

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Институт профессионального образования
Кафедра металлорежущих станков и инструментов

Светлана Викторовна Ляцкина

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Методические материалы к лабораторным работам,
практическим занятиям и самостоятельной работе

Рекомендовано цикловой-методической комиссией
по специальности СПО 23.02.07 Техническое обслуживание и
ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей в качестве
электронного издания для использования
в образовательном процессе

Кемерово 2024

Рецензенты: Коротков А. Н. – доктор. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой металлорежущих станков и инструментов ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»
Ушакова Е. С. – доцент кафедры химической технологии твердого топлива ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Лацинина, С.В. Материаловедение: материалы к лабораторным работам, практическим занятиям и самостоятельной работе для студентов специальности СПО 23.02.07 Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей, очной формы обучения / сост. С. В. Лацинина; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2024. Текст: электронный.

Приведено содержание лабораторных работ и практических занятий, материал, необходимый для успешного изучения дисциплины «Материаловедение». Назначение издания – помощь обучающимся в получении знаний в области материаловедения.

©Кузбасский государственный
технический университет
имени Т. Ф. Горбачева, 2024
©Лацинина С.В.,
составление, 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Практическая работа №1 «Механические свойства металлов и сплавов».....	3
Лабораторная работа №1 «Методы измерения твердости».....	16
Лабораторная работа №2 «Микроструктура, свойства и маркировка углеродистых сталей».....	30
Лабораторная работа №3 «Микроструктура и свойства чугунов».....	46
Лабораторная работа №4 «Термическая обработка стали».....	61
Практическая работа №2 «Химико-термическая обработка стали».....	81
Практическая работа №3 «Классификация и маркировка сталей».....	93
Практическая работа №4 «Классификация и маркировка сплавов цветных металлов».....	105
Практическая работа №5 «Полимерные материалы. Классификация, строение, свойства и применение».....	129
Практическая работа №6 «Назначение режима резания при механической обработке металлов на различных станках».....	151
Самостоятельная работа.....	168
Список литературы.....	169

Практическая работа №1 «МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение основных методов определения механических свойств металлов и сплавов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под механическими свойствами понимают характеристики, определяющие поведение металла (сплава) под действием внешних сил. К механическим свойствам относят сопротивление металла деформации (прочность, твердость) и сопротивление разрушению (пластичность, вязкость). В результате механических испытаний получают количественные значения механических свойств, т.е. значения напряжений или деформаций, при которых происходят изменения механического состояния материала.

Механические свойства металлов определяют при статических, динамических и усталостных испытаниях.

2.1. Механические свойства, определяемые при статических испытаниях

Статическими называют испытания, при которых прилагаемая к образцу нагрузка возрастает медленно и плавно. К статическим испытаниям металлов относятся испытания на растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг и на твердость. Чаще всего применяют испытания на растяжение и на твердость.

2.1.1. Испытания на растяжение

Для испытания на растяжение (ГОСТ 1497-84) применяют стандартные образцы круглого или прямоугольного сечения (рис. 1). Машины для испытания снабжены прибором, записывающим диаграмму растяжения, которая показывает

зависимость деформации образца от растягивающей нагрузки. На рис. 2 приведена диаграмма растяжения для низкоуглеродистой стали.

Используя диаграмму растяжения, определяют характеристики прочности.

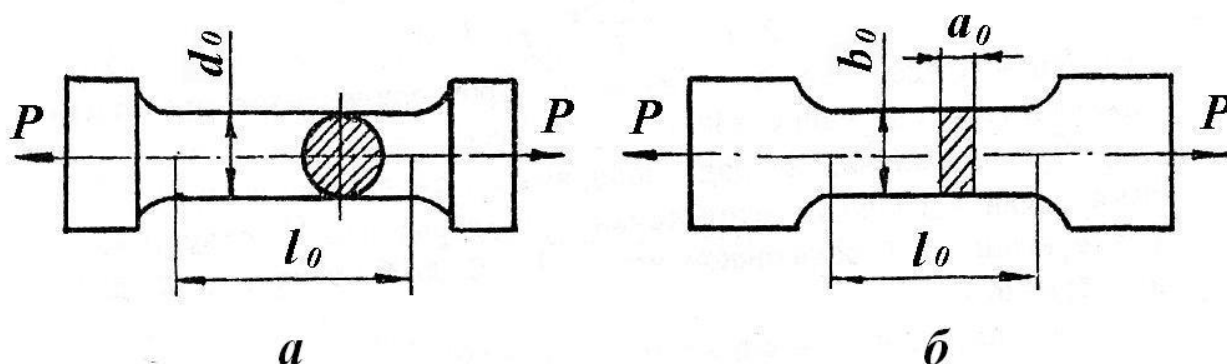


Рис. 1. Образцы для испытания на растяжение:
а – круглый; б – плоский

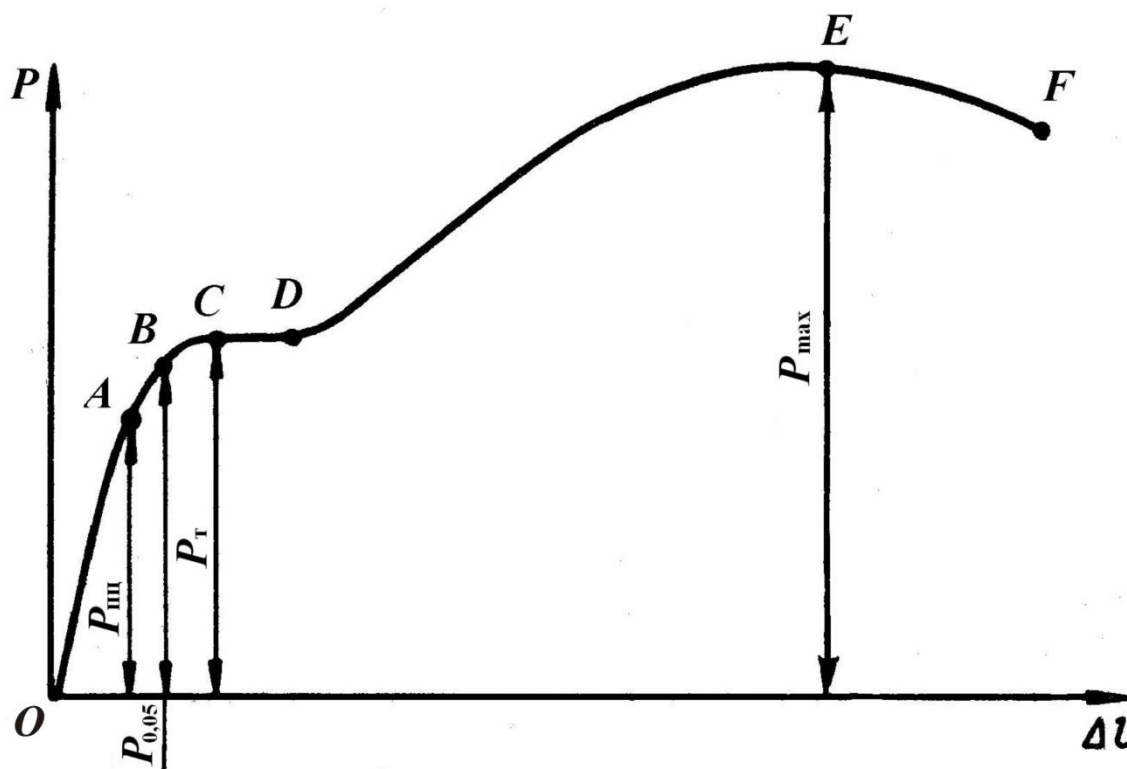


Рис. 2. Диаграмма растяжения

От начала деформации – точки O до точки A образец деформируется пропорционально приложенной нагрузке. Если нагрузку снять, то полученная образцом деформация исчезнет, и

он примет первоначальные размеры. Точка A соответствует пределу пропорциональности ($\sigma_{\text{пц}}$, Па):

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \quad (1)$$

где $P_{\text{пц}}$ – предельная нагрузка, до которой сохраняется пропорциональность между нагрузкой и деформацией, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, м^2 .

Выше точки A располагается точка B , которая соответствует нагрузке, вызывающей определенное остаточное удлинение образца: если снять нагрузку, длина образца будет больше начальной. Напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,05% от начальной расчетной длины образца, называют пределом упругости ($\sigma_{0,05}$, Па):

$$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}, \quad (2)$$

где $P_{0,05}$ – нагрузка, вызывающая остаточное удлинение 0,05%, Н.

Иногда значение остаточного удлинения принимают равным 0,005% или 0,02%. Тогда предел упругости обозначают $\sigma_{0,005}$ или $\sigma_{0,02}$ соответственно.

При дальнейшем увеличении нагрузки на диаграмме получается горизонтальный участок CD (площадка текучести), на котором даже незначительное увеличение нагрузки вызывает деформацию, «текучесть» образца. Напряжение, при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки, называют физическим пределом текучести ($\sigma_{\text{т}}$, Па):

$$\sigma_{\text{т}} = \frac{P_{\text{т}}}{F_0}, \quad (3)$$

где $P_{\text{т}}$ – нагрузка, соответствующая площадке текучести, Н.

Многие металлы и сплавы не имеют площадки текучести на диаграмме растяжения. Для них определяют условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$, Па):

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (4)$$

где $P_{0,2}$ – нагрузка, вызывающая остаточное удлинение 0,2%, Н.

Напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца (точка E), называется временным сопротивлением (σ_B , Па) и вычисляется по формуле

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}, \quad (5)$$

где P_{\max} – наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца, Н.

В точке F происходит разрушение образца.

Кроме прочностных характеристик при испытании на растяжение определяют характеристики пластичности. К ним относят относительное удлинение (δ , %) и относительное сужение (ψ , %):

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

где l_0 – первоначальная длина образца, м;

l_k – длина образца после разрыва, м;

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

где F_0 – первоначальная площадь поперечного сечения образца, м²;

F_k – площадь поперечного сечения образца после разрыва, м².

2.1.2. Испытания на твердость

Твердостью называют свойство материала оказывать сопротивление пластической деформации при внедрении в его

поверхность более твердого тела. Для испытаний на твердость не требуются специальные образцы. Измерение твердости проводится быстро и просто и может осуществляться непосредственно на готовой детали без ее разрушения.

Наиболее широко применяют испытания на твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012-59), по Роквеллу (ГОСТ 9013-59) и по Виккерсу (ГОСТ 2999-75).

Измерение твердости по Бринеллю. При измерении твердости этим методом шарик из закаленной стали или твердого сплава вдавливается в испытуемый образец (изделие) под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени (от 10 до 15 с для черных металлов и от 10 до 180 с для цветных). Диаметры применяемых шариков 1,0; 2,0; 2,5; 5 и 10 мм. Нагрузка выбирается в пределах от 9,8 Н (1 кгс) до 29420 Н (3000 кгс) в зависимости от вида металла или сплава.

Число твердости по Бринеллю (НВ) определяется путем деления нагрузки, при которой происходило вдавливание, на площадь поверхности отпечатка, оставшегося после снятия нагрузки, по формуле

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (8)$$

где P – нагрузка, кгс;

F – площадь поверхности отпечатка, мм²;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

При измерении твердости шариком диаметром 10 мм под нагрузкой 29430 Н (3000 кгс) с выдержкой 10–15 с число твердости по Бринеллю обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами НВ при применении стального шарика или НВW при применении шарика из твердого сплава.

Например: 400 НВ.

При других условиях измерения обозначение НВ (НВW) дополняется индексом, указывающим условия измерения в следующем порядке: диаметр шарика, нагрузка и

продолжительность выдержки.

Например: 200 HB5/250/30 – число твердости по Бринеллю 200, испытание проводилось шариком диаметром 5 мм при нагрузке 2453 Н (250 кгс), приложенной в течение 30 с.

Метод Бринелля используется для испытания материалов низкой и средней твердости – цветных металлов и их сплавов, незакаленных сталей. Метод применим для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (чугуны, антифрикционные сплавы). Так как к поверхности испытуемых изделий не предъявляется высоких требований, метод Бринелля широко используется в цеховых условиях.

Измерение твердости по Роквеллу. При измерении твердости методом Роквелла в испытуемый образец или изделие вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,5875 мм под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок: предварительной P_0 и основной P_1 . Общая нагрузка $P = P_0 + P_1$.

Твердость определяют по глубине внедрения наконечника в испытуемый образец, измеренной после снятия основной нагрузки при сохранении предварительной. За единицу твердости по Роквеллу принята условная величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм. Результаты испытания читаются прямо по шкале прибора, без дополнительных измерений.

В зависимости от материала испытуемого образца твердость измеряют по трем шкалам А, В и С (таблица 1).

Метод Роквелла, благодаря своей скорости и простоте, нашел самое широкое применение в промышленности для контроля твердости готовых штучных деталей.

Измерение твердости по Виккерсу. Измерение твердости методом Виккерса основано на вдавливании алмазной четырехгранной пирамиды с углом при вершине 136° в образец (изделие) под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени (обычно 10–15 с).

Таблица 1

Параметры испытания при измерении твердости по Роквеллу

Обозначение		Наконечни к	Нагрузка, Н (кгс)			Пределы измерения в единицах твердости по Роквеллу	Область применения
шкал ы	твердости		P ₀	P ₁	P		
В	HRB	Стальной шарик	98 (10)	883 (90)	981 (100)	25–100	Цветные сплавы, нетермообработанные стали
С	HRC	Алмазный конус	98 (10)	1373 (140)	1471 (150)	22–68	Твердые термообработанные стали
А	HRA	Алмазный конус	98 (10)	490(50)	588 (60)	70–85	Сверхтвердые сплавы, тонкие поверхностные слои, тонколистовой материал

Нагрузка выбирается в пределах от 9,8 Н (1 кгс) до 980,7 (100 кгс) в зависимости от толщины образца и его примерной твердости.

Твердость по Виккерсу (HV) вычисляют путем деления нагрузки на площадь поверхности отпечатка, оставшегося на образце, по формуле

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2}, \quad (9)$$

где P – нагрузка, кгс;

F – площадь поверхности отпечатка, мм²;

α – угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный 136°;

d – среднее арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Метод используют для определения твердости деталей малой толщины и тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость.

2.2. Механические свойства, определяемые при динамических испытаниях

Механические свойства металлов (сплавов), определенные при статических испытаниях, часто не соответствуют действительным условиям нагружения деталей при их эксплуатации, когда нагрузки возрастают очень быстро. В таких случаях металлы подвергают динамическим испытаниям, при которых нагрузка прикладывается мгновенно, резко. По виду деформации эти испытания делятся на ударный разрыв, ударное сжатие и ударный изгиб.

Наиболее распространенным видом динамических испытаний является испытание на ударный изгиб с определением ударной вязкости (ГОСТ 9454-78). Испытание заключается в разрушении образца с надрезом (концентратором) ударом маятникового копра (рис. 3).

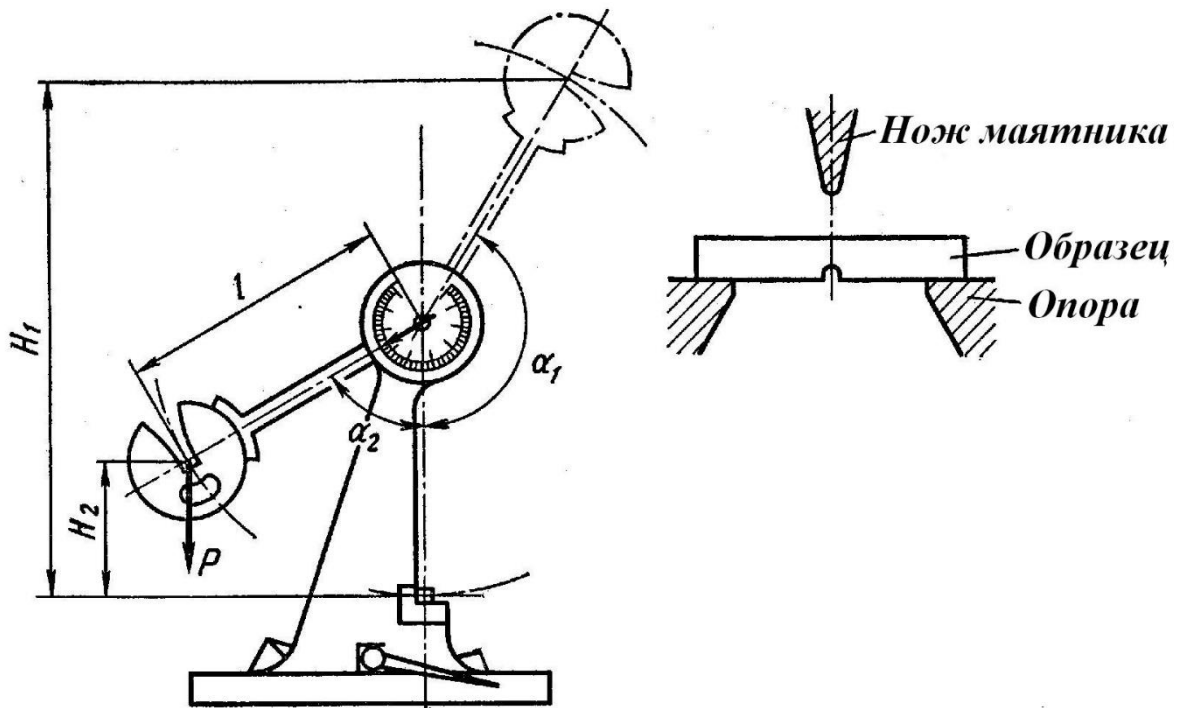


Рис. 3. Схема испытания на ударный изгиб

Ударная вязкость (KC , Дж/м²) определяется по формуле

$$KC = \frac{K}{S_0}, \quad (10)$$

где K - работа, затраченная на разрушение образца, Дж;
 S_0 - начальная площадь поперечного сечения образца в месте надреза, м².

