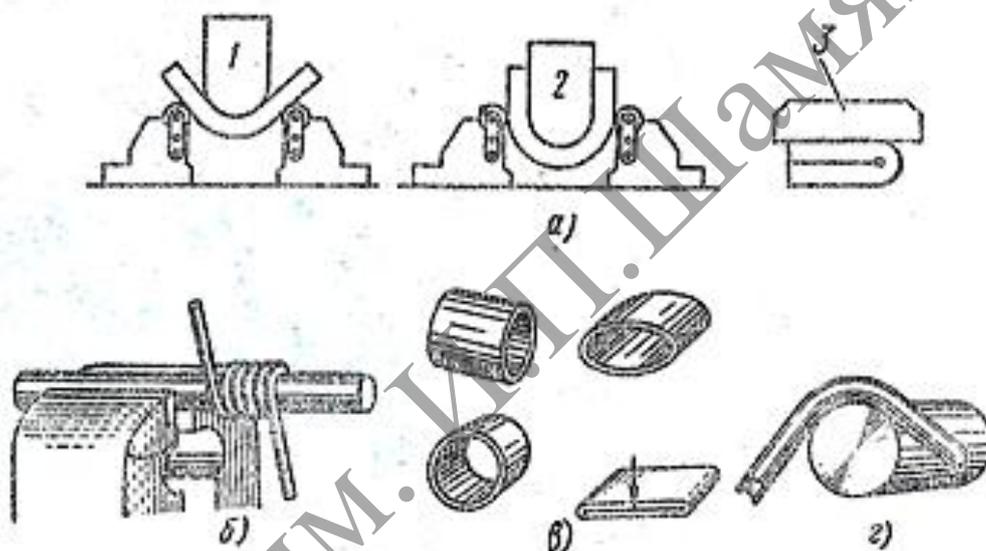
Технологическими пробами называются испытания металлов, выполняемые несложными способами и без измерения наблюдаемых свойств (рисунок 16.6).

Качество металла по технологическим пробам определяется по внешнему виду после испытания (отсутствие надрывов, трещин, расслоения или излома свидетельствует о том, что металл выдержал пробу).

Проба на загиб служит для определения способности металла (листов, прутков, различных профилей и т. д.) принимать заданный по размерам и форме загиб без надрывов и трещин.

Проба на загиб применяется для пластических металлов при толщине не более 30 мм и производится в нагретом или холодном состоянии.

Различают загиб на *определенный угол, до параллельности загнутых сторон или до соприкосновения сторон* (см. рисунок 16.6, а).



а – на загиб; 1 – на определенный угол; 2 – до параллельности сторон;
3 – до соприкосновения сторон; б – на навивание проволоки;
в – на сплющивание; г – на загиб труб

Рисунок 16.6. – Технологические пробы

Для проведения пробы на загиб применяют специальные машины, прессы, тиски с закругленными губками. Образцы, выдержавшие пробу, не должны иметь после загиба надлома, надрывов или трещин.

Проба на перегиб служит для определения способности металла выдерживать повторный загиб и разгиб и применяется при испытании качества полосового и листового материала длиной 100–150 мм, шириной до 20 мм и толщиной до 5 мм, а также проволоки и прутков диаметром от 0,8 до 7 мм.

Проба проводится только в холодном состоянии. Проба состоит в загибе и разгибе образца в плоскости, перпендикулярной линии взаимного касания губок прибора, в котором образец зажимается в вертикальном положении. Загиб образца производится попеременно в правую и левую сторону на 90° с равномерной скоростью не более 60 перегибов в минуту до определенного числа перегибов, указанного в технических условиях.

Проба на перегиб имеет важное значение для оценки способности к деформированию проволоки, при испытании которой на разрыв невозможно определить это свойство.

Проба на навивание проволоки позволяет определить способность проволоки диаметром до 6 мм принимать заданную форму. Кусок проволоки (рисунок 16.6, б) навивают на круглый стержень (оправку) 5–10 витками. Качество проволоки определяется способностью выдерживать без повреждений навивание плотно прилегающими витками на стержень и развивание в холодном состоянии. Чем пластичнее проволока, тем плотнее будет ее прилегание к стержню.

Проба труб на сплющивание (рисунок 16.6, в) производится для определения качества труб по их свойству сплющиваться без повреждений под давлением прессы, молота или от ударов молотка до предела, установленного техническими условиями. Длина образца выбирается равной диаметру трубы. В зависимости от технических условий испытание может производиться в холодном и горячем состоянии. Признаком того, что образец выдержал испытание, служит отсутствие в нем после сплющивания трещин или надрывов.

Проба труб на загиб применяется для определения способности образца трубы загибаться без повреждений. Испытание состоит в том, что заполненную сухим чистым речным песком трубу изгибают вокруг оправки на угол 90° . После загиба (рисунок 16.6, г) труба не должна иметь надрывов, трещин, отслоений и других дефектов. Диаметр оправки определяется техническими требованиями.

16.5. Порядок выполнения работы

16.5.1. Изучите теоретический материал по строению и свойствам металлов и сплавов.

16.5.2. Осуществите технологическую пробу на загиб на 90° , до параллельности сторон и загиб до соприкосновения сторон образцов листового металла размерами $100 \times 20 \times 2$ мм и прутка диаметром 2–5 мм. Результаты внешнего осмотра внесите в таблицу 16.1.

Таблица 16.1

Материал	Результаты внешнего осмотра		
	Загиб на 90°	Загиб до параллельности сторон	Загиб до соприкосновения сторон
Листовой металл			
Пруток			

16.5.3. Осуществите технологическую пробу на перегиб листового металла размером 100×20×2 мм и прутка диаметром 2–5 мм. Результаты испытаний внесите в таблицу 16.2.

Таблица 16.2

Материал	Результаты внешнего осмотра		
	Количество перегибов		
	1	3	До разрушения
Листовой металл			
Пруток			

16.5.4. Осуществите технологическую пробу на навивание проволоки на круглый стержень (оправку) и оцените качество навивания. Результаты испытаний занесите в таблицу 16.3.

Таблица 16.3

Материал	Результаты внешнего осмотра	
	Оправка Ø 6 мм	Оправка Ø 12 мм
Проволока Ø 1 мм		
Проволока Ø 2 мм		

16.5.5. Осуществите технологическую пробу стальной трубы на сплюсывание. Результаты испытаний занесите в таблицу 16.4.

Таблица 16.4

Материал	Результаты внешнего осмотра	
Труба Ø 15 мм		
Труба Ø 20 мм		

16.5.6. Определите предел прочности стали при растяжении (временное сопротивление разрыву σ_B) используя метод измерения твёрдости по Бринеллю HB .

Способ Бринелля основан на вдавливании в испытываемую поверхность стального закалённого шарика. Число твёрдости HB – это отношение нагрузки, действующей на стальной шарик, к площади поверхности сферического отпечатка.

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{H}{\text{мм}^2} \text{ (МПа)}$$

Для определения площади S измеряют диаметр отпечатка и подсчитывают площадь по формуле:

$$S = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \quad \text{мм}^2$$

$F = P g$ – сила (Н), где $g = 9,8 \text{ м/с}^2$;

D – диаметр шарика (мм);

d – диаметр отпечатка (мм) (рисунок 16.7).

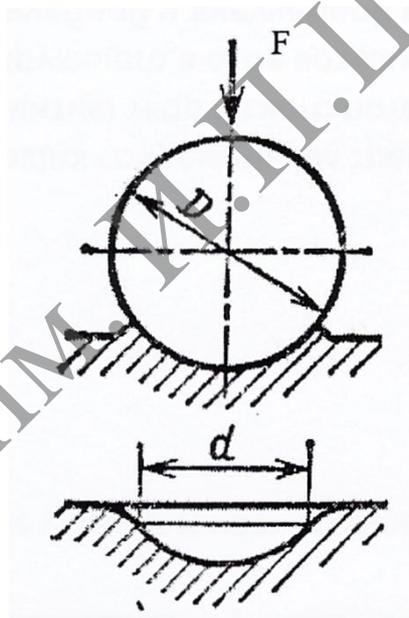
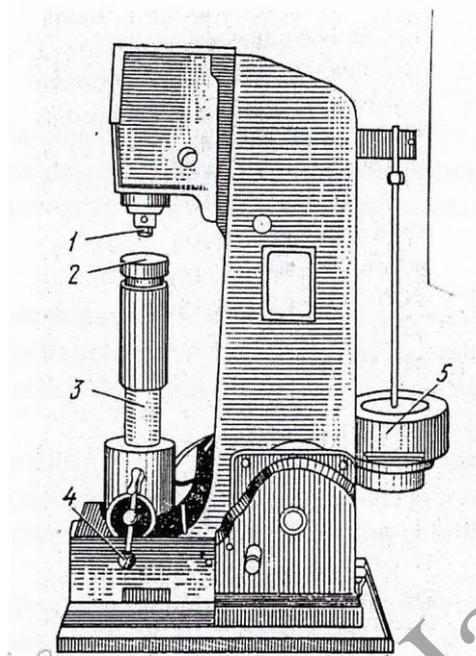


Рисунок 16.7. – Схема испытания на твёрдость

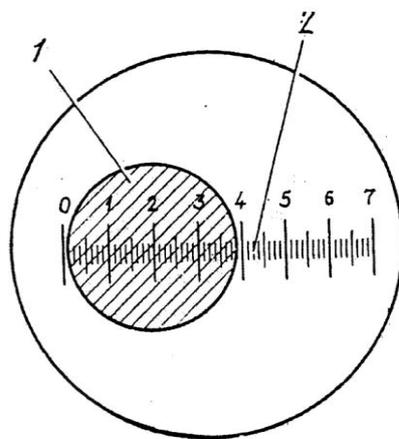
Твёрдость по способу Бринелля определяют на специальном рычажном прессе (рисунок 16.8).