Работа, затраченная на разрушение образца:

$$K = MgH_1 - MgH_2 = Mg(H_1 - H_2) = MgL(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2), \quad (11)$$

где M - масса маятника, кг;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

H_1 - высота подъема маятника до удара, м;

H_2 - высота подъема маятника после удара, м;

L - длина маятника, м;

α_1 - угол подъема маятника до удара, град;

α_2 - угол подъема маятника после удара, град.

В зависимости от вида концентратора напряжений различают образцы трёх типов (рис. 4): с радиусом надреза $R=1$ мм (тип U), с $R=0,25$ мм и углом 45° (тип V), с инициированной трещиной

(тип Т). Соответственно ударная вязкость обозначается КСU, КСV, КСТ.

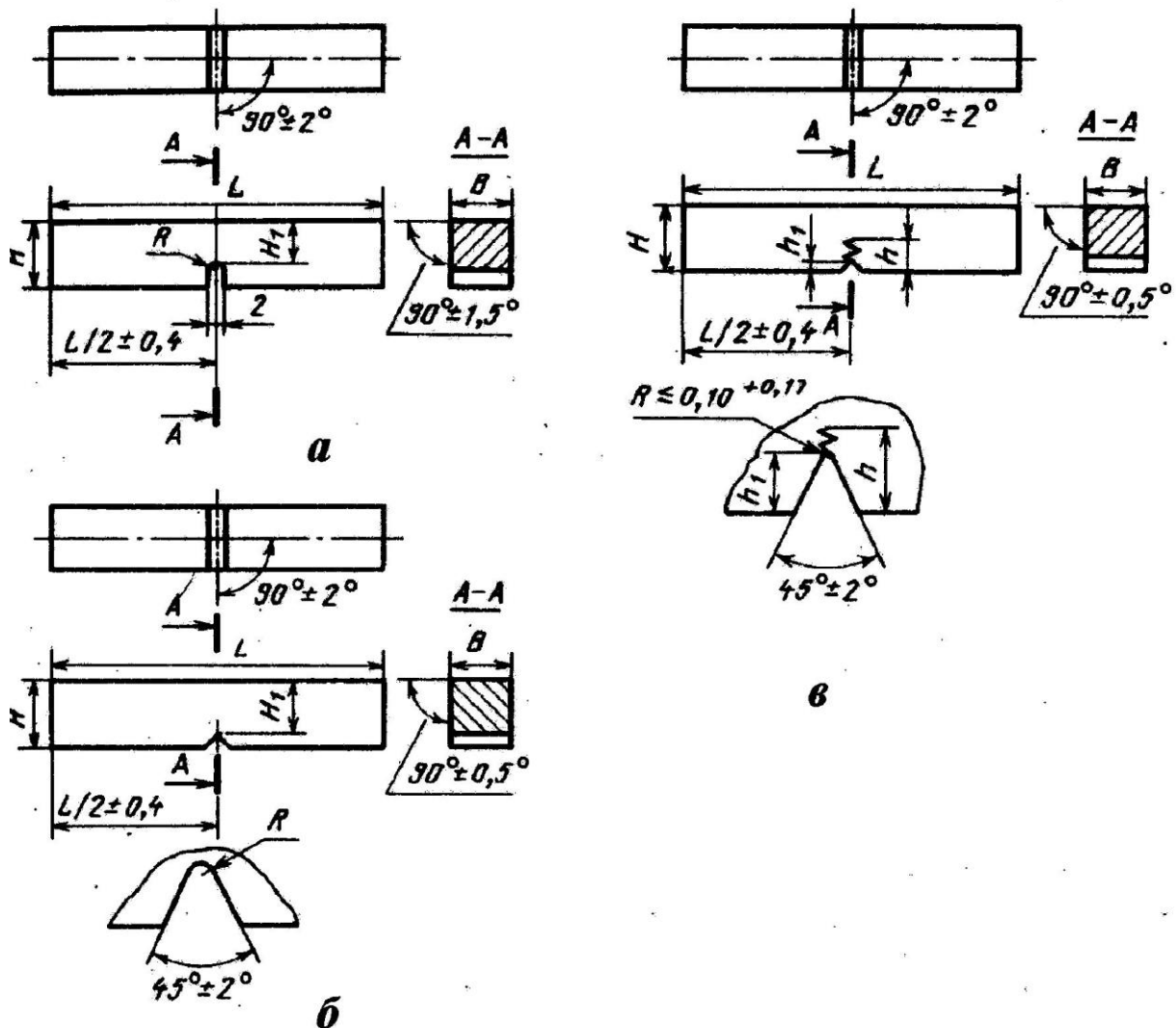


Рис. 4. Образцы для испытаний на ударную вязкость:
тип U (а), тип V (б), тип Т (в)

Выбор типа концентратора осуществляется в зависимости от требований к изделию: U – при обычных испытаниях металлов; V – для конструкций повышенной степени надежности; Т – для особо ответственных конструкций.

2.3. Механические свойства, определяемые при усталостных испытаниях

Длительное воздействие на металл повторно-переменных нагрузок может вызвать разрушение при напряжениях меньших σ_B и даже $\sigma_{0,2}$. Постепенное накопление повреждений в металле

под действием циклических нагрузок, приводящих к образованию трещин и разрушению, называют усталостью, а свойство металлов сопротивляться усталости – выносливостью. Испытания на усталость регламентированы ГОСТ 25.502-79: при растяжении – сжатии, изгибе, кручении; с использованием симметричных или асимметричных циклов напряжений. Чаще всего их проводят на вращающемся образце (гладком или с надрезом) с приложением изгибающей нагрузки по симметричному циклу (рис. 5). Коэффициент асимметрии $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -1$.

При этом определяют предел выносливости – наибольшее напряжение, которое не вызывает разрушения образца при произвольно большом числе циклов нагружения. Предел выносливости обозначают σ_R , а при симметричном цикле σ_{-1} .

Для испытания используют не менее 15 образцов, каждый из которых испытывают на определенном уровне напряжений до разрушения. По результатам испытания строят кривую усталости в координатах максимальное напряжение σ_{\max} – число циклов до разрушения N (рис. 6, а) или в логарифмических координатах $\lg \sigma_{\max} - \lg N$ (рис. 6, б).

Горизонтальный участок на кривой усталости, т.е. максимальное напряжение, не вызывающее разрушения при бесконечно большом числе циклов нагружения, соответствует пределу выносливости (рис. 6, кривая 1).

Некоторые металлы и сплавы не имеют горизонтального участка на кривой усталости (рис. 6, кривая 2). В этом случае определяют ограниченный предел выносливости – наибольшее напряжение, которое выдерживает металл (сплав) в течение заданного (базового) числа циклов нагружения N_6 . База испытания должна быть не менее $10 \cdot 10^6$ циклов для стали и $100 \cdot 10^6$ для цветных металлов и их сплавов.

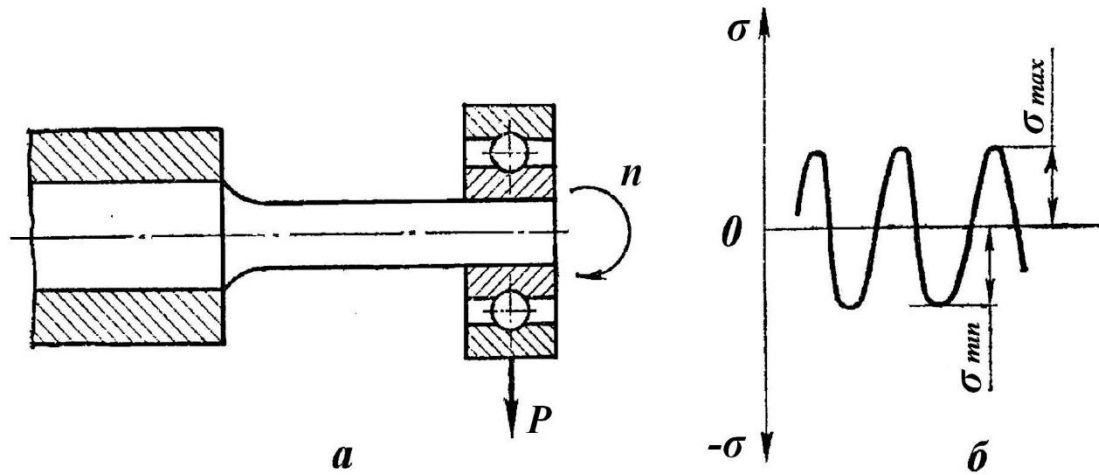


Рис. 5. Испытание на усталость: *a* – схема испытания, *б* – цикл изменения напряжений

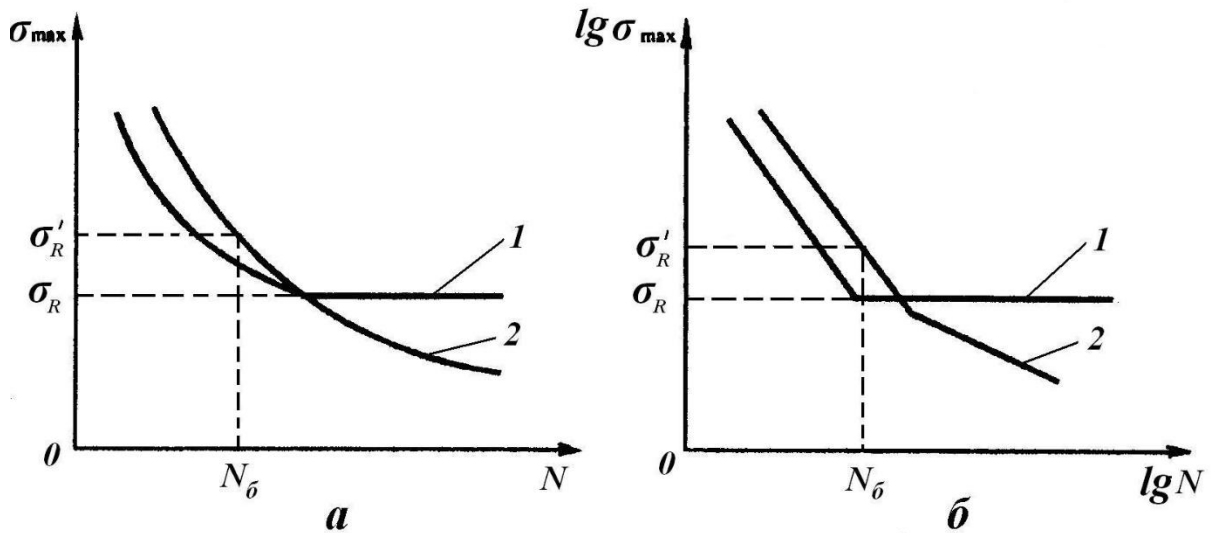


Рис. 5. Кривые усталости в координатах: *a* – $\sigma_{\max} - N$, *б* – $\lg \sigma_{\max} - \lg N$

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить основные теоретические положения.
2. Оформить отчет.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать: наименование и цель занятия, перечень основных методов испытаний, схемы испытаний, расчетные формулы.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие испытания называются статическими?
2. Какие механические характеристики металлов определяют при испытании на растяжение?
3. Что такое твердость?
4. Чем отличаются статические испытания металлов от динамических?
5. Какие образцы применяют при испытании на ударный изгиб?
6. С какой целью проводят испытания на усталость?
7. Что такое предел выносливости?

Лабораторная работа №1 «МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение методов измерения твердости.

Приобретение практических навыков измерения твердости различными методами.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Твердость и методы её измерения

Твердостью называют свойство материала оказывать сопротивление проникновению в его поверхность другого, более твердого тела. Измерение твердости вследствие быстроты и простоты осуществления, а также возможности без разрушения изделия судить о его свойствах получило широкое распространение для контроля качества металла в изделиях.

Существуют следующие методы измерения твердости: по Бринеллю (ГОСТ 9012-59), по Роквеллу (ГОСТ 9013-59), по Виккерсу (ГОСТ 2999-75), измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников (ГОСТ 9450-76), методом ударного отпечатка (ГОСТ 18661-73), методом упругого отскока бойка (ГОСТ 23273-78), измерение пластической твердости (ГОСТ 18835-73). Наибольшее распространение нашли первые три метода измерения твердости.

2.2. Измерение твердости по Бринеллю

При измерении твердости методом Бринелля шарик из закаленной стали или твердого сплава вдавливается в испытуемый образец (изделие) под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени (от 10 до 15 с для черных металлов и от 10 до 180 с для цветных). Диаметры применяемых шариков 1,0; 2,0; 2,5; 5 и 10 мм. Нагрузка выбирается в пределах от 9,8 Н (1 кгс) до 29420 Н (3000 кгс).

Число твердости по Бринеллю определяется путем деления нагрузки, при которой происходило вдавливание, на площадь поверхности отпечатка, оставшегося после снятия нагрузки, по формуле

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1)$$

где P – нагрузка, кгс;

F – площадь поверхности отпечатка, мм²;

D – диаметр шарика, мм;

d – диаметр отпечатка, мм.

Или, если нагрузка измеряется в ньютонах:

$$HB = \frac{0.102 \cdot P}{F} = \frac{0.102 \cdot 2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}. \quad (2)$$

Чтобы не производить каждый раз вычисления, на практике пользуются специально составленной таблицей (приложение).

Диаметр шарика и нагрузку выбирают по таблице 1 так, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах от 0,25 до 0,6 D .

Поверхность образца для испытания должна быть свободна от окалины и других посторонних веществ. Толщина образца – не менее восьмикратной глубины отпечатка. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее 2,5 d , а между центрами двух соседних отпечатков – не менее 4 d (d – диаметр отпечатка, мм). Для мягких материалов (НВ менее 35) соответственно 3 d и 6 d .

Твердость по Бринеллю измеряют приборами различных конструкций, отличающихся способом приложения нагрузки: механическим (вручную или от электромотора) или гидравлическим. Диаметр отпечатка измеряют с помощью отсчетного микроскопа, входящего в состав приборов, в двух взаимно перпендикулярных направлениях и вычисляют как среднее арифметическое двух измерений.

Таблица 1

Параметры испытания при измерении твердости по Бринеллю

Металлы и сплавы	Интервал твердости <i>HB</i>	Диаметр шарика <i>D</i> , мм	Нагрузка <i>P</i> , Н (кгс)
Сталь, чугун и др. высокопрочные сплавы	96–450	1,0	294,2 (30)
		2,0	1177 (120)
		2,5	1839 (187,5)
		5,0	7355 (750)
		10,0	29420 (3000)
Титан и его сплавы	50–220	10,0	14710 (1500)
Медь, алюминий и их сплавы	32–200	1,0	98,07 (10)
		2,0	392,3 (40)
		2,5	612,9 (62,5)
		5,0	2452 (250)
		10,0	9807 (1000)
Магний и его сплавы	16–100	1,0	49,03 (5)
		2,0	196,1 (20)
		2,5	306,0 (31,2)
		5,0	1226 (125)
		10,0	4903 (500)
Подшипниковые сплавы	8–50	1,0	24,52 (2,5)
		2,0	98,07 (10)
		2,5	153,0 (15,6)
		5,0	612,9 (62,5)
		10,0	2452 (250)
Свинец, олово и другие мягкие металлы	3,2–20	1,0	9,807 (1)
		2,0	39,23 (4)
		2,5	60,80 (6,2)
		5,0	245,2 (25)
		10,0	980,7 (100)

При измерении твердости шариком диаметром 10,0 мм с нагрузкой 29430 Н (3000 кгс) и выдержкой 10–15 с число твердости по Бринеллю обозначается цифрами, характеризующими ве-

личину твердости, и буквами НВ при применении стального шарика или HBW при применении шарика из твердого сплава.

Например: 400 НВ

При других условиях измерения обозначение НВ (HBW) дополняется индексом, указывающим условия измерения в следующем порядке: диаметр шарика, нагрузка и продолжительность выдержки.

Например: 200 НВ 5/250/30 – число твердости по Бринеллю 200, испытание проводилось шариком диаметром 5,0 мм при нагрузке 2453 Н (250 кгс), приложенной в течение 30 с.

Достоинства метода Бринелля:

Высокая точность и хорошая воспроизводимость результатов измерения.