Испытываемый образец устанавливают на столике 2 и вводят его в соприкосновение со стальным шариком 1. Включив двигатель пресса, создают нужное давление нагрузкой для чёрных металлов 3000 кг, для цветных металлов – 1000 кг.



1 – оправка с шариком; 2 – столик; 3 – винт; 4 – рукоятка; 5 – груз
Рисунок 16.8. – Рычажный пресс определения твёрдости

Для испытания используют стальные закалённые шарики диаметрами 2,5, 5 и 10 мм. Нагрузку прикладывают плавно, повышая её до требуемой величины. Доведя нагрузку до необходимой величины, выдерживают её в течение 10–15 с (для чёрных металлов), 10–180 с (для цветных металлов), а затем снимают и измеряют диаметр отпечатка d , после этого рассчитывают твёрдость испытываемого материала. Для точного измерения диаметра отпечатка пользуются микроскопом, если его нет, то измеряют при помощи специальной лупы (рисунок 16.9):



1 – лунка; 2 – мерная сетка (диаметр отпечатка $d = 3,9$ мм)

Рисунок 16.9. – Лупа с мерной сеткой

16.5.6.1. Проведите испытание (не менее 3-х измерений для каждого образца). По окончании испытания измерьте диаметры отпечатков в двух взаимно перпендикулярных направлениях микроскопом МПБ–2. Результаты испытаний занесите в таблицу 16.5.

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

где d_1 и d_2 – диаметры отпечатков в двух взаимно перпендикулярных направлениях (мм).

Таблица 16.5

№ образца	Наименование материала образца	Условия испытания			Диаметр отпечатка, мм			НВ, Н/мм ² (МПа)	σ_b , Н/мм ² (МПа)
		D , мм	P , кг	Время выдержки, с	d_{1s} , мм	d_2 , мм	d_{cp} , мм		
1	Сталь	10	3000	10					
2	Медный сплав	10	1000	30					
3	Алюминиевый сплав	10	1000	60					

16.5.6.2. Сравните среднее значение твёрдости найденной по таблице «Определение чисел твердости НВ» (по ГОСТ 9015–59) с вычисленной по формуле.

16.5.6.3. Учитывая корреляционную зависимость между твёрдостью HV по Бринеллю и пределом прочности при растяжении σ_b , где для стали $\sigma_b = 0,35HV$, для медного сплава $\sigma_b = 0,5HV$ и для алюминиевого сплава $\sigma_b = 0,4HV$ определите σ_b для стали.

16.6. Вопросы и задания для самоконтроля

16.6.1. Что представляет собой элементарная ячейка кристаллической решетки?

16.6.2. Какие виды кристаллических решеток характерны для металлов?

16.6.3. Какие физические свойства зависят от направления действия сил в кристалле?

16.5.4. Перечислите виды дефектов кристаллической решетки.

16.5.5. Какое влияние оказывают дефекты кристаллической решетки на механические свойства тела?

16.5.6. Что представляет собой граница раздела между кристаллитами в поликристаллах?

16.5.7. Перечислите виды фаз, образуемые в сплавах.

Лабораторная работа № 17 **Цветные металлы и сплавы**

Цель работы: изучение свойств цветных металлов и сплавов, классификации и использования в промышленности, народном хозяйстве, в учебном процессе в школьных мастерских.

Оснащение: образцы изделий и деталей из цветных металлов и сплавов.

Теоретические сведения

17.1. Классификация цветных металлов

Цветные металлы – медь, алюминий, магний, титан, свинец, цинк и олово – обладают ценными свойствами и поэтому широко применяются в промышленности, несмотря на относительно высокую стоимость.

Однако в тех случаях, когда это возможно, цветные металлы заменяют черными или неметаллическими материалами – пластмассами.

Цветные металлы по разным признакам делятся на подгруппы:

- тяжелые, имеющие плотность больше 5 г/см^3 (цинк, медь, олово, свинец, серебро, золото и др.);
- легкие, имеющие плотность до 5 г/см^3 (литий, натрий, магний, калий, алюминий и др.);
- тугоплавкие, температура плавления которых выше, чем у железа (ниобий, молибден, вольфрам, и др.);
- легкоплавкие (цезий, галлий, калий, натрий, олово, свинец и др.);
- редкие (молибден, вольфрам, ванадий и др.);
- благородные (золото, серебро, платина, палладий и др.).

17.1.1. Медь

Медь – розовато-красный металл плотностью $8,9 \text{ г/см}^3$, температурой плавления $1083 \text{ }^\circ\text{C}$. Медь по применению в промышленности занимает одно из первых мест среди цветных металлов. Высокие пластичность, электро- и теплопроводность, повышенная коррозионная стойкость – ценнейшие свойства меди. Вследствие высокой электропроводности медь – лучший металл для электромашиностроения, изготовления кабелей и проводов для передачи электроэнергии. Медь служит основой для

изготовления различных сплавов, широко применяемых в машиностроении. Наибольшее применение получили сплавы меди, содержащие цинк, олово, алюминий, кремний, бериллий, никель, марганец.

По химическому составу медные сплавы подразделяют на латуни, бронзы, медно-никелевые сплавы.

По изменению прочности их делят на упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой.

По технологическому признаку медные сплавы делят на деформируемые и литейные. Сплавы меди с цинком называются латунями.

Латуни – твердые пластичные сплавы желтого цвета, содержащие до 47 % цинка. По сравнению с чистой медью латуни имеют большую прочность, пластичность и твердость, они более жидкотекучи и коррозионностойки. Кроме простой латуни, вырабатывают специальные латуни с добавками железа, марганца, никеля, олова, кремния и др. Количество легирующих компонентов в специальных латунях не превышает 7–8 %. Специальные латуни имеют повышенные механические свойства; некоторые из них по прочности не уступают среднеуглеродистым сталям.

Согласно стандарту, латуни обозначаются буквой Л и цифрой, указывающей количество меди в сплаве. Например, марка Л96 обозначает латунь, содержащую около 96 % меди, марка Л62 – латунь, содержащую около 62 % меди, и т. д. Обозначение легирующих компонентов следующее: Ж – железо; Мц – марганец; Н – никель; О – олово; К – кремний; С – свинец. Количество легирующего компонента указывается цифрами. Например, марка ЛМцЖ52–4–1 обозначает марганцово-железную латунь, содержащую около 52 % Си, 4 % Мп и 1 % Fe (остальное – цинк).

Латуни, как и все сплавы цветных металлов, принято разделять на литейные (применяемые для фасонного литья) и подвергаемые обработке давлением. Латунь применяют для изготовления листов, проволоки, гильз, всевозможной литой и штампованной арматуры, посуды (таблица 17.1).

Алюминиевым латуням свойственны повышенные показатели механических свойств и коррозионная стойкость. Кремнистые латуни имеют высокую коррозионную стойкость в атмосферных условиях и морской воде. Марганцевые и оловянные латуни имеют высокую коррозионную стойкость в морской воде, свинцовые латуни имеют повышенные антифрикционные характеристики.

Бронзы – это сплавы меди с цветными металлами, кроме цинка. Важнейшими бронзами являются оловянные, алюминиевые, кремнистые, никелевые (таблица 17.2).

Таблица 17.1. – Распространенные марки латуни

Наименование	Марка	Назначение
<i>Латуни, обрабатываемые давлением</i>		
Томпак Латунь	Л96 Л68	Радиаторные трубки Полосы, листы, ленты, трубы и проволока
Свинцовая латунь Кремнистая латунь	ЛС74–3 ЛК80–3	Полосы, ленты, прутки Поковки и штамповки, арматура
<i>Литейные латуни</i>		
Алюминиевая латунь Марганцово-свинцовая латунь Марганцово-железная латунь	ЛА67–2,5 ЛМцС58–2–2 ЛМцЖ55–3–1	Коррозионностойкие детали Подшипники, втулки и другие антифрикционные детали Арматура, детали для морского судостроения

Таблица 17.2. – Некоторые марки бронзы и их назначение

Наименование	Марка	Назначение
Оловянно-цинковая бронза (обрабатываемая давлением)	БрОЦ4–3	Ленты, полосы, прутки, про- волока для пружин и др.
Оловянно-цинково-свинцо- вая бронза (литейная)	БрОЦС5–5–5	Вкладыши подшипников
Оловянно-цинково-свинцово- никелевая бронза (литейная)	БрОЦСН3–7–5–1	Арматура, устойчивая в морской воде, а также ра- ботающая под давлением до 25 атм
Алюминиевая бронза (обра- батывается давлением)	БрА5	Монеты, ленты, полосы
Алюминиево-железно-свин- цовая бронза (литейная)	БрАЖС7–1,5–1,5	Отливки с высокими тре- бованиями по чистоте по- верхности после обработки резанием
Кремне-марганцевая бронза (обрабатывается давлением)	БрКМц3–1	Проволока, прутки, ленты

Оловянные бронзы, подобно латуни, по структуре бывают однофазными (до 8 % Sn), представляющими твердый раствор олова в меди, и двухфазными (8–22 % Sn), содержащими смесь кристаллов названного твердого раствора и кристаллов химического соединения Cu_3Sn . Бронзы с содержанием более 22 % Sn хрупки. Олово – дорогой металл, поэтому в практике бронзы с повышенным содержанием олова применяются редко. Оловянные бронзы обладают высокими антифрикционными свойствами, морозостойки, немагнитны. Заменителями оловянной бронзы являются алюминиевая, кремнистая, марганцовая и др.