Существование зависимости между числом твердости по Бринеллю и временным сопротивлением при растяжении σ_B , МПа (для углеродистых сталей $\sigma_B \approx 3,4$ НВ, для медных сплавов $\sigma_B \approx 4,5$ НВ, для алюминиевых сплавов $\sigma_B \approx 3,5$ НВ).

Недостатки метода:

При использовании стального шарика невозможно испытать материалы твердостью более 450 НВ (закаленные стали, белые чугуны).

Невозможность испытания твердости тонкого поверхностного слоя (менее 1 мм), а также изделий малых размеров.

После испытания остаются большие и глубокие отпечатки.

Таким образом, метод Бринелля используется для испытания материалов низкой и средней твердости – цветных металлов и их сплавов, незакаленных сталей. Метод применим для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (чугуны, подшипниковые сплавы). Так как к поверхности испытуемых изделий не предъявляются высоких требований, метод Бринелля широко используется в цеховых условиях.

2.3. Измерение твердости по Роквеллу

При измерении твердости методом Роквелла в испытуемый образец или изделие вдавливаются алмазный конус с углом при вершине 120° или стальной закаленный шарик диаметром 1,588 и 3,175 мм под действием двух последовательно прилагаемых

нагрузок: предварительной P_0 и основной P_1 . Общая нагрузка $P = P_0 + P_1$.

Твердость определяют по глубине внедрения наконечника в испытуемый образец, измеренной после снятия основной нагрузки при сохранении предварительной. За единицу твердости по Роквеллу принята условная величина, соответствующая осевому перемещению наконечника на 0,002 мм.

В зависимости от материала испытуемого образца твердость измеряют по девяти шкалам: А, С, D (используют алмазный конус), В, F, G (стальной шарик диаметром 1,588 мм), Е, Н, К (стальной шарик диаметром 3,175 мм). Чаще всего используют шкалы А, В и С (таблица 2).

Поверхность образца для испытания может быть, как плоской, так и криволинейной с радиусом кривизны не менее 15 мм. Поверхность должна быть свободна от окалины и других посторонних веществ, на ней не должно быть трещин, выбоин и т.п. Минимальная толщина образца должна быть не меньше десятикратной глубины внедрения наконечника после снятия основной нагрузки. Расстояние между центрами двух соседних отпечатков должно быть не менее 2 мм, от центра отпечатка до края образца – не менее 1 мм.

Твердость измеряют на приборах с ручным или электрическим приводом. Результаты испытания читаются прямо по шкале прибора, без дополнительных измерений. На каждом образце должно быть произведено не менее трех испытаний.

Твердость по Роквеллу обозначают цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами HR с указанием шкалы твердости.

Например: 50 HRC – твердость по Роквеллу 50, определенная по шкале С.

Таблица 2

Параметры испытания при измерении твердости по Роквеллу

Обозначение		Наконечник	Нагрузка, Н (кгс)			Пределы измерения в единицах твердости по Роквеллу	Область применения
шкал	чисел твердости		P_0	P_1	P		
В	HRB	Стальной шарик диаметром 1,588 мм	98 (10)	883 (90)	981 (100)	25–100	Цветные сплавы, нетермообработанные стали
С	HRC	Алмазный конус	98 (10)	1373 (140)	1471 (150)	22–68	Твердые термобработанные стали
А	HRA	Алмазный конус	98 (10)	490 (50)	588 (60)	70–85	Сверхтвердые сплавы, тонкие поверхностные слои, тонколистовой материал

К достоинствам метода Роквелла относится:

Возможность испытания как мягких, так и твердых материалов.

Быстрота измерения.

Сохранение качественной поверхности после испытания, так как отпечаток имеет небольшие размеры.

Недостатки метода:

Безразмерность и условность чисел твердости, что затрудняет их перевод в другие величины твердости или прочности при растяжении.

Менее удовлетворительная, чем у метода Бринелля, повторяемость результатов измерений.

Невозможность измерения твердости очень тонких слоев металла (менее 0,3 мм).

Метод не рекомендуют применять для определения твердости неоднородных по структуре сплавов (например, чугуна).

Несмотря на указанные недостатки, метод Роквелла, благодаря своей скорости и простоте, нашел самое широкое применение в промышленности для контроля твердости готовых штучных деталей.

2.4. Измерение твердости по Виккерсу

Измерение твердости методом Виккерса основано на вдавливании алмазной четырехгранной пирамиды с углом при вершине 136° в образец (изделие) под действием нагрузки, приложенной в течение определенного времени (обычно 10–15 с). Нагрузка выбирается в пределах от 9,8 Н (1 кгс) до 980,7 (100 кгс).

Твердость по Виккерсу вычисляют путем деления нагрузки на площадь поверхности отпечатка, оставшегося на образце, по формуле

$$HV = \frac{P}{F} = \frac{2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1.854 \frac{P}{d^2}, \quad (3)$$

где P – нагрузка, кгс;

F – площадь поверхности отпечатка, мм^2 ;

α – угол между противоположными гранями пирамиды при вершине, равный 136° ;

d – средне арифметическое значение длин обеих диагоналей отпечатка после снятия нагрузки, мм.

Или, если нагрузка измеряется в ньютонах:

$$HV = \frac{0.102 \cdot 2P \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 0.189 \frac{P}{d^2}. \quad (4)$$

Нагрузку выбирают в зависимости от толщины образца и его примерной твердости по таблица 3.

Поверхность используемого образца должна быть тщательно отшлифована (шероховатость Ra не более 0,16 мкм), на ней не должно быть окисных пленок и других посторонних веществ. Радиус кривизны поверхности не менее 5 мм. Минимальная толщина стальных образцов должна быть больше диагонали отпечатка в 1,2 раза, а образцов из цветных металлов – в 1,5 раза. Расстояние между центром отпечатка и краем образца или краем соседнего отпечатка – не менее 2,5 длины диагонали отпечатка.

Таблица 3

Нагрузка при измерении твердости по Виккерсу

Толщина образца или поверхностного слоя, мм	Наибольшая допустимая нагрузка, Н (кгс), при твердости					
	100	200	400	600	800	1000
0,1	—	—	9,8(1)	9,8(1)	9,8(1)	19,6(2)
0,2	9,8(1)	9,8(1)	19,6(2)	49,0(5)	49,0(5)	98,1(10))
0,3	9,8(1)	19,6(2)	49,0(5)	98,1(10)	98,1(10)	196,1 (20)
0,4	19,6(2)	49,0(5)	98,1(10)	196,1 (20)	294,2 (30)	294,2 (30)
0,5	49,0(5)	98,1(10)	196,1 (20)	294,2 (30)	294,2 (30)	490,3 (50)
0,6	49,0(5)	98,1(10)	294,2 (30)	490,3 (50)	490,3 (50)	490,3 (50)

0,7	98,1(10)	196,1 (20)	294,2 (30)	490,3 (50)	490,3 (50)	980,7 (100)
0,8	98,1(10)	294,2 (30)	490,3 (50)	490,3 (50)	980,7 (100)	980,7 (100)
0,9	98,1(10)	294,2 (30)	490,3 (50)	980,7 (100)	980,7 (100)	980,7 (100)
1,0	196,1 (20)	294,2 (30)	490,3 (50)	980,7 (100)	980,7 (100)	980,7 (100)
> 1,0	980,7 (100)	980,7 (100)	980,7 (100)	980,7 (100)	980,7 (100)	980,7 (100)

Приборы для измерения твердости по Виккерсу имеют встроенный микроскоп или проекционную оптическую систему, с помощью которых измеряют длины диагоналей отпечатка.

Твердость по Виккерсу при испытании под нагрузкой 294,2 Н (30 кгс) и временем выдержки под нагрузкой 10–15 с обозначается цифрами, характеризующими величину твердости, и буквами HV.

Например: 500 HV.

При других условиях испытания после букв HV указывается нагрузка и время выдержки.

Например: 220 HV 10/30 – число твердости 220, полученное при нагрузке 98,1 Н (10 кгс) и времени выдержки 30 с.

Достоинства метода:

Возможность измерения твердости как мягких, так и сверхтвердых материалов с высокой точностью.

Возможность определения твердости тонких (до 0,3 мм) деталей и очень тонких (до 0,03 мм) поверхностных слоев металла.

Очень малые размеры отпечатка.

Недостатки метода:

Большая длительность и трудоемкость процесса измерения твердости.

Очень высокие требования к качеству поверхности образца.

Сравнительная сложность и дороговизна приборов для определения твердости.

Указанные недостатки препятствуют широкому использованию метода Виккерса в цеховых условиях. В основном он применяется для тонкого контроля металлов и сплавов в лабораториях.

Образцы для испытания.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАНЯТИЯ

Измерить твердость методом Виккерса.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Выводы о соответствии между значениями твердости, полученными различными методами (использовать приложение).

Таблица 4

Результаты испытаний

[illegible]

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как проводят измерение твердости методом Бринелля?
2. Какие недостатки имеет метод Бринелля?
3. Как измеряют твердость методом Роквелла?
4. Перечислите основные достоинства и недостатки метода Роквелла.
5. Как определяют твердость по Виккерсу?
6. Какие преимущества имеет метод измерения твердости по Виккерсу по сравнению с методами Бринелля и Роквелла?

Приложение 1

Соотношение между значениями твердости, измеряемыми
различными методами

Твердость по Бринеллю HB		Твердость по Роквеллу			Твердость по Виккерсу HV	
диаметр отпечат- ка, мм	число твердо- сти	HRB	HRC	HRA	диаго- наль от- печатка, мм	число твердо- сти
2,30	712	—	68	86	0,233	1022
2,35	682	—	66	85	0,243	941
2,40	653	—	64	84	0,253	868
2,45	627	—	62	83	0,263	804
2,50	601	—	60	82	0,273	746
2,55	578	—	58	81	0,283	694
2,60	555	—	56	79	0,293	649
2,65	534	—	54	78	0,303	606
2,70	514	—	52	77	0,308	587
2,75	495	—	50	76	0,318	551
2,80	477	—	49	76	0,323	534
2,85	461	—	48	75	0,333	502
2,90	444	—	46	74	0,343	473
2,95	429	—	45	73	0,348	460
3,00	415	—	44	72	0,358	435
3,05	401	—	42	71	0,368	412
3,10	388	—	41	71	0,373	401
3,15	375	—	40	70	0,378	390
3,20	363	—	39	70	0,383	380
3,25	352	—	38	—	0,393	361
3,30	341	—	37	—	0,402	344
3,35	331	—	36	—	0,408	335
3,40	321	—	35	—	0,417	320
3,45	311	—	34	—	0,422	312
3,50	302	—	33	—	0,427	305
3,55	293	—	31	—	0,437	291

Продолжение приложения 1

Твердость по Бринеллю HB		Твердость по Роквеллу			Твердость по Виккерсу HV	
диаметр отпечат- ка, мм	число твердо- сти	HRB	HRC	HRA	диаго- наль от- печатка, мм	число твердо- сти
3,60	285	—	30	—	0,442	285
3,35	277	—	29	—	0,447	278
3,70	269	—	28	—	0,452	272
3,75	262	—	27	—	0,462	261
3,80	255	—	26	—	0,467	255
3,85	248	—	25	—	0,472	250
3,90	241	100	24	—	0,481	240
3,95	235	99	23	—	0,487	235
4,00	229	98	22	—	0,496	226
4,05	223	97	—	—	0,502	221
4,10	217	97	—	—	0,506	217
4,15	212	96	—	—	0,511	213
4,20	207	95	—	—	0,516	209
4,25	201	94	—	—	0,526	201
4,30	197	93	—	—	0,531	197
4,35	192	92	—	—	0,541	190
4,40	187	91	—	—	0,547	186
4,45	183	89	—	—	0,551	183
4,50	179	88	—	—	0,561	177
4,55	174	87	—	—	0,565	174
4,60	170	86	—	—	0,570	171
4,65	167	85	—	—	0,581	165
4,70	163	84	—	—	0,586	162
4,75	159	83	—	—	0,591	159
4,80	156	82	—	—	0,601	154
4,85	152	81	—	—	0,605	152
4,90	149	80	—	—	0,611	149
4,95	146	78	—	—	0,615	147
5,00	143	76	—	—	0,622	144

Продолжение приложения 1

Твердость по Бринеллю HB		Твердость по Роквеллу			Твердость по Виккерсу HV	
диаметр отпечат- ка, мм	число твердо- сти	HRB	HRC	HRA	диаго- наль от- печатка, мм	число твердо- сти
5,05	140	76	—	—	—	—
5,10	137	75	—	—	—	—
5,15	134	74	—	—	—	—
5,20	131	72	—	—	—	—
5,25	128	71	—	—	—	—
5,30	126	69	—	—	—	—
5,35	123	69	—	—	—	—
5,40	121	67	—	—	—	—
5,45	118	66	—	—	—	—
5,50	116	65	—	—	—	—
5,55	114	64	—	—	—	—
5,60	111	62	—	—	—	—
5,65	109	61	—	—	—	—
5,70	107	59	—	—	—	—
5,75	105	58	—	—	—	—
5,80	103	57	—	—	—	—
5,85	101	56	—	—	—	—
5,90	99,2	54	—	—	—	—
5,95	97,3	53	—	—	—	—
6,00	95,5	52	—	—	—	—

Примечания:

Числа твердости по Бринеллю получены при нагрузке 29430 Н (3000 кгс) и шарики диаметром 10 мм.

Числа твердости по Виккерсу получены при нагрузке 294,2 Н (30 кгс).

Лабораторная работа №2 **«МИКРОСТРУКТУРА, СВОЙСТВА И** **МАРКИРОВКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ»**

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение классификации, микроструктуры, маркировки, свойств и области применения углеродистых сталей.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Углеродистые стали – это сплавы железа и углерода, содержащие не более 2,14% углерода. Кроме этого стали содержат примеси: постоянные и случайные. К постоянным примесям относят марганец (до 0,8%), кремний (до 0,4%), серу (до 0,05%), фосфор (до 0,04%) и газы: азот, кислород и водород (тысячные доли процента). Их наличие обусловлено технологическими особенностями производства стали (марганец, кремний) или невозможностью полного удаления из металла (сера, фосфор, газы). Случайные примеси (хром, никель, медь и др.) попадают в сталь из-за того, что они содержатся в рудах данного географического района или связаны с определённым технологическим процессом производства.

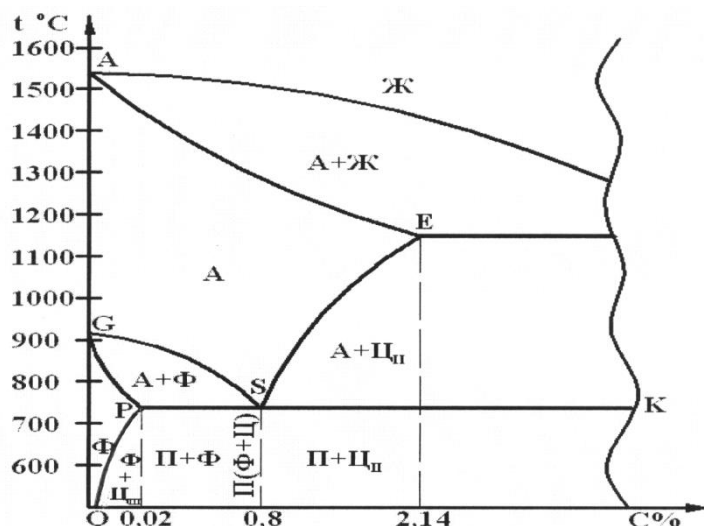
2.1. Фазы и структурные составляющие в системе железо-углерод

В системе железо-углерод различают следующие фазы: жидкий сплав, феррит, аустенит, цементит и графит (в сталях отсутствует).

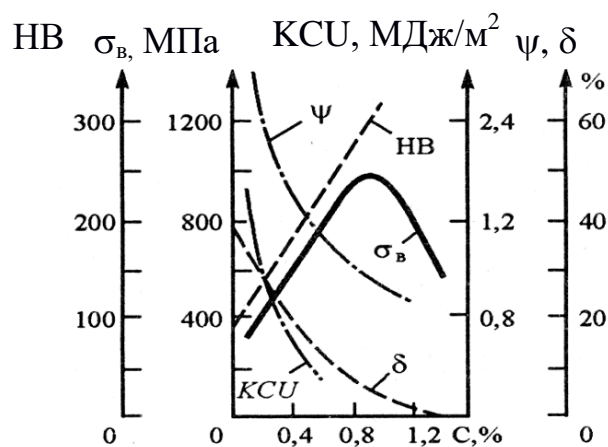
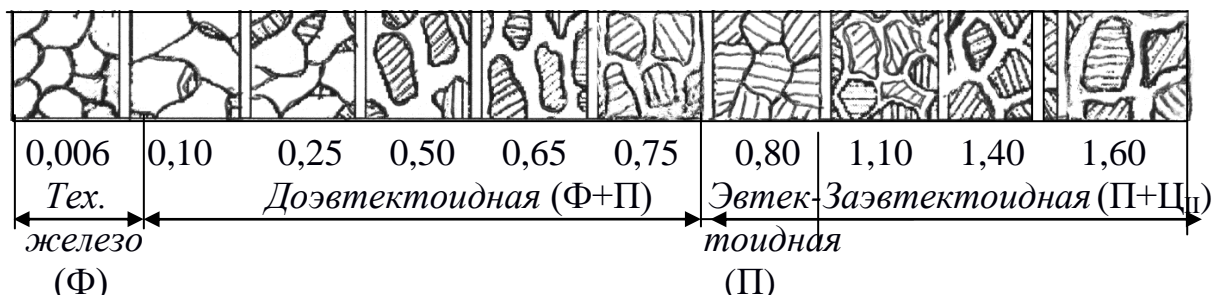
Феррит – твердый раствор внедрения углерода в α -железе. Кристаллическая решетка – кубическая объемно-центрированная. Феррит существует в области QPG диаграммы Fe-Fe₃C (рис. 1, а). Максимальное содержание углерода в нём составляет 0,02% при температуре 727 °С. При температуре 20 °С в феррите содержится

0,006% углерода. Механические свойства феррита: $\sigma_b=250$ МПа, $\delta=50\%$, $\psi=80\%$, 80-100 НВ.

Аустенит – твердый раствор внедрения углерода в γ -железе. Решетка – кубическая гранецентрированная. Аустенит существует в области AESG (рис.1, а). Максимальная растворимость углерода 2,14% при температуре 1147 °С. Аустенит имеет следующие механические свойства: $\sigma_b=500-800$ МПа, $\delta=50\%$, 160-200 НВ.



а



б

Рис. 1. Часть диаграммы состояния Fe-Fe₃C (а), микроструктура (б) и механические свойства углеродистых сталей в отожженном равновесном состоянии (в)

Цементит – химическое соединение железа с углеродом, карбид железа Fe₃C. Содержание углерода в цементите 6,67%. Механические свойства: $\delta=0\%$, 800 НВ.

Структурные составляющие системы железо-углерод: перлит и ледебурит. В структуре сталей ледебурит отсутствует.

Перлит – эвтектоидная механическая смесь двух фаз: феррита и цементита. Образуется из аустенита при температуре 727 °С. Содержание углерода в перлите 0,8%. Цементит, входящий в состав перлита, может иметь форму пластин и глобулей (зерен). Поэтому различают перлит пластинчатый и зернистый. Механические свойства пластинчатого перлита: $\sigma_b=820-900$ МПа, $\delta=15\%$, 180-220 НВ. Зернистый перлит по сравнению с пластинчатым имеет пониженную твердость и прочность, но повышенную пластичность.

2.2. Микроструктура углеродистых сталей

Углеродистые стали в соответствии с диаграммой Fe-Fe₃C (рис. 1, а, б) по содержанию углерода и по структуре подразделяют на доэвтектоидные (содержат 0,02–0,8% углерода), эвтектоидные (0,8% углерода), заэвтектоидные (0,8–2,14% углерода). Сплавы, содержащие менее 0,02% углерода, называются техническим железом.

Микроструктура технического железа – феррит.

Микроструктура доэвтектоидной стали состоит из перлита и феррита. С увеличением содержания углерода в стали количество перлита увеличивается. Содержание углерода в доэвтектоидной стали определяют по формуле

$$C = \frac{0,8F_n}{100}, \quad (1)$$

где F_n – площадь, занятая перлитом на шлифе, %;

0,8 – содержание углерода в перлите.

При просмотре шлифа количество перлита определяют визуально методом сравнения с эталоном шкалы ГОСТ 8233-56 (рис. 2) или методами количественной металлографии.

Микроструктура эвтектоидной стали – пластинчатый перлит.

Микроструктура заэвтектоидной стали состоит из пластинчатого перлита и вторичного цементита, который выделяется в виде сетки по границам перлитных зерен. Содержание углерода в заэвтектоидной стали можно определить по формуле

$$C = \frac{0,8F_n + 6,67F_{\text{ц}}}{100}, \quad (2)$$

где F_n – площадь, занятая перлитом, %;

0,8 – содержание углерода в перлите;

$F_{\text{ц}}$ – площадь, занятая цементитом, %;

6,67 – содержание углерода в цементите.

2.3. Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей

Углерод повышает твердость и прочность (при содержании до 1%), но снижает пластичность и вязкость стали (рис. 1, в). Он влияет и на технологические свойства. С увеличением содержания углерода снижается способность стали деформироваться в горячем и особенно в холодном состояниях, ухудшаются литейные свойства и свариваемость.

Марганец и кремний являются полезными примесями. Марганец повышает прочность стали, не снижая пластичности, увеличивает прокаливаемость, уменьшает красноломкость (хрупкость при высоких температурах). Кремний упрочняет сталь, но снижает её пластичность. Сера, фосфор и газы (азот, кислород, водород) – вредные примеси. Сера снижает пластичность и вязкость стали, придаёт ей красноломкость, ухудшает свариваемость и коррозионную стойкость. Фосфор снижает пластичность и вязкость, вызывает хладноломкость стали (охрупчивание при пониженных температурах). Вредное влияние газов проявляется в

снижении пластичности и повышении склонности стали к хрупкому разрушению.

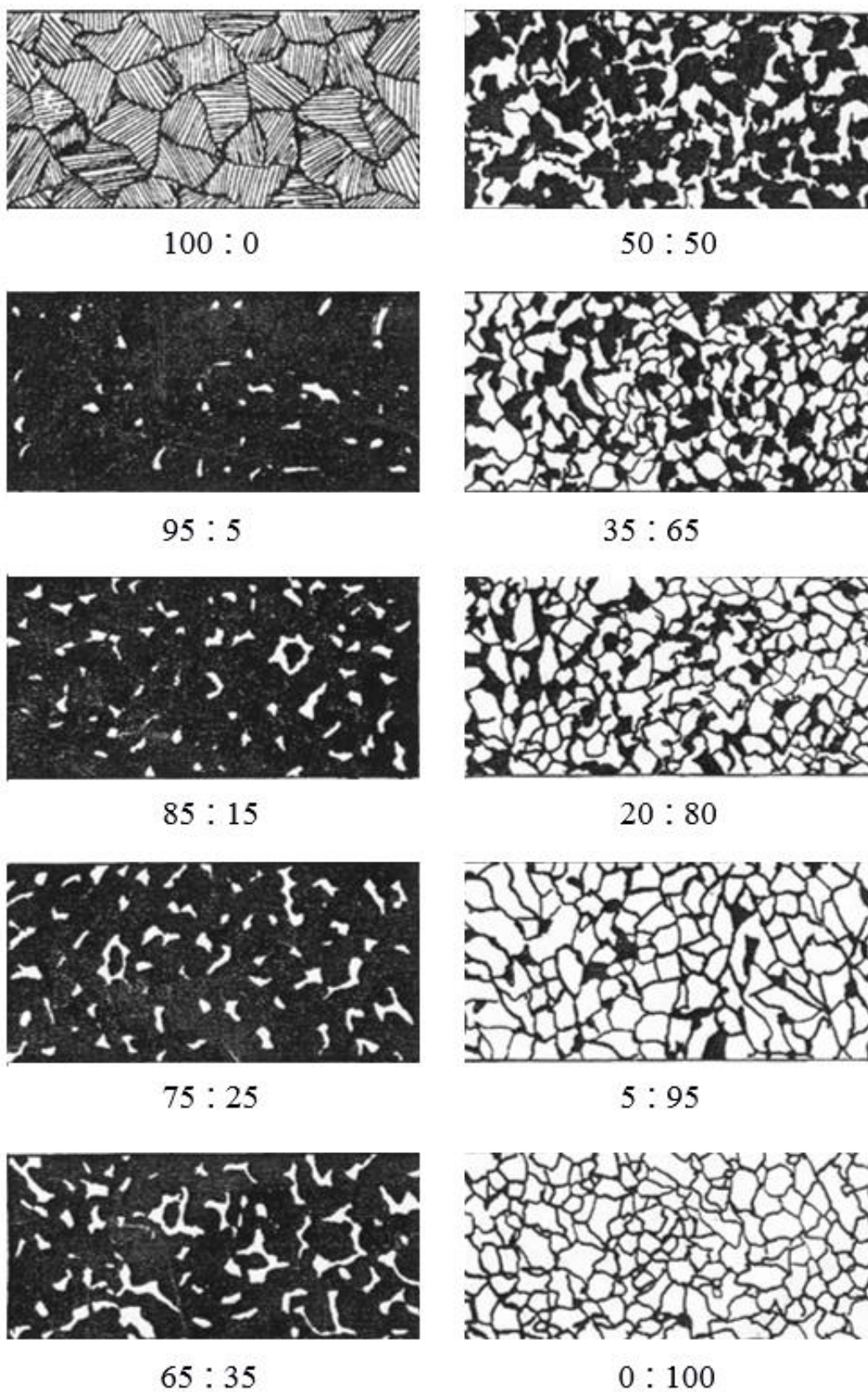


Рис. 2. Эталоны микроструктуры стали (ГОСТ 8233)

2.4. Классификация углеродистых сталей

Углеродистые стали классифицируют по содержанию углерода, качеству, способу производства, степени раскисления, структуре и назначению.

По содержанию углерода стали делят на низкоуглеродистые (содержат менее 0,3% углерода), среднеуглеродистые (0,3–0,6% углерода) и высокоуглеродистые (более 0,6% углерода).

По качеству (содержанию вредных примесей: серы и фосфора) углеродистые стали классифицируют на стали обыкновенного качества (содержат не более 0,05% серы и не более 0,04% фосфора), качественные (не более 0,04% серы и 0,035% фосфора) и высококачественные (не более 0,025% серы и 0,025% фосфора).

По способу производства различают стали выплавленные в электропечах, мартеновских печах и в кислородных конвертерах.

По степени раскисления стали подразделяют на спокойные, полуспокойные и кипящие. Раскисление – процесс удаления из жидкой стали кислорода, который уменьшает её прочность, пластичность и вязкость. Спокойные стали получают полным раскислением марганцем, кремнием и алюминием. Они содержат мало кислорода и затвердевают спокойно без газовыделения. Кипящие стали раскисляют только марганцем. В них содержится повышенное количество кислорода, который при затвердевании, взаимодействуя с углеродом, образует газ CO. Выделение пузырьков CO создает впечатление кипения стали. Спокойная сталь обладает лучшими свойствами, но является более дорогой. Полуспокойные стали (раскисляют марганцем и кремнием) занимают промежуточное положение между спокойными и кипящими.

По структуре стали разделяют на доэвтектоидные (структура – феррит и перлит), эвтектоидные (перлит) и заэвтектоидные (перлит и цементит).

По назначению углеродистые стали делят на конструкционные (предназначены для изготовления деталей машин, конструкций и сооружений) и инструментальные (для изготовления различного инструмента).

2.5. Маркировка углеродистых сталей

2.5.1. Углеродистые конструкционные стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-2005)

Это самые дешевые конструкционные стали. В процессе выплавки они меньше всех очищаются от вредных примесей.

Стали обыкновенного качества маркируют буквами «Ст» (Сталь) и цифрами от 0 до 6, которые означают условный номер марки. Чем больше номер стали, тем больше в ней содержание углерода и, следовательно, выше прочность и ниже пластичность. Буква «Г» означает марганец при его содержании в стали более 0,8%. Степень раскисления указывают буквами: «сп» – спокойная, «пс» – полуспокойная, «кп» – кипящая. Сталь Ст0 по степени раскисления не разделяют, в ней регламентируют только содержание углерода (не более 0,23%), серы (до 0,06%) и фосфора (до 0,07%).

Например: Ст3кп – сталь углеродистая обыкновенного качества, номер 3, кипящая.

Из сталей обыкновенного качества изготавливают горячекатаный прокат: балки, швеллеры, уголки, а также листы и трубы. Их широко применяют в строительстве для сварных, клепаных и болтовых конструкций, реже для изготовления малонагруженных деталей машин (валы, оси, звёздочки и т.д.).

2.5.2. Углеродистые конструкционные качественные стали (ГОСТ 1050-1988)

К таким сталям предъявляются более высокие требования по содержанию вредных примесей (серы не более 0,04%, фосфора не более 0,035%), а также по неметаллическим включениям. Качественные углеродистые конструкционные стали маркируют числами: 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 58, 60, которые указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Степень раскисления обозначают: кипящую – «кп», полуспокойную – «пс», спокойную – без индекса.

Например: сталь 15 – углеродистая конструкционная качественная, содержит в среднем 0,15% углерода, спокойная.

Качественные конструкционные стали широко применяют для изготовления самых разнообразных деталей машин во всех отраслях машиностроения.

2.5.3. Углеродистые инструментальные стали (ГОСТ 1438-99)

Эти стали выпускаются качественными (содержание серы не более 0,028%, фосфора не более 0,03%) и высококачественными (серы не более 0,018%, фосфора не более 0,025%).

Углеродистые инструментальные стали маркируют буквой «У» (углеродистая) и числом, показывающим среднее содержание углерода в десятых долях процента. Буква «А» в конце марки указывает на то, что сталь высококачественная. Буква «Г» означает повышенное содержание марганца (0,33–0,58%).

Например: У10А – углеродистая инструментальная сталь, содержащая в среднем 1% углерода, высококачественная.

Углеродистые инструментальные стали используют для изготовления измерительных инструментов (калибры простой формы), небольших штампов холодной высадки и вытяжки, режущих инструментов (мелкие метчики, сверла, напильники, пилы и др.), работающих при небольших скоростях резания.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАНЯТИЯ

1. Просмотреть коллекцию микрошлифов с помощью металлографического микроскопа.
2. Определить содержания углерода в сталях, используя формулы (1) и (2).
3. По содержанию углерода определить марку сталей.
4. Используя приложения, определить химический состав, механические свойства и область применения каждой стали.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчёт должен содержать:

Наименование и цель практического занятия.

- Краткое изложение основных теоретических положений.
3. Результаты выполнения занятия, сведенные в таблицу.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение фаз в системе Fe-Fe₃C.
2. Что такое перлит?
3. Опишите структуру технического железа, доэвтектоидной, эвтектоидной, заэвтектоидной сталей.
4. Как определяют содержание углерода в сталях по микроструктуре?
5. Назовите постоянные примеси в углеродистых сталях.
6. Как влияет углерод и постоянные примеси на свойства сталей?
7. Как классифицируют стали по содержанию углерода?
8. Как маркируют углеродистые инструментальные стали?