Алюминиевая бронза используется с содержанием до 11 % Al. По структуре эта бронза в основном (до 9,7 % Al) однофазная и представляет собой твердый раствор алюминия в меди. По механическим свойствам алюминиевая бронза лучше оловянной, она обладает также большей пластичностью, коррозионной стойкостью и износостойкостью. Введение в алюминиевую бронзу дополнительных элементов (железа, марганца и др.) еще больше повышает ее механические свойства. Алюминиевая бронза имеет золотистый цвет, блестящую поверхность, которая долго не тускнеет. Применяется она для изготовления галантерейных и декоративных изделий.

Кремнистая бронза применяется с содержанием 2–3 % Si; относится к однородным сплавам – твердым растворам. Эта бронза обладает высокими механическими и литейными свойствами и с успехом заменяет во многих случаях оловянную бронзу. Для повышения свойств бронз в них вводятся марганец, никель и другие элементы.

Никелевые бронзы широко распространены в машиностроении. Никель сообщает меди повышенную стойкость против коррозии и улучшает ее механические и литейные свойства. Бронзы, содержащие только никель, не применяются ввиду высокой стоимости никеля. Обычно никель вводится в сочетании с другими элементами (например, железом). Примером высокопрочной бронзы, содержащей никель, является бронза марки БрАЖН10–4–4. В промышленности распространены также никелевые сплавы, имеющие специальные названия: *мельхиор* (сплав меди с 18–20 % никеля) – применяется для гильз, посуды, столовых приборов, имеет белый цвет и высокую коррозионную стойкость; *константан* – сплав меди с 39–41 % никеля и др. Константан имеет большое электрическое сопротивление и применяется в виде проволок и лент для реостатов, электроизмерительных приборов и пр.

Нейзильбер (нем. новое серебро) – сплав меди, никеля (20 %) и цинка (15 %) белого цвета с желтоватым оттенком, имеет высокую прочность, коррозионную стойкость, применяется для изготовления посуды, столовых приборов, художественных изделий, деталей в приборостроении.

17.1.2. Алюминий

Алюминий – серебристо-белого цвета легкий металл ($2,7 \text{ г/см}^3$), обладает высокой пластичностью, хорошей электропроводностью и коррозионной стойкостью. Поэтому он применяется для изготовления электропроводов, посуды, для предохранения других металлов и сплавов от окисления путем плакирования. В машиностроении чистый алюминий применяется мало, так как имеет невысокие механические свойства. Он является основой для получения многих сплавов, широко используемых в самолето-, авто-, вагоно-, приборостроении. К легким относятся сплавы, получаемые на основе алюминия, магния и титана.

Алюминиевые сплавы делятся на две группы: *литейные* и *деформируемые*. В качестве литейных сплавов чаще всего применяются алюминиевые сплавы с кремнием, с медью и с магнием.

Сплавы алюминия с кремнием, называемые также *силуминами*, обладают хорошими литейными свойствами (высокой жидкотекучестью и малой усадкой), большой плотностью и повышенными механическими свойствами по сравнению с алюминием. Повышенные механические свойства достигаются модифицированием, состоящим в обработке расплавленного силумина модификаторами (металлическим натрием или смесью фтористых солей натрия и калия). Небольшое количество модификатора (около 0,01 % натрия по массе) резко меняет структуру силумина: зерна становятся мелкими, а излом приобретает бархатистый вид. Силумины, не подвергнутые модифицированию, имеют грубозернистую структуру и худшие механические свойства. При введении в состав силумина небольшого количества магния и марганца их механические свойства еще более улучшаются (таблица 17.3).

Таблица 17.3. – Некоторые марки алюминиевых сплавов

Марка	Химический состав, %				Назначение
	Медь	Магний	Марганец	Кремний	
<i>Литейные сплавы</i>					
АЛ2	–	–	–	10,0–13,0	Отливки сложной конфигурации Крупные и средние отливки двигателей, подверженные значительным нагрузкам Детали узлов сложной конфигурации средней нагруженности. Детали, несущие значительные ударные нагрузки; детали высокой коррозионной стойкости
АЛ4	–	0,17–0,30	0,25–0,5	8,0–10,5	
АЛ9	–	(кроме того, титан 0,15)	–	6,0–8,0	
АЛ8	–	0,2–0,4 9,5–11,5	–	–	
<i>Деформируемые сплавы</i>					
Д1	3,8–4,8	0,4–0,8	0,4–0,8	–	Нагруженные элементы конструкций, лопасти винтов Нагруженные элементы конструкций, детали корпусов, заклепки
Д16	3,8–4,9	1,2–1,8	0,3–0,9	–	

Сплавы алюминия с медью для литья применяют чаще всего при содержании 4–11 % Си. Эти сплавы содержат смесь двух фаз: твердого раствора и химического соединения CuAl_2 . Фаза твердого раствора пластична и по механическим свойствам сходна с алюминием; фаза CuAl_2 является твердой и хрупкой.