Таблица 1

Оформление отчета

[illegible]

**Химический состав (ГОСТ 380-2005) и механические свойства горячекатаного проката
из конструкционной углеродистой стали обыкновенного качества**

Марка стали	Химический состав, %					Механиче- ские свойства		Область применения
	C	Mn	Si	S	P	σ_B , МПа	δ , %	
Ст0	$\leq 0,23$	—	—	$\leq 0,06$	$\leq 0,07$	≥ 300	23	Неответственные строитель- ные конструкции, прокладки, шайбы
Ст1кп	0,06– 0,12	0,25– 0,90	$\leq 0,05$	не более 0,05	не более 0,04	300– 390	35	Малонагруженные детали: за- клепки, шайбы, прокладки, кожухи
Ст1пс	0,06– 0,12	0,25– 0,50	0,05– 0,15			310– 410	34	
Ст1сп	0,06– 0,12	0,25– 0,50	0,15– 0,30			310– 410	34	
Ст2кп	0,09– 0,15	0,25– 0,50	$\leq 0,05$			320– 410	33	Детали металлоконструкций: рамы, оси, валики
Ст2пс	0,09– 0,15	0,25– 0,50	0,05– 0,15			330– 430	32	
Ст2сп	0,09– 0,15	0,25– 0,50	0,15– 0,30			330– 430	32	
Ст3кп	0,14– 0,22	0,40– 0,65	$\leq 0,05$			360– 460	27	Рамы, крюки кранов, кольца, цилиндры, крышки, цементи- руемые детали

Продолжение приложения 1

Марка стали	Химический состав, %					Механические свойства		Область применения
	C	Mn	Si	S	P	σ_B , МПа	δ , %	
Ст3сп	0,14–0,22	0,40–0,65	0,15–0,30	не более 0,05	не более 0,04	370–480	26	Рамы, крюки кранов, кольца, цилиндры, крышки, цементируемые детали
Ст3Гпс	0,14–0,22	0,80–1,10	$\leq 0,15$			370–490	26	
Ст3Гсп	0,14–0,20	0,80–1,10	0,15–0,30			390–570	26	
Ст4кп	0,18–0,27	0,40–0,70	$\leq 0,05$			400–510	25	Валы, оси, тяги, пальцы, крюки, болты, гайки при невысоких требованиях к прочности
Ст4пс	0,18–0,27	0,40–0,70	0,05–0,15			410–530	24	
Ст4сп	0,18–0,27	0,40–0,70	0,15–0,30			410–530	24	
Ст5сп	0,28–0,37	0,50–0,80	0,05–0,15			490–630	20	Валы, оси, звездочки, крепежные детали при повышенных требованиях к прочности
Ст5сп	0,28–0,37	0,50–0,80	0,15–0,30			490–630	20	
Ст5Гпс	0,22–0,30	0,80–1,20	$\leq 0,15$			540–590	20	
Ст6пс	0,38–0,49	0,50–0,80	0,05–0,15			≥ 590	15	Валы, оси, муфты, цепи с высокой прочностью

**Химический состав и свойства углеродистых качественных конструкционных сталей
в нормализованном состоянии (ГОСТ 1050-88)**

Марка стали	Химический состав, %					Механические свой- ства			Область применения
	C	Mn	Si	S	P	HB	σ _в , МПа	δ, %	
						не более	не менее		
08	0,05– 0,12	0,35–0,65	0, 17- 0, 37	не более 0,040	не более 0,035	131	320	33	Шайбы, патрубки, прокладки
10	0,07– 0,14	0,35–0,65				143	330	31	Шайбы, прокладки, трубы
15	0,12– 0,19	0,35–0,65				149	370	27	Без ТО – болты, винты, крепеж. По- сле ХТО – рычаги, кулачки
20	0,17– 0,24	0,35–0,65				163	410	25	Без ТО – крюки кранов и муфты. После ХТО – шестерни, червяки
25	0,22– 0,30	0,50–0,80				170	450	23	Без ТО – оси, валы, соединительные муфты. После ХТО – винты, втулки
30	0,27– 0,35	0,50– 0,80				179	490	21	Тяги, траверсы, рычаги, звездочки, шпиндели

Продолжение приложения 2

Марка стали	Химический состав, %					Механические свой- ства			Область применения
	C	Mn	Si	S	P	HB	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	
						не бо- лее	не менее		
35	0,32– 0,40	0, 50-0, 80	0, 17- 0, 37	не более 0,040	не более 0,035	207	530	20	Оси, цилиндры, коленчатые валы, шатуны
40	0,37– 0,45					217	570	19	Коленчатые валы, шатуны, зубча- тые венцы, оси
45	0,42– 0,50					229	600	16	Вал-шестерни, коленчатые и распределительные валы, шпиндели
50	0,47– 0,55					241	630	14	Прокатные валки, штоки, оси, бан- дажи
55	0,52– 0,60					255	650	13	Зубчатые колеса, муфты сцепления коробок передач
60	0,57– 0,65					255	680	12	Колеса вагонов, диски сцепления, шпиндели

Приложение 3

Химический состав и свойства углеродистых инструментальных сталей после отжига
(ГОСТ 1435-99)

Марка стали	Химический состав, %					Механические свой- ства			Область применения
	C	Mn	Si	S	P	HB	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	
				не более			не более	не более	
У7	0,65– 0,74	0,17– 0,33	0, 17–0, 33	0,02 8	0,03 0	187	650	не определяется ГОСТом	Инструмент для обработки дерева: топоры, колуны, ста- мески
У7А	0,65– 0,74	0,17– 0,28		0,01 8	0,02 5	187	650		
У8	0,75– 0,84	0,17– 0,33		0,02 8	0,03 0	187	650		Инструмент для обработки дерева: фрезы, зенковки, пилы продольные и дисковые. Слесарно- монтажный инструмент: отвертки, кернеры, плоскогубцы, кусачки
У8А	0,75– 0,84	0,17– 0,28		0,01 8	0,02 5	187	650		
У8Г	0,80– 0,90	0,33– 0,58		0,02 8	0,03 0	187	650		
У8ГА	0,80– 0,90	0,33– 0,58		0,01 8	0,02 5	187	650		

Продолжение приложения 3

Марка стали	Химический состав, %					Механические свой- ства			Область применения
	C	Mn	Si	S	P	HB	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	
				не более			не более	не более	
У9	0,85– 0,94	0,17– 0,33	0,17–0,33	0,02 8	0,03 0	192	650	не определяется ГОСТом	Инструмент для обработки дерева: фрезы, зенковки, пилы продольные и дисковые. Слесарно- монтажный инструмент: отвертки, кернеры, плоскогубцы, кусачки
У9А	0,85– 0,94	0,17– 0,28		0,01 8	0,02 5	192	650		
У10	0,75– 0,84	0,17– 0,33		0,02 8	0,03 0	212	750		Инструмент для обработки дерева: пилы ручные, сверла спиральные
У10А	0,95– 1,09	0,17– 0,28		0,01 8	0,02 5	212	750		
У12	1,10– 1,29	0,17– 0,33		0,02 8	0,03 0	217	750		Метчики, напильники, шабе- ры и штамповый инструмент для холодной деформации
У12А	1,10– 1,29	0,17– 0,28		0,01 8	0,02 5	217	750		

Лабораторная работа №3 «МИКРОСТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение микроструктуры белых, серых, высокопрочных и ковких чугунов. Установление зависимости между структурой и механическими свойствами чугунов. Ознакомление с маркировкой и применением серых, высокопрочных и ковких чугунов.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Чугунами называются железоуглеродистые сплавы с повышенным (более 2,14% C) содержанием углерода. Повышенное количество углерода в составе чугунов приводит либо к образованию в структуре сплава твердой и хрупкой эвтектики в соответствии с диаграммой Fe-Fe₃C, либо к появлению свободного углерода в виде графита в результате процесса графитизации (таблица 1).

Образование кристаллов графита (графитизация чугуна) зависит в основном *от двух условий*: скорости охлаждения и наличия в чугуне «графитизирующих» примесей Si, Ni, Al и др. Препятствуют графитизации быстрое охлаждение и наличие карбидообразующих примесей Mn, Cr и др., а также серы. Для расчета шихты при выплавке чугуна пользуются структурными диаграммами, простейшие из которых представлены на рис. 1 а, б.

Так как графит содержит 100% углерода, а цементит всего 6,67%, то следует заключить, что жидкая фаза и аустенит по составу более близки к цементиту, чем к графиту, и поэтому образование цементита из жидкой фазы и аустенита должно протекать легче, чем графита, что и наблюдается по диаграмме Fe-Fe₃C.

3. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЧУГУНОВ, КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА

Из диаграммы рис. 1 следует, что в зависимости от скорости охлаждения и содержания углерода и кремния можно получить чугуны разных структурных классов.

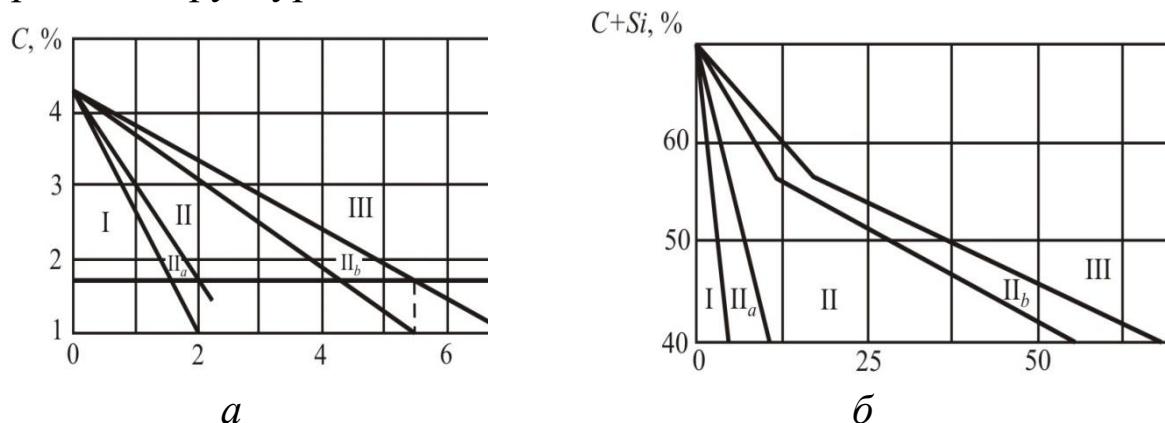


Рис.1. Структурная диаграмма чугунов:

а – в зависимости от соотношения углерода и кремния;

б – в зависимости от суммарного содержания C + Si
и от толщины стенки детали

I – белые чугуны, структура П + Л;

II_a – половинчатые чугуны, структура П + Г + Л;

II – серые перлитные чугуны, структура П + Г;

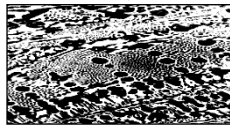

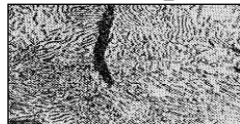
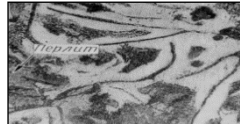
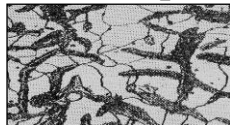
II_b – серые феррито-перлитные чугуны, структура Ф + П + Г;

III – серые ферритные чугуны, структура Ф + Г

Механизм формирования структуры в зависимости от степени графитизации проиллюстрирован в таблице 1. Основное отличие серых чугунов от белых заключается в отсутствии в их структуре первичного цементита, входящего в состав карбидной эвтектики.

Таблица 1

Механизм кристаллизации чугунов

Наименование чугуна		I кристаллизация	II кристаллизация	Структура
1	Белые чугуны (БЧ)	$\text{Ж} \rightarrow \text{А}$ $\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1147^\circ} \text{Л}(\text{А} + \text{Ц}_I)$	$\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727^\circ} \text{Ц}_{II}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{727^\circ} \text{П}(\Phi + \text{Ц})$	$\text{П} + \text{Ц}_{II} + \text{Л}(\text{П} + \text{Ц})$ 
2	Половинчатые	$\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1153^\circ} \text{А} + \text{Гр} \rightarrow \text{СЧ}$ $\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1147^\circ} \text{Л}(\text{А} + \text{Ц}_I) \rightarrow \text{БЧ}$	$\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727^\circ} \text{Ц}_{II}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{727^\circ} \text{П}(\Phi + \text{Ц})$	$\text{П} + \text{Ц}_{II} + \text{Л} + \text{Гр}$ 
3	Серый чугун на перлитной основе (СЧ)	$\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1153^\circ} \text{А} + \text{Гр}$	$\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727^\circ} \text{Ц}_{II}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{727^\circ} \text{П}(\Phi + \text{Ц})$	$\text{П} + \text{Гр}$ 
4	СЧ на феррито-перлитной основе	$\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1153^\circ} \text{А} + \text{Гр}$	$\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727^\circ} \text{Ц}_{II}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{738^\circ} \Phi + \text{Гр}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{727^\circ} \text{П}(\Phi + \text{Ц})$	$(\Phi + \text{П}) + \text{Гр}$ 
5	СЧ на ферритной основе	$\text{Ж}_{4,3} \xrightarrow{1153^\circ} \text{А} + \text{Гр}$	$\text{А}_{2,14-0,8} \xrightarrow{1147-727^\circ} \text{Гр}$ $\text{А}_{0,8} \xrightarrow{738^\circ} \Phi + \text{Гр}$	$\Phi + \text{Гр}$ 

3.1. Белые чугуны

Белыми называют чугуны, в которых весь углерод находится в связанном состоянии – в виде цементита. Структуры таких чугунов соответствуют структурам диаграммы Fe-Fe₃C при содержании углерода более 2,14%. По структуре различают *доэвтектические* (< 4,3% С), *эвтектический* (4,3% С) и *заэвтектические* (> 4,3% С) белые чугуны. Большое количество цементита в структуре определяет их механические свойства, они обладают высокой твердостью (НВ 450–550 в доэвтектических чугунах и до НВ 700 в заэвтектических) и хрупкостью, очень трудно обрабатываются резанием. Поэтому нашли ограниченное применение как конструкционные материалы только доэвтектические белые чугуны, в том числе легированные, для деталей, работающих в условиях абразивного трения (шары и бронеплиты шаровых мельниц, рабочие колеса центробежных насосов для перекачки водоугольных суспензий, тормозные колодки и др.). Эвтектические и заэвтектические белые чугуны нашли применение как передельные чугуны в производстве стали. Повышение содержания углерода приближает сплав к эвтектическому составу, уменьшает температуру плавления и температурный интервал кристаллизации, что положительно отражается на литейных свойствах сплавов.

Структуры белых чугунов представлены на рис. 2.

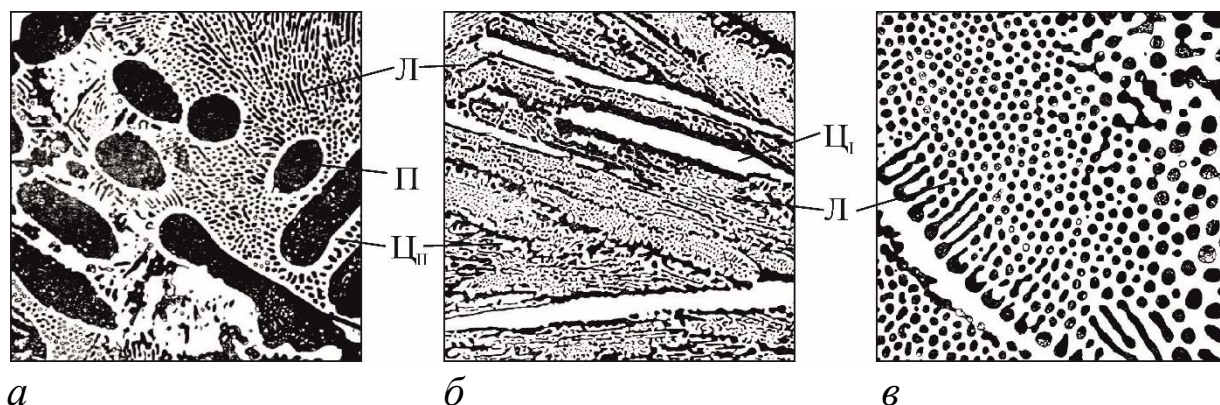


Рис. 2. Структуры белых чугунов: *а* – доэвтектического; *б* – заэвтектического; *в* – эвтектического (П – перлит; Ц – цементит; Л – ледебурит)

3.2. Серые чугуны

Серыми называют чугуны, в которых часть углерода находится в виде цементита ($C_{\text{связ}} \leq 0,8\%$), остальной углерод образует кристаллы графита. Структуры таких чугунов соответствуют областям II, II_b, III диаграмм рис. 1 и приведены в таблице 1. В зависимости от степени графитизации меняется структура металлической основы и, соответственно, количество и размеры кристаллов графита. Подбором химсостава (C + Si)% и скоростью охлаждения можно обеспечить получение различной структуры металлической основы. Однако этот путь ограничен получением предела прочности при растяжении не более 250–280 МПа в перлитном сером чугуне. Повышение прочностных характеристик чугуна возможно с применением технологических приемов, обеспечивающих изменение формы, размеров и распределение графитовых включений. К таким приемам относятся модифицирование, термообработка чугуна. Примеры структур серого чугуна в зависимости от формы графита и структуры основы представлены в таблице 2.

Чем больше графита, чем он крупнее, чем неравномернее он расположен в металлической основе – тем ниже прочность чугуна. При одинаковой форме графита, прочность тем выше, чем больше в структуре металлической основы перлита. Наибольшей прочностью и твердостью обладают перлитные серые чугуны.

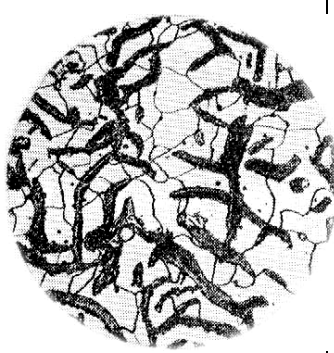
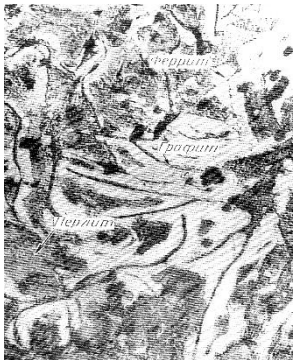

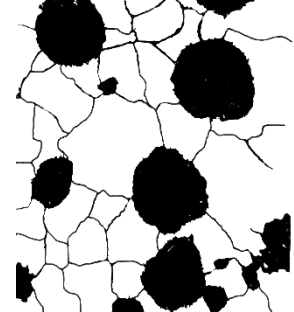
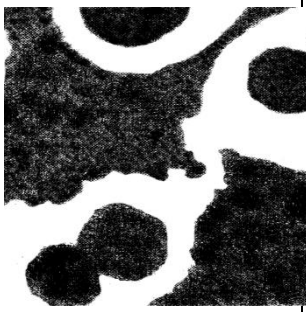
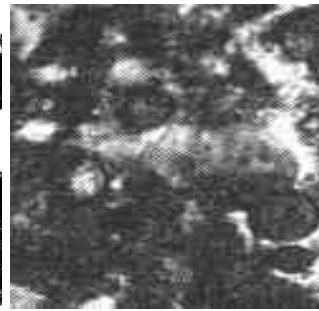
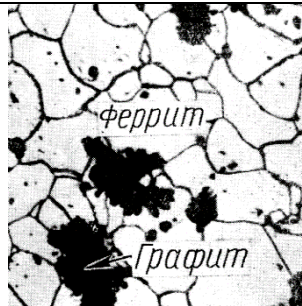
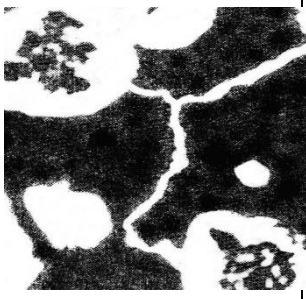
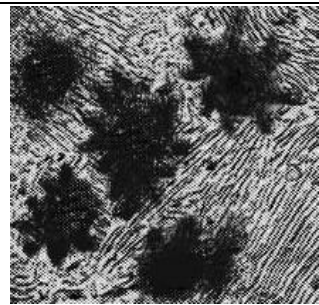
3.2.1. Модифицированный кремнием серый чугун

Цель – получение перлитного серого чугуна с мелким «завихренным» равномерно распределенным пластинчатым графитом. Достигается это путем обработки жидкого чугуна при выпуске из плавильной печи небольшими добавками (0,3–0,5%) ферросилиция или силикокальция. Под струю металла в литейный ковш засыпается порция свежеразмолотого ферросилиция, который растворяется и размешивается в чугуне. Жидкий чугун должен быть перегрет до 1400°C, иметь химсостав, который после затвердевания дал бы структуру половинчатого чугуна (таблица 1). Добавление кремния в жидкий металл переводит по химсоставу чугун из области II_a в область II, т.е. обеспечивает получение перлитного серого чугуна (рис. 1). Часть кремния расходуется на связывание растворенного в

чугуне кислорода, при этом образуются мелкие твердые частицы SiO_2 ($T_{\text{пл}} \sim 1710^\circ\text{C}$), которые служат дополнительными зародышами кристаллов графита. Таким образом, графит измельчается, более равномерно распределяется, временное сопротивление может быть повышено до 350–400 МПа.

Таблица 2

Структура серых чугунов

Название, группа, марка	Структурный класс чугуна		
	ферритный	феррито- перлитный	перлитный
Серый чугун			
Марка	СЧ10; СЧ15	СЧ15; СЧ20	СЧ25; СЧ30*
Высоко- прочный чугун			
Марка**	ВЧ40	ВЧ45; ВЧ50	ВЧ60; ВЧ70
Ковкий чугун			
Марка	КЧ33-8; КЧ37-12	КЧ45-7; КЧ50-5	КЧ60-3; КЧ65-3

Примечания:

* – Модифицированный кремнием серый чугун

** – Модифицированный магнием высокопрочный чугун

3.2.2. Модифицированный магнием высокопрочный чугун

Это разновидность серого чугуна, получившая другое название из-за существенного различия механических характеристик. Цель модифицирования магнием – получить шаровидный графит, который по сравнению с пластинчатым является значительно меньшим концентратором напряжений, меньше «ослабляет» металлическую основу, тем самым повышая прочность чугуна. Для этого жидкий перегретый до 1400–1500°C чугун обрабатывается добавками в ковш 0,3–0,5% по массе магния, который должен раствориться в чугуне, и при кристаллизации, будучи поверхностно-активным веществом относительно растущих кристаллов графита, обеспечить одинаковую скорость роста во всех направлениях и получение шаровидной формы графита. Чтобы магний не расходовался на реакции с кислородом и серой, перед обработкой магнием в ковш дают 0,3% ферросилиция, а выплавленный чугун должен быть очень чистым по сере ($\leq 0,01\text{--}0,02\%$ S). Введение магния в жидкий чугун сопряжено с рядом трудностей: магний – легкий металл ($\rho \sim 1,7 \text{ г/см}^3$), его температура кипения ниже температуры жидкого чугуна. Один из вариантов современной технологии – введение магния «под колоколом» в ковш с жидким чугуном, помещенный в герметичную камеру – автоклав, где предварительно повышается давление до 10 атм.

Структуры высокопрочного чугуна приведены в таблице 2. Прочность при растяжении в таком чугуне достигает 800 МПа, а после термообработки – 1000 МПа.

3.2.3. Получение ковкого чугуна с хлопьевидным графитом

Хлопьевидный графит (углерод отжига) меньше, чем пластинчатый, ослабляет металлическую основу, поэтому чугун с таким графитом более прочен, чем серый чугун. Получают чугун с такой формой графита и перлитной или ферритной основой высокотемпературным отжигом белого доэвтектического чугуна (рис. 3).

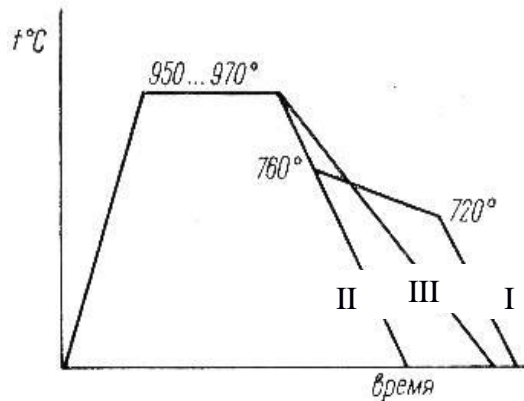


Рис. 3. Схемы режимов отжига отливок на ковкий чугун:
 I – отжиг на ферритный чугун;
 II – отжиг на перлитный чугун;
 III – отжиг на феррито-перлитный чугун

Для этого используется белый чугун (область I, рис. 1). Он разливается в формы и после затвердевания имеет структуру $\Pi + \text{Ц}_{\text{II}} + \text{Л}$. Последующий отжиг при температуре 950–1000°C с длительной выдержкой вызывает распад первичного цементита и диффузию атомов углерода, собирающихся в компактные включения графита хлопьевидной формы (таблица 2). Различная степень графитизации регулируется разными режимами охлаждения и получается ферритный (режим I, рис. 3), перлитный (режим II, рис. 3) либо феррито-перлитный ковкий чугун (режим III, рис. 3). Общая продолжительность отжига достигает 70–80 ч., что сильно удорожает процесс. Возможность гарантированного получения структуры белого чугуна только в тонком сечении (область I, рис. 1) ограничивает применение этого чугуна только для мелких тонкостенных деталей.

Структуры ковкого чугуна представлены в таблице 2. Прочность при растяжении у ковких чугунов может быть до 800 МПа.

3.3. Маркировка чугунов

Серые чугуны с пластинчатым графитом регламентируются ГОСТ 1412-85. Они маркируются буквами СЧ и цифрами, например СЧ25. Цифры указывают, что прочность на растяжение этого чугуна не менее 250 МПа (25 кгс/мм²).

Высокопрочные чугуны с шаровидным графитом по ГОСТ 7293-85 маркируются буквами ВЧ и цифрами, значение цифр то же, что и у серого чугуна. Например, ВЧ60 имеет $\sigma_B \geq 600$ МПа (60 кгс/мм²).

Ковкие чугуны с хлопьевидным графитом по ГОСТ 1215-79 маркируются буквами КЧ и двумя группами цифр. Первая группа цифр показывает временное сопротивление растяжению, вторая группа цифр обозначает относительное удлинение. Например, КЧ37–12 имеет $\sigma_B \geq 370$ МПа (37 кгс/мм²) и $\delta \geq 12\%$.

Серые чугуны – широко применяемые конструкционные материалы, обладающие хорошими технологическими свойствами, хорошо работают на сжатие, изгиб, обладают антифрикционными свойствами, гасят вибрации. Примеры применения чугунов различных марок даны в прил. 1, а их свойства – в прил. 2.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАНЯТИЯ

1. Изучить микроструктуру белых и серых чугунов при просмотре коллекции микрошлифов на металлографическом микроскопе.

2. Зарисовать микроструктуры в таблице отчета (таблица 3) и расшифровать их, обозначив структурные составляющие.

3. Сравнить зарисованные структуры с классификатором структур рис. 3, назвать чугун каждого образца, его марку и примерное назначение по прил. 1.

4. Пользуясь таблицами химического состава и механических свойств ГОСТ 1412-85, ГОСТ 7293-85, ГОСТ 1215-79 (прил. 2), заполнить соответствующие графы таблицы отчета.

Таблица 3

Форма отчета

№ шлифа	Микроструктура		Название чугуна, марка, ГОСТ	Хим. состав, %					Мех. свойства			Примерное назначение
	рисунок	название		C	Si	Mn	P	S	HВ	σ_B	δ	

5. Проанализировать информацию, содержащуюся в таблице отчета и сделать выводы:

- о влиянии структуры металлической основы при одинаковой форме графита на σ_B ; HВ; δ ;
- влиянии формы графитовых включений при одинаковой структуре металлической основы на HВ; σ_B ; δ .

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие железоуглеродистые сплавы называют «белые чугуны»?

2. Какое содержание углерода в доэвтекктическом белом чугуне? Заэвтекктическом? Эвтекктическом?

3. Железоуглеродистые сплавы имеют структуру:

а) П + Л + Ц

г) П + $\Gamma_{ХЛ}$

б) Ф + П + $\Gamma_{ПЛ}$

д) Ф + $\Gamma_{Ш}$

в) Л + Ц

е) П + $\Gamma_{ПЛ}$

Назовите их.

4. Серые чугуны имеют структуру:

а) Ф + Г;

б) П + Г;

в) Ф + П + Г.

Какой из них наиболее прочен?

5. Чугун со структурой П + Г лучше работает на растяжение? На сжатие?

Область применения серых чугунов

Марка чугуна	Примерное применение
СЧ 10	<u>Серые чугуны</u> Грузы, противовесы, ширпотреб (печное литье)
СЧ 15	Слабонагруженные корпусные детали станков, пилорам – станины, стойки, кронштейны
СЧ 20 СЧ 25	Нагруженные корпусные детали: станины крупных станков, корпуса редукторов, шкивы, маховики, блоки цилиндров, гильзы автотракторных двигателей и т.д.
СЧ 30 СЧ 35	Тяжелонагруженные детали электродвигателей (станины, щиты подшипниковые), дизельных двигателей (блоки цилиндров, гильзы, диски сцепления), зубчатые колеса, муфты и другие детали станков
ВЧ 40 ВЧ 45	<u>Высокопрочные чугуны</u> Балки рольгангов, траверса, рама реверсивного прокатного стана, блок экскаватора, вал эксцентрика, детали гидро- и паровых турбин.
ВЧ 50	Коленчатые валы крупных двигателей 600, 900, 1200, 2000 л.с, детали горнорудного и размольного оборудования, корпус, траверса, кронштейн рабочей клетки прокатного стана, ковочного пресса и др.
ВЧ 60 ВЧ 70	Коленчатые валы легковых автомобилей, тракторов, комбайнов, цилиндрические конические шестерни, венец барабана канатного подъемника, шестерня угледробилки и др.
КЧ 33-8 КЧ 35-10	<u>Ковкие чугуны</u> Для сельхозмашин: детали шасси, корпусные, кронштейны, втулки, фитинги, пробки, барашки
КЧ 37-12 КЧ 45-6	Для автомобилей: корпусные детали шасси, подвески, картеры мостов, коробки передач, дифференциала, втулки, рычаги, кронштейны и др.

Приложение 2

Химический состав и механические свойства чугунов

Химический состав отливок из серого чугуна ГОСТ 1412-1985

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %		
	Углерод	Кремний	Марганец
СЧ 10	3,5–3,7	2,2–2,6	0,5–0,8
СЧ 15	3,5–3,7	2,0–2,4	0,5–0,8
СЧ 20	3,3–3,5	1,4–2,4	0,7–1,0
СЧ 25	3,2–3,4	1,4–2,2	0,7–1,0
СЧ 30	3,0–3,2	1,3–1,9	0,7–1,0
СЧ 35	2,9–3,0	1,2–1,5	0,7–1,1

Примечание: 1) $P \leq 0,3-0,2$; 2) $S \leq 0,15-0,12$

Механические свойства отливок из серого чугуна
ГОСТ 1412-1985

Марка чу- гуна	Временное сопротивление при растяжении σ_b , МПа (кгс/мм ²), не менее	Твердость НВ, не менее
СЧ 10	100 (10)	156
СЧ 15	150 (15)	163
СЧ 20	200 (20)	170
СЧ 25	250 (25)	187
СЧ 30	300 (30)	197
СЧ 35	350 (35)	229

Примечание: 1. Для отливки толщиной стенки 15 мм
2. Относительное удлинение 0%

Химический состав высокопрочного чугуна ГОСТ 7293-85

Марка чугуна	Массовая доля элементов, %		
	Углерод	Кремний	Марганец
ВЧ 35	3,3–3,5	1,9–2,9	0,2–0,6
ВЧ 40	3,3–3,6	1,9–2,9	0,2–0,6
ВЧ 45	3,3–3,6	1,9–2,9	0,3–0,7
ВЧ 50	3,3–3,6	1,9–2,9	0,3–0,7
ВЧ 60	3,3–3,6	2,4–2,6	0,4–0,7
ВЧ 70	3,3–3,6	2,6–2,9	0,4–0,7
ВЧ 80	3,3–3,6	2,6–2,9	0,4–0,7
ВЧ 100	3,3–3,6	3,0–3,8	0,4–0,7

Примечание: 1) $P \leq 0,1$, $S \leq 0,01–0,02$; 2) $Mg \leq 0,005$

Механические свойства высокопрочного чугуна ГОСТ 7293-85

Марка чугуна	Временное сопротивление при растяжении σ_B , МПа (кгс/мм ²) не менее	Относительное удлинение $\delta\%$, не менее	Твердость по Бринеллю, НВ
ВЧ 35	350 (35)	22	140–170
ВЧ 40	400 (40)	15	140–200
ВЧ 45	450 (45)	10	160–220
ВЧ 50	500 (50)	7	170–240
ВЧ 60	600 (60)	3	190–280
ВЧ 70	700 (70)	2	240–300
ВЧ 80	800 (80)	2	250–330
ВЧ 100	1000 (100)	2	270–360

Химический состав ковких чугунов ГОСТ 1215-79

Марка чугуна	Химический состав, %					
	Углерод	Кремний	Марганец	Фосфор	Сера	Хром
Чугун ферритного класса						
КЧ 30-6 КЧ 33-8	2,6–2,2	1,0–1,6	0,4–0,6	0,18	0,20	0,08
КЧ 35-10 КЧ 37-12	2,5–2,8 2,4–2,7	1,1–1,3 1,2–1,4	0,3–0,6 0,2–0,4	0,12 0,12	0,20 0,06	0,06 0,06
Чугун перлитного класса						
КЧ 45-7 КЧ 50-5 КЧ 55-4	2,5–2,8	1,2–1,4	0,3–1,0	0,1	0,2	0,08
КЧ 60-3 КЧ 65-3 КЧ 70-3 КЧ 80-1,5	2,4–2,7	1,2–1,4	0,3–1,0	0,1	0,06	0,08

Механические свойства ковких чугунов ГОСТ 1215-79

Марка чугуна	Временное сопротивление разрыву σ_B , МПа (кгс/мм ²), не менее	Относительное удлинение δ , %, не менее	Твердость, НВ
КЧ 30-6	294 (30)	6	100–163
КЧ 33-8	323 (33)	8	100–163
КЧ 35-10	333 (35)	10	100–163
КЧ 37-12	362 (37)	12	110–163
КЧ 45-7	441 (45)	7	150–207
КЧ 50-5	490 (50)	5	170–230
КЧ 55-4	539 (55)	4	192–241
КЧ 60-3	588 (60)	3	200–269
КЧ 65-3	637 (60)	3	212–269
КЧ 70-3	686 (70)	2	241–285
КЧ 80-1,5	784 (80)	1,5	270–326

Лабораторная работа №4 «ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ»

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Цель занятия – закрепление материала лекций по разделу «Термическая обработка». В ходе подготовки к занятию студенты должны на лекциях усвоить материал по теории превращений в сталях при нагреве и охлаждении, выбору температурно-временного режима основных технологических операций термообработки, назначение этих операций и область применения.

Содержание занятия – студенты по заданию преподавателя выбирают режимы нескольких операций термообработки для заданных марок сталей, выполняют эти операции на практике, контролируя изменения твердости, анализируют полученные результаты.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Любая операция термической обработки состоит в нагреве детали (образца) до определенной температуры (ниже температуры солидуса, т.е. в твердом состоянии), выдержке при этой температуре в течение промежутка времени, необходимого для завершения всех предусмотренных превращений, и охлаждении с заданной скоростью, обеспечивающей формирование требуемой структуры и свойств.

В технологии термообработки сталей применяется много разных по назначению операций, которые принято делить на следующие группы:

- отжиг I рода (без фазовой перекристаллизации);
- отжиг II рода (с фазовой перекристаллизацией);
- закалка;
- отпуск.

Первые две группы операций имеют целью получение равновесной мелкозернистой структуры без внутренних напряжений с наиболее благоприятными технологическими свойствами – обрабатываемостью резанием, давлением и т.д. Их обычно относят к пред-

варительным операциям термообработки, подготавливающим металл заготовок к последующим технологическим операциям.