Сплавы алюминия с магнием для литья содержат 4,5–11 % Mg. Эти сплавы обладают высокими механическими свойствами и хорошо сопротивляются коррозии. Наиболее распространен сплав марки АЛ8. Примеси железа понижают механические свойства и коррозионную стойкость алюминиевых сплавов, поэтому содержание железа должно быть небольшим.

Алюминиевые деформируемые сплавы типа дюралюминий применяются для переработки в изделия давлением. Различают деформируемые сплавы, упрочняемые и не упрочняемые термической обработкой. *Упрочняемые сплавы* могут быть нормальной прочности, высокопрочные, жаропрочные и сплавы дляковки и штамповки. Сплавы *нормальной прочности* состоят из алюминия, меди, марганца, магния. Содержание составных частей в дюралюминии различных марок колеблется в широких пределах: Си от 2,2 до 5,2 %; Mg от 0,2 до 1,8 %; Mn от 0,3 до 1,0 %; остальное - алюминий. Марганец повышает коррозионную стойкость и улучшает механические свойства дюралюминия.

Высокопрочные сплавы алюминия включают медь, магний, цинк. В качестве легирующих добавок используют марганец и хром, которые увеличивают коррозионную стойкость сплава. Упрочняемые сплавы применяют для изготовления деталей самолетов.

Неупрочняемые алюминиевые, марганцевые и магниевые сплавы отличаются высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, хорошо свариваются. Они применяются для изготовления различных емкостей, труб, деталей вагонов, бытовых хозяйственных товаров.

17.1.3. Цинк

Цинк – серебристо-белый металл с синеватым оттенком плотностью $7,14 \text{ г/см}^3$. В изломе имеет сильный металлический блеск, который быстро исчезает вследствие окисления поверхности. Окисная пленка на поверхности защищает металл от коррозии. При комнатной температуре цинк весьма хрупок, но в интервале температур от 90 до 150°C становится пластичным, хорошо поддается обработке давлением. Цинк имеет низкие показатели механических свойств, но его сплавы с медью обладают высокой прочностью, пластичностью. Применяется цинк для покрытия металлической посуды, в производстве листовой оцинкованной стали, гальванических элементов.

17.1.4. Олово

Олово – серебристо-белый, мягкий непрочный легкоплавкий и весьма пластичный металл плотностью $7,29 \text{ г/см}^3$, достаточно устойчив к коррозии, безвредный. Применяется олово для защитных покрытий посудохозяйственных изделий, лужения жести, изготовления легкоплавких припоев, фольги и в производстве сплавов (оловянная бронза).

17.1.5. Никель

Никель – серебристо-белого цвета, блестящий тугоплавкий ($T_{\text{пл}} = 1455^\circ\text{C}$), твердый, прочный металл с плотностью $8,9 \text{ г/см}^3$, малой электропроводности. Никель обладает высокой устойчивостью к коррозии, действию щелочей и органических кислот, но легко растворяется в азотной и серной кислотах. Применяют никель для антикоррозийного и декоративного покрытия металлических поверхностей, изготовления сплавов с другими металлами – хромоникелевые стали, платинит, инвар.

17.1.6. Хром

Хром – серебристо-белого цвета с синеватым оттенком и ярким блеском металл, имеет высокую твердость, хрупкий, тугоплавкий ($T_{\text{пл}} = 1950^\circ\text{C}$), плотность $7,142 \text{ г/см}^3$. Он стоек к истиранию и атмосферной коррозии. Применяют хром для антикоррозийного и декоративного покрытия металлических изделий: машин, приборов, инструментов, посуды, часов и др. Хромовые покрытия легко полируются, отличаются высокой износостойкостью и сохраняют свой внешний вид. Применяют хром в сплавах с железом для получения нержавеющей стали, нихрома, хромали, фехраля.

17.1.7. Свинец

Свинец – синевато-серый блестящий металл с высокой пластичностью и низкой твердостью, легкоплавкий ($T_{\text{пл}} = 327^\circ\text{C}$), тяжелый ($11,3 \text{ г/см}^3$). Он устойчив к действию соляной, серной кислот и щелочи, растворяется в азотной кислоте. Соединения свинца очень ядовиты. Свинец применяется для изготовления антифрикционных сплавов – баббитов (подшипниковых), которые имеют достаточную пластичность, чтобы легко прирабатываться к поверхности вращающегося вала и достаточную твердость, чтобы быть опорой для вала. Кроме того, свинец применяется для производства кислотостойких баков, аккумуляторных пластин, для отливки типографского шрифта.