Закалка и отпуск предназначены для формирования структуры и свойств металла, наиболее отвечающих требованиям условий службы готовых деталей; их принято считать операциями окончательной термообработки.

Структуры сталей после предварительной термообработки соответствуют структурам, показанным на участке диаграммы Fe-Fe₃C (рис. 1), с механическими свойствами некоторых марок сталей, с равновесными структурами студенты ознакомились на предыдущих лабораторных занятиях.

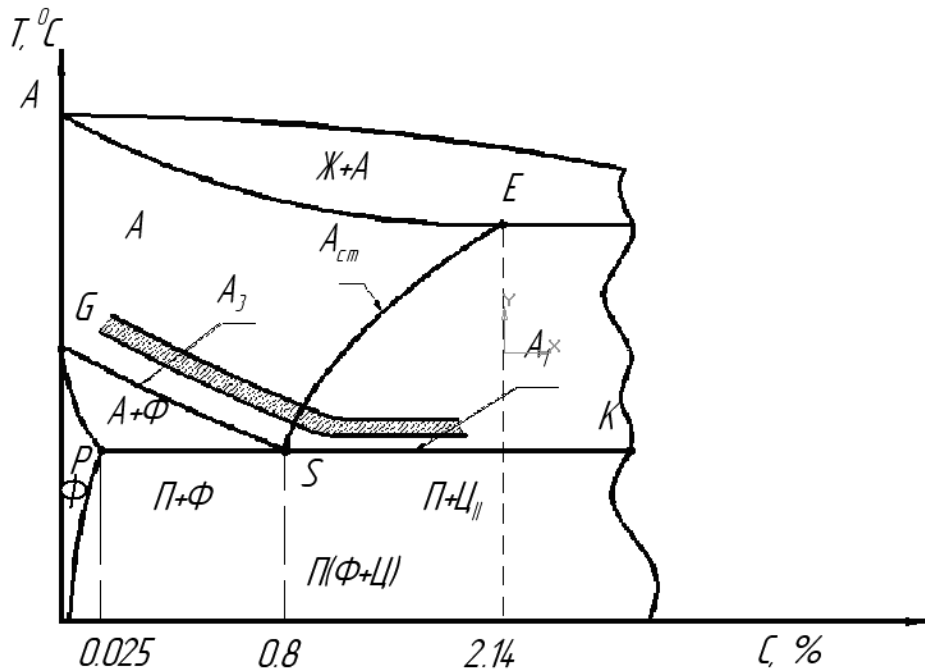


Рис. 1. Диаграмма состояния Fe-Fe₃C:

▨ — температуры нагрева для отжига II рода и закалки

На диаграмме (рис. 1) показаны также критические температуры A_1 , A_3 , A_{cm} , которые используются при выборе температурно-временного режима конкретной операции термообработки. Эти критические точки, обозначаемые при нагреве дополнительным индексом «с», а при охлаждении индексом «г», лежат на линиях диаграммы:

PSK — A_{c1} (A_{r1});

GS — A_{c3} (A_{r3});

SE — A_{cm} .

Там же (рис. 1) условно показана заштрихованная область температур нагрева, рекомендуемых для операций отжига II рода и

закалки, при этом общее представление о превращениях, происходящих в сталях при нагреве, можно получить из этой диаграммы. Более подробно режимы нагрева, охлаждения и примерное назначение некоторых операций приведены в таблица 1.

Таблица 1

Перечень основных операций термообработки,
их режимов и назначения

№ операции	Наименование операции термообработки	Режим термообработки		Примерное назначение
		Температура нагрева	Охла- дитель- ная среда	
ОТЖИГ I РОДА				
1	Рекристаллиза- ционный отжиг	$T_{\text{нагр}} \geq T_{\text{рекр}}$ ($T_{\text{рекр}}=0,4...0,6 T_{\text{пл}}$)	Печь	После холодной пластической де- формации для снятия наклепа
2	Диффузионный отжиг	1100...1250 °C	Печь	Легированные стали, для устра- нения ликвации
3	Низкий отжиг	650...700 °C	Печь	Для снятия оста- точных напряже- ний отливок, по- ковок, сварных конструкций
ОТЖИГ II РОДА				
4	Полный отжиг	$A_{c3}+(30...50$ °C)	Печь	Конструкцион- ные (дозэвтекто- идные) стали
5	Изотермический отжиг	$A_{c3}+(30...50$ °C)	Печь (630— 680 °C) воздух	Взамен п. 4 для сокращения цик- ла термообработ- ки
6	Неполный отжиг	$A_{c1}+(30...50$ °C)	Печь	Инструменталь- ные (заэвтекто- идные) стали
7	Нормализация	$A_{c3}+(40...60$ °C)	Воздух	Взамен п. 4 для малоуглероди-

				стых сталей. Взамен улучшения для ответственных деталей из среднеуглеродистых сталей
8	Нормализация	$A_{cm} + (40 \dots 60 \text{ } ^\circ\text{C})$	Воздух	Для устранения цементитной сетки в заэвтектоидных сталях с последующим п. 6

Продолжение таблицы 1

ЗАКАЛКА				
9	Полная закалка	$A_{c3} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$	Масло, вода, растворы солей	Конструкционные (доэвтектоидные стали), Видин Д.В. для получения структуры мартенсита
10	Неполная закалка	$A_{c1} + (30 \dots 50 \text{ } ^\circ\text{C})$		Инструментальные (заэвтектоидные) стали для получения структуры (М+Ц _{II})
ОТПУСК				
11	Низкий отпуск	160...220 °С, 1–3 ч	Воздух	После закалки, для получения структуры М _{отп}
12	Средний отпуск	350...450 °С, 1–3 ч	Воздух	После закалки, для получения структуры Т _{отп}
13	Высокий отпуск	550...650 °С, 0,5–1 ч	Воздух	После закалки, для получения структуры С _{отп}

Структуры сталей после окончательной термообработки, т.е. закалки и отпуска, считаются неравновесными, а потому на диаграмме (рис. 1) они не показаны, их получение можно объяснить

положением векторов скорости охлаждения на поле изотермической диаграммы превращения переохлажденного аустенита. На примере эвтектоидной стали это показано на рис. 2.

В зависимости от степени переохлаждения (волнистые участки вектора) превращение аустенита может быть диффузионным (температурный интервал – область I), промежуточным (область II) или бездиффузионным (область III). Скорости охлаждения v_1, v_2, v_3, v_4 определяют разные степени переохлаждения и получение различных структур: перлита (равновесный) при v_1 , сорбита, троостита, мартенсита (неравновесные структуры) соответственно при v_2, v_3 и v_4 . Получить структуру бейнита при непрерывном охлаждении нельзя, нужна изотермическая закалка (рис. 5).

Механические свойства неравновесных структур значительно отличаются от равновесных, некоторое представление об этом на примере изменения твердости дает график (рис. 3).

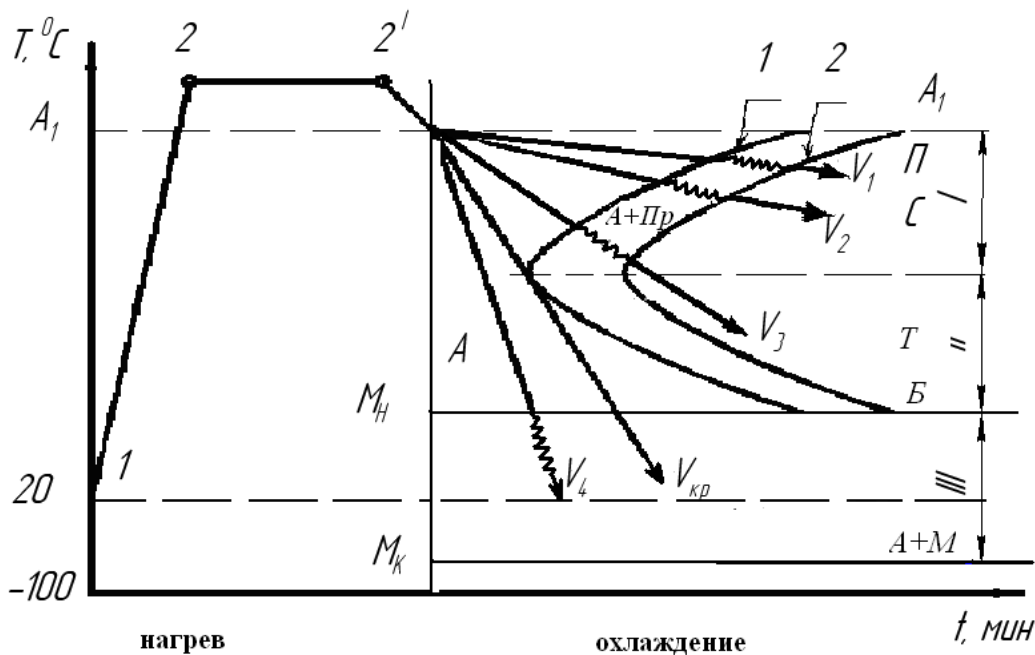


Рис. 2. Схема термических режимов отжига, нормализации и закалки стали: I – область перлитного превращения; II – область промежуточного превращения; III – область мартенситного превращения; 1 – линия начала превращения $A \rightarrow П$, 2 – линия конца превращения $A \rightarrow П$; M_H, M_K – линии начала и конца мартенситного превращения

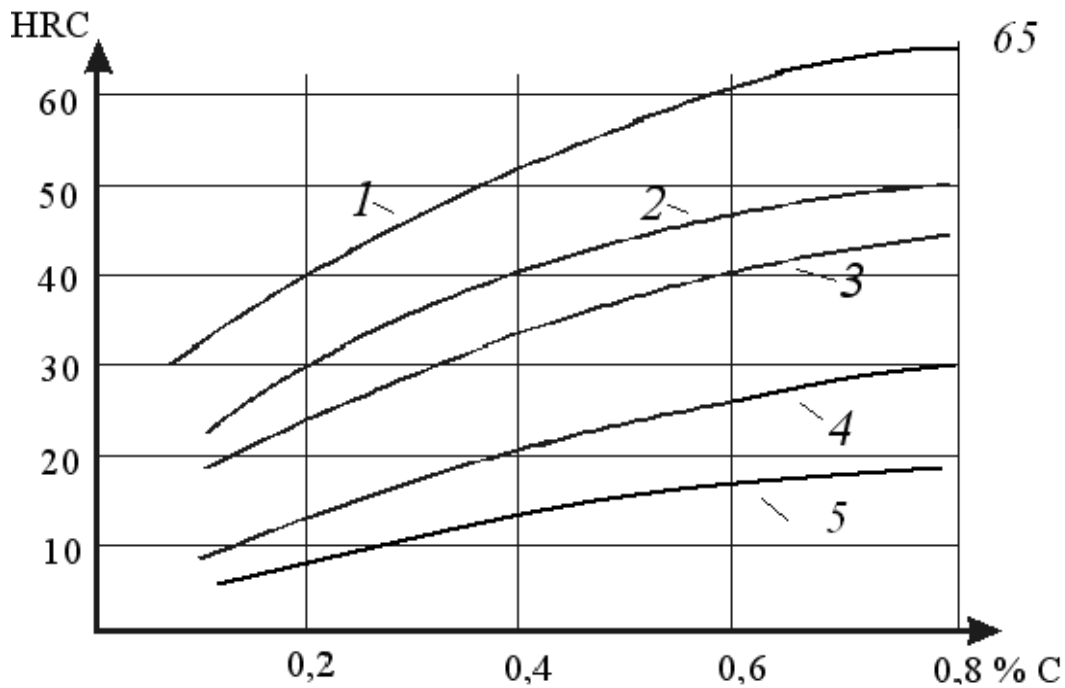


Рис. 3. Зависимость твердости мартенсита 1, полумартенситной структуры 2 (50%M + 50%Т), троостита 3, сорбита 4, (феррит+перлит) 5 от содержания углерода в стали

Мартенсит – пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе. Его высокая твердость обусловлена сильным искажением кристаллической решетки α -железа, сопровождаемым высокими внутренними напряжениями, высокой плотностью дислокаций, внутрифазовым наклепом при превращении аустенита в мартенсит из-за скачкообразного изменения плотности. Образуется мартенсит при переохлаждении аустенита ниже температуры M_H , когда охлаждение ведется со скоростью $v_4 > v_{кр}$ (рис. 2). $v_{кр}$ – критическая скорость закалки на мартенсит.

Троостит – перлитоподобная мелкодисперсная (толщина пластинок феррита + цементита $\Delta_0 \sim 0,10\text{--}0,20$ мкм) смесь кристаллов феррита и цементита с содержанием углерода, равным его содержанию в стали (т.е. в доэвтектоидном троостите менее 0,8% С, в заэвтектоидном более 0,8% С). Высокая твердость обусловлена дисперсностью кристаллов, образуется из переохлажденного аустенита при 500–550 °С, что примерно происходит при охлаждении со скоростью v_3 (рис. 2). *Сорбит* – перлитоподобная мелкодисперсная ($\Delta_0 \sim 0,25\text{--}0,40$ мкм) смесь кристаллов феррита и цементита, образуется при переохлаждении аустенита до 550–600 °С (скорость

охлаждения v_2 , рис. 2). Твердость – следствие степени дисперсности.

Эти неравновесные структуры, полученные из аустенита при разных степенях переохлаждения имеют пластинчатое строение.

Подобные структуры (феррито-цементитные смеси) с примерно такой же дисперсностью могут быть получены при отпуске закаленной стали, они получили название троостит и сорбит отпуска ($T_{отп}$, $C_{отп}$). Последние отличаются формой кристаллов цементита, результатом процесса коагуляции карбидов, начинающегося при температурах отпуска 350–400 °С и завершающегося при 600–650 °С, т.е. при высоком отпуске. Цементит приобретает форму округлых зерен, что придает стали максимальную ударную вязкость (сорбит отпуска) при прочности и твердости аналогичной сорбиту «закалки», т.е. полученному при охлаждении аустенита со скоростью v_2 (рис. 2).

3. ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СТАЛИ

3.1 Отжиг

Ограничимся сведениями, содержащимися в таблица 1 для операций отжига I рода, рассмотрим несколько подробнее цели, температурно-временные режимы разных вариантов отжига II рода. Это полный и неполный отжиг, изотермический отжиг, нормализация. Режимы некоторых видов отжига наглядно представлены графиками на рис. 4.

Полный отжиг (кривая 1, рис. 4) применяется для исправления структуры (крупнозернистость, строчечная структура и др.) и снятия внутренних напряжений в литых, обработанных давлением и сварных заготовках из конструкционной доэвтектоидной стали и заключается в нагреве до температуры $A_{с3} + (30-50\text{ }^{\circ}\text{C})$, выдержке, медленном охлаждении (с печью $\nu = 20-100$ град/час) до температуры $600-650\text{ }^{\circ}\text{C}$ и дальнейшем охлаждении на воздухе.

Изотермический отжиг (кривая 3, рис. 4) применяется с той же целью, что и полный отжиг, главным образом для конструкционных легированных сталей. Нагрев и выдержка – как при полном отжиге, затем охлаждение на воздухе ниже A_{r1} , загрузка в другую печь с температурой $630-680\text{ }^{\circ}\text{C}$, выдержка при этой температуре 4–6 ч и последующее охлаждение на воздухе. Такой график режима дает сокращение общего цикла времени в сравнении с полным отжигом, более точно позволяет управлять процессом превращения аустенит-перлит (изотермическое превращение), но более сложен в исполнении – нужны две печи. Неполный отжиг (кривая 2, рис. 4) применяется для заэвтектоидных сталей с целью получения структуры зернистого перлита, если в исходной структуре нет цементитной сетки, которая охрупчивает сталь и сильно затрудняет обработку резанием. Если же есть цементитная сетка, то выполняют две операции: нормализацию (устраняет цементитную сетку) и неполный отжиг (сфероидизирует цементит и снимает внутренние напряжения) и получают структуру зернистого перлита.