17.1.8. Титан

Титан – легкий металл, плотность $4,54 \text{ г/см}^3$, температура плавления 1730°C . Титан обладает высокими химическими свойствами, хорошо обрабатывается давлением и поддается сварке. По своей коррозионной

стойкости титан превосходит даже высоколегированные коррозионно-стойкие стали. Его применение постоянно расширяется, для многих целей он более перспективен, чем любые другие металлы.

Титан можно легировать алюминием, оловом, хромом, молибденом и другими элементами. Сплавы титана с алюминием и оловом отличаются высокой жаропрочностью. Высокой прочностью обладает специальный титановый сплав с хромом, ванадием, алюминием. Почти 90 % выплавляемого в мире титана потребляют авиация, космическая и ракетная техника. Крупнейшим потребителем титана является химическая промышленность. Титан используется в производстве бытовых хозяйственных товаров.

17.1.9. Вольфрам

Вольфрам – белый тяжелый металл с очень высокой температурой плавления ($T_{пл} = 3380^{\circ}\text{C}$). По прочности он не имеет равных среди металлов. Характеризуется высокой коррозионной стойкостью. Вольфрамом легируют быстрорежущие инструментальные стали, и с небольшим количеством добавок его используют для изготовления нитей накала в электрических лампах, кинескопов, нагревателей электрической посуды.

17.1.10. Серебро

Серебро – светлый блестящий металл плотностью $10,49 \text{ г/см}^3$ и температурой плавления $960,5^{\circ}\text{C}$. Серебро обладает хорошей пластичностью, может прокатываться в тончайшие листы, хорошо полируется и отражает световые и тепловые лучи. Тепло- и электропроводность серебра превосходят соответствующие показатели других металлов. Серебро устойчиво к действию атмосферных условий, чернеет под действием сероводорода, имеет высокую химическую устойчивость за исключением азотной кислоты.

Для изготовления изделий серебро применяют в виде сплавов с медью. В таких сплавах содержание серебра называется *пробой*, под которой понимают количество частей серебра, содержащихся в 1000 частях сплава. Важнейшие пробы серебра 800, 875, 916. Применяют также серебро для покрытия других металлов (серебрения) в производстве ювелирных изделий, часов, посуды, столовых приборов, для приготовления кино- и фотоматериалов (светочувствительных эмульсий для пластинок и пленок, фотобумажных эмульсий), в медицине, производстве зеркал.

17.1.11. Золото

Золото является одним из самых тяжелых металлов. Его плотность $19,3 \text{ г/см}^3$. Металл желтого цвета, с сильным блеском, температура

плавления 1063°C, прочный, пластичный, с высокой химической стойкостью, растворяется только в царской водке, в хлорной и бромной воде, а также в растворе цианистого калия. Для производства ювелирных изделий применяются сплавы золота с медью и серебром. Добавление меди значительно повышает твердость золота. Установлены следующие пробы золота: 375, 500, 583, 750 и 958. Используется золото для изготовления ювелирных изделий и в качестве защитно-декоративного покрытия.

17.1.12. Платина

Платина – благородный металл светло-серого цвета, тяжелый, плотностью 21,5 г/см³, тугоплавкий ($T_{пл} = 1773^{\circ}\text{C}$), твердый, пластичный. Платина устойчива к царской водке, хлорной воде, расплавленные щелочи ее разъедают. Платина является незаменимым металлом при изготовлении тиглей, чашек для химических лабораторий. Применяется в производстве ювелирных изделий для оправки драгоценных камней.

17.2. Порядок выполнения работы

17.2.1 Изучите теоретические сведения о цветных металлах и сплавах.

17.2.2. Осуществите технологическую пробу на загиб на 90° до параллельности сторон и до соприкосновения сторон образцов тонколистового металла из алюминия и меди размерами 100×20×2 мм и проволоки из алюминия и меди диаметром 2–5 мм. Результаты испытаний внесите в таблицу 17.1.

Таблица 17.1

Материал	Результаты внешнего осмотра		
	Загиб на 90°	Загиб до параллельности сторон	Загиб до соприкосновения сторон
Листовой алюминий			
Листовая медь			
Алюминиевая проволока			
Медная проволока			

17.2.3. Осуществите технологическую пробу на перегиб тонколистового металла размером 100×20×2 мм и проволоки диаметром 2,5 мм из алюминия и меди. Результаты испытаний внесите в таблицу 17.2.

МГПУ им. И.П.Шамякина

Таблица 17.2

Материал	Результаты внешнего осмотра			
	Количество перегибов			
	1	3	5	До разрушения
Листовой алюминий				
Листовая медь				
Алюминиевая проволока				
Медная проволока				

17.2.4. Осуществите технологическую пробу на навивание алюминиевой и медной проволоки на круглый стержень (оправку) диаметром 6 и 12 мм и оцените качество навивания. Результаты испытаний внесите в таблицу 17.3.

Таблица 17.3

Материал	Результаты внешнего осмотра	
	Оправка Ø 6 мм	Оправка Ø 12 мм
Алюминиевая проволока Ø 1 мм		
Алюминиевая проволока Ø 2 мм		
Медная проволока Ø 1 мм		
Медная проволока Ø 2 мм		

17.2.5. Определите предел прочности алюминиевого и медного сплавов (временное сопротивление разрыву σ_B), используя метод измерения твёрдости по Бринеллю, в соответствии с разделом 16.5.6. лабораторной работы № 16.

17.3. Вопросы для самоконтроля

17.3.1. Какие металлы относятся к цветным?

17.3.2. Какой сплав называется латунью?

17.3.3. В чем различие между латунью и бронзой?

17.3.4. Как называется сплав, содержащий медь, никель и цинк?

17.3.5. Какими свойствами обладает силумин?

17.3.6. В чем различие между литейными и деформируемыми сплавами?

17.3.7. Какие из цветных металлов и сплавов используют в школьных мастерских?

17.3.8. Какие изделия и детали можно изготовить из цветных металлов и сплавов на уроках труда в школе?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, Л. П. Обработка конструкционных материалов / Л. П. Антонов, Е. И. Муравьев. – М.: Просвещение, 1982. – 431 с.
2. Барташевич, А. А. Материаловедение / А. А. Барташевич, Л. М. Бахар. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2005. – 349 с.
3. Гольдаде, В. А. Электретные пластмассы: физика и материаловедение / В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук; под ред. В. А. Белого. – Минск: Наука и техника, 1987. – 231 с.
4. Григорьев, М. А. Материаловедение для столяров, плотников и паркетчиков / М. А. Григорьев. – М.: Высшая школа, 1989. – 223 с.
5. Довгяло, В. А. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы / В. А. Довгяло, О. Р. Юркевич. – Минск: Наука и техника, 1992. – 256 с.
6. Заплатин, В. Н. Основы материаловедения (металлообработка) / В. Н. Заплатин, Ю. И. Сапожников, А. В. Дубов; под ред. В. Н. Заплатина. – М. : Академия, 2007. – 250 с.
7. Кенько, В. М. Неметаллические материалы и методы их обработки / В. М. Кенько. – Минск : Дизайн ПРО, 1998. – 240 с.
8. Степанов, Б. А. Материаловедение для профессий, связанных с обработкой дерева / Б. А. Степанов. – М.: ИРПО, 2000. – 318 с.
9. Лабутин, А. Л. Антикоррозионные и герметизирующие материалы на основе синтетических каучуков / А. Л. Лабутин. – Л.: Химия, 1982. – 214 с.
10. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1972. – 264 с.
11. Макиенко, Н. И. Слесарное дело с основами материаловедения / Н. И. Макиенко. – М. : Высшая школа, 1979. – 464 с.
12. Материаловедение: учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.]. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 646 с.
13. Муравьев, Е. М. Практикум в учебных мастерских / Е. М. Муравьев, М. П. Молодцов. – М.: Просвещение, 1987. – В 2 ч.
14. Пинчук, Н. И. Материаловедение / Н. И. Пинчук. – М. : Высшая школа, 1990. – 358 с.
15. Политехнический словарь / Редкол.: А. Ю. Ишлинский (гл. ред.) [и др.]. – М. : БРЭ, 2000. – 656 с.
16. Применение резиновых технических изделий в народном хозяйстве / под ред. Д. Л. Федюкина. – М.: Химия, 1985. – 240 с.
17. Ржевская С. В. Материаловедение: учебник для вузов / С. В. Ржевская. – М. : Логос, 2006. – 424 с.
18. Карабанов, И. А. Технологический справочник школьника / И. А. Карабанов, В. А. Юдицкий. – Мозырь : УО МГПУ им. И. П. Шамякина, 2012. – 239 с.

Учебное издание

Редькин Валерий Павлович
Гладкий Сергей Николаевич

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Практикум

Корректор *В. В. Кузьмич*
Оригинал-макет *Л. И. Федула*

Подписано в печать 11.01.2019. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Ризография. Усл. печ. л. 8,02. Уч.-изд. л. 10,23.
Тираж 70 экз. Заказ 2.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Мозырский государственный
педагогический университет имени И. П. Шамякина».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий N 1/306 от 22 апреля 2014 г.
Ул. Студенческая, 28, 247777, Мозырь, Гомельская обл.
Тел. (0236) 32-46-29