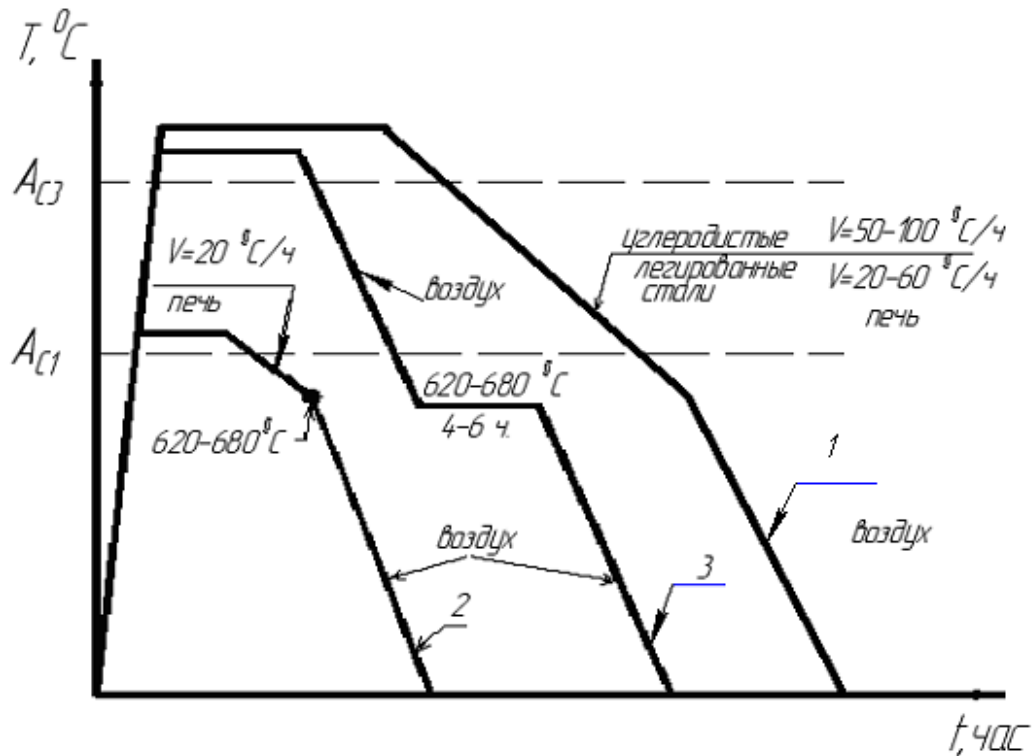


Рис. 4. График термических режимов отжига:
1 — полного; 2 — неполного; 3 — изотермического отжига

Нормализация отнесена к группе отжига II рода, так как в мало- и среднеуглеродистых (до 0,4%) сталях она формирует феррито-перлитную структуру, но с более мелким зерном, чем при полном отжиге. Однако при больших содержаниях углерода получается структура сорбита, и тогда нормализация используется как упрочняющая операция вместо закалки и высокого отпуска (улучшения) для деталей неответственного назначения. В высокоуглеродистых заэвтектоидных сталях нормализация используется для исправления структуры с цементитной сеткой: после нормализации получают структуру сорбита и троостита, последующий неполный отжиг формирует структуру зернистого перлита. Операция нормализации состоит в нагреве выше температур A_{c3} (доэвтектоидные стали) или A_{cm} (заэвтектоидные стали), выдержке при этой температуре до полной аустенизации и охлаждении на спокойном воздухе. График температурно-временного режима похож на график полного отжига (кривая 1, рис. 4) с тем отличием, что охлаждение идет в одной среде — на воздухе.

3.2 Закалка

Закалка – основная упрочняющая операция в технологии термообработки стали, но всегда должна выполняться в комбинациях с последующим отпуском. Таким образом, формирование конечной структуры и свойств упрочненной стали выполняется отпуском. Наиболее часто применяется «закалка на мартенсит», иногда для легированных конструкционных сталей более благоприятное сочетание эксплуатационных свойств дает «закалка на бейнит». Сущность закалки заключается в нагреве выше критической температуры, выдержке и последующем охлаждении со скоростью выше критической скорости закалки.

Критическая скорость закалки – такая минимальная скорость охлаждения, которая обеспечивает переохлаждение аустенита до температур мартенситного превращения без его даже частичного распада в зоне температур диффузионного превращения. На рис. 5 представлены графики режимов нагрева – выдержки – охлаждения при выполнении различных способов закалки доэвтектоидных сталей. При охлаждении с высокими скоростями в охлаждаемой детали возникает большая разность температур поверхности и сердцевины, что вызывает большие внутренние термические напряжения. В определенных случаях величина этих напряжений может превысить предел прочности – начнется разрушение металла – появятся закалочные трещины. Особенно опасны большие напряжения для структуры мартенсита с минимальной, часто нулевой пластичностью. В вариантах закалки с охлаждением в двух средах (кривые 2, 3, 4, рис. 5) скорость охлаждения в зоне температур, наименьшей устойчивости аустенита (500–550 °С), выше $v_{кр}$, а в зоне мартенситного превращения скорость охлаждения сильно уменьшается, либо даже делается выдержка температуры, что уменьшает разность температур поверхности и сердцевины, т.е. уменьшает термические напряжения.

Способ непрерывной закалки (кривая 1, рис. 5) самый простой. Но в случае сложной геометрической формы детали (неравномерное охлаждение), пониженной теплопроводности (легированные стали) нужно применять более сложноисполнимые, но гарантирующие высокое качество термообработки способы закалки.

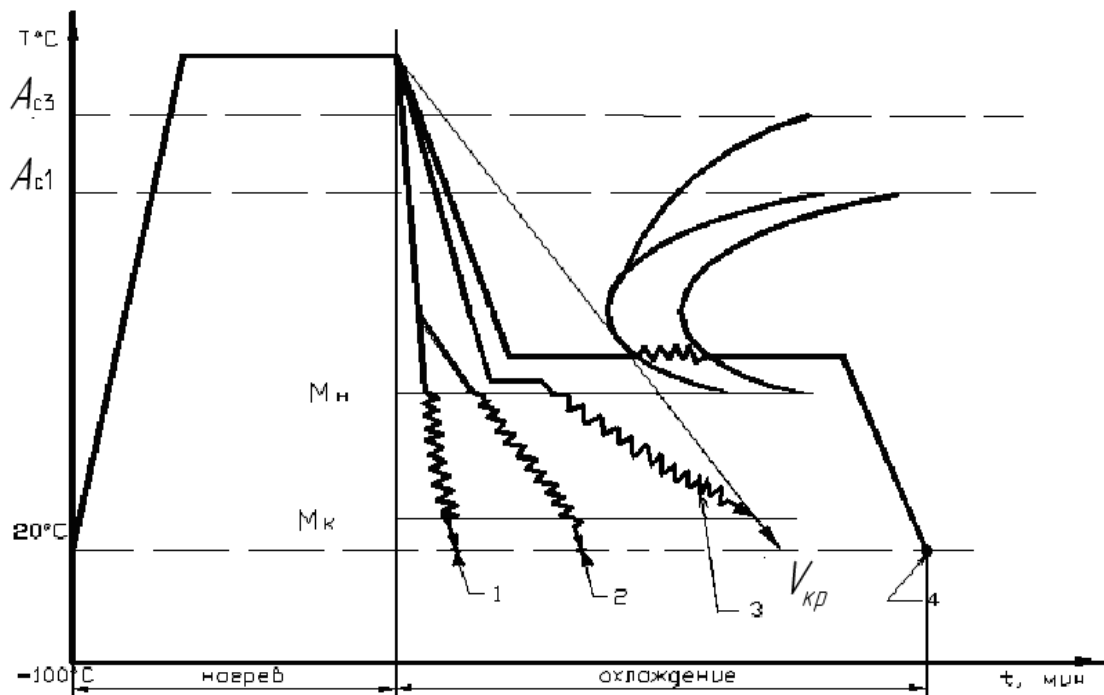
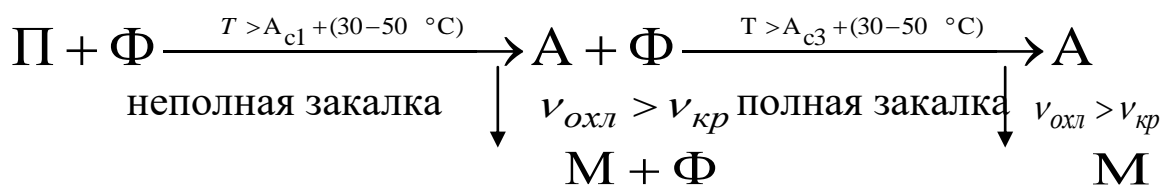


Рис. 5 Полная закалка доэвтектоидной стали: 1 – непрерывная; 2 – прерывистая; 3 – ступенчатая; 4 – изотермическая

По температуре нагрева различают два вида закалки: *полную* (нагрев до $A_{c3} + 30...50\text{ }^{\circ}\text{C}$) и *неполную* (нагрев до $A_{c1} + 30...50\text{ }^{\circ}\text{C}$) закалки. Полная закалка дает наилучший эффект (max HRC) в доэвтектоидных сталях, неполная – в заэвтектоидных сталях.

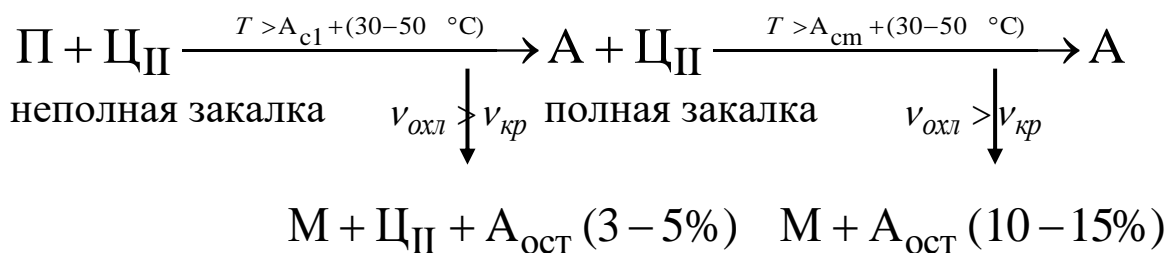
Это можно объяснить с помощью условных схем превращения в сталях при нагреве и охлаждении.

Доэвтектоидные стали:



Очевидно, что твердость М выше, чем М+Ф.

Заэвтектоидные стали:



Очевидно, что твердость структуры $M + C_{II} + (3-5\%)A_{ост}$ выше, чем у структуры $M + (10-15\%)A_{ост}$ (твердость многофазных структур подсчитывается как среднеарифметическое твердости фаз с учетом их удельного объема в структуре).

Охлаждающими средами при закалке на мартенсит являются вода, растворы солей и щелочей (углеродистые стали) и минеральное масло (легированные стали). Легирующие элементы (кроме Co) уменьшают критическую скорость закалки, охлаждение в более «мягком» охладителе – (в масле) – позволяет обеспечить мартенситное превращение с меньшими термическими напряжениями.

Варианты закалки с охлаждением в двух средах и в специфических технологиях применяют и другие охлаждающие среды (расплавленные соли, металлы, водоохлаждаемые «штампы» и др.).

3.3 Отпуск

Структуры закалки (мартенсит) термодинамически неустойчивы, со временем в них происходят самопроизвольные изменения, сопровождаемые изменением свойств, что может сделать деталь (и машину) неработоспособной. Назначение отпуска – стабилизация структуры, снятие внутренних закалочных напряжений, формирование структуры и свойств, отвечающих конкретным условиям эксплуатации. *Отпуск* заключается в нагреве закаленной стали до температур ниже A_{c1} , выдержке и охлаждении на воздухе (или в воде, масле). В зависимости от температуры отпуска реализуются разные стадии превращений и получаются разные структуры. В связи с этим различают три технологические операции: низкотемпературный (низкий) отпуск на «отпущенный» мартенсит ($M_{отп}$), среднетемпературный (средний) отпуск на троостит отпуска ($T_{отп}$) и высокотемпературный (высокий) отпуск на сорбит отпуска ($S_{отп}$).

Низкий отпуск (Н. О.) заключается в нагреве закаленной стали до температур 160–220 °С, выдержке при этой температуре и охлаждении на воздухе, отпущенный мартенсит придает изделию высокую твердость, износостойкость. Применяется низкий отпуск при термообработке инструмента из нетеплостойких инструментальных сталей, деталей, работающих в условиях трения качения или скольжения, в том числе после цементации и неполной закалки.

Средний отпуск (С. О.) заключается в нагреве закаленной стали до температур 350–450 °С (иногда и 500 °С), выдержке 1–3 часа и

охлаждении на воздухе. Структура $T_{отп}$ отличается высоким пределом упругости. Применяется средний отпуск при термообработке пружин, рессор и других упругих элементов из высокоуглеродистых (0,55–0,85% C) конструкционных сталей, в том числе легированных кремнием, а также штампового инструмента для горячей обработки давлением из полутеплостойких инструментальных сталей.

Высокий отпуск (В. О.) заключается в нагреве закаленной стали до температур 550–650 °С, выдержке 0,5–1 ч и охлаждении на воздухе (или в воде для склонных к отпускной хрупкости легированных Cr и Ni сталей). Структура $S_{отп}$ отличается высокой ударной вязкостью. Применяется высокий отпуск при термообработке деталей, работающих в условиях динамических (ударных) нагрузок, изготовленных из среднеуглеродистых (0,3–0,5% C) конструкционных сталей.

3.4 Технология нагрева

При выполнении любых операций термообработки необходимо придерживаться некоторых общих требований к технологии нагрева. При выборе температуры нагрева для конкретной операции можно использовать рекомендации таблица 1. Важную роль в технологии нагрева играет скорость нагрева. С точки зрения экономики она должна быть максимально допустимой. Ограничения в скорости нагрева связаны с возникновением перепада температур «поверхность – сердцевина» и термическими напряжениями внутри детали: чем выше скорость нагрева, тем больше перепад температур, тем больше величина внутренних напряжений, способных вызвать коробление или даже образование скрытых внутренних трещин. Практика термообработки выработала методики расчета продолжительности нагрева в разных нагревательных устройствах. Применительно к условиям нагрева малых цилиндрических образцов в лабораторных муфельных печах под операции отжига, нормализации, закалки можно воспользоваться формулой

$$\tau_{общ.} = 0,75 \cdot d + 5,$$

где $\tau_{общ.}$ – время нагревания и выдержки, мин;
 d – диаметр цилиндрического образца, мм.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Студенты выполняют работу бригадами по 2–3 человека. Каждой бригаде выдается преподавателем задание на проведение определенной операции и образец.

2. Студенты выбирают режим для заданной операции и вносят его в общую для группы таблицу прил. 1. При этом температура нагрева определяется из рекомендаций таблица 1.

3. Студенты измеряют твердость образца до термообработки, выполняют практически термообработку и замеряют твердость после термообработки. Все данные измерений вносят в общую таблицу отчета (прил. 1).

4. Изучается микроструктура до и после термообработки, анализируются результаты наблюдений по образцам всех бригад и формулируются выводы. По результатам термообработки строятся графики зависимости:

- а) твердости от скорости охлаждения;
- б) твердости от температуры отпуска.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении занятия необходимо соблюдать правила техники безопасности в термической лаборатории, изложенные в инструкции, утвержденной ректором института.

6. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать краткие сведения о проделанной работе, таблицу результатов, графики режимов термообработки, рисунки микроструктур, выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое мартенсит, троостит, сорбит?
2. Как получить в доэвтектоидной стали структуры мартенсита, троостита, сорбита?
3. Чем отличается сорбит отпуска от сорбита, полученного при охлаждении аустенита?

4. Какая структура получится в доэвтектоидной стали после полной закалки? В заэвтектоидной стали?

5. Какая структура получится после неполной закалки в доэвтектоидной стали? В заэвтектоидной стали?

6. Какая структура получится в доэвтектоидной стали после полной закалки и низкого отпуска, среднего отпуска, высокого отпуска?

7. Каковы соотношения твердости (выше, ниже) применительно к вопросам 5, 6, 7?

Приложение 1

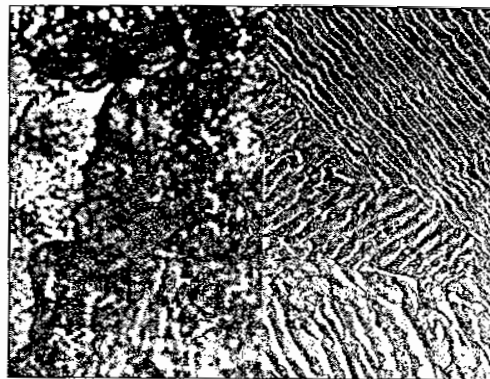
Режимы и результаты термической обработки

[illegible]

Перлит



Сорбит

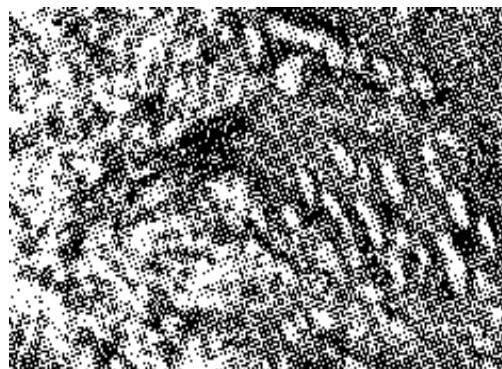


Троостит

*a*

x200

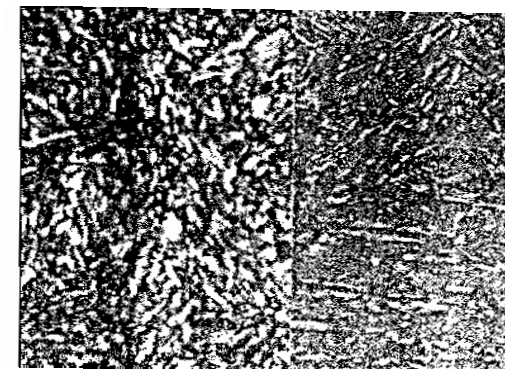
x500



x10000

x500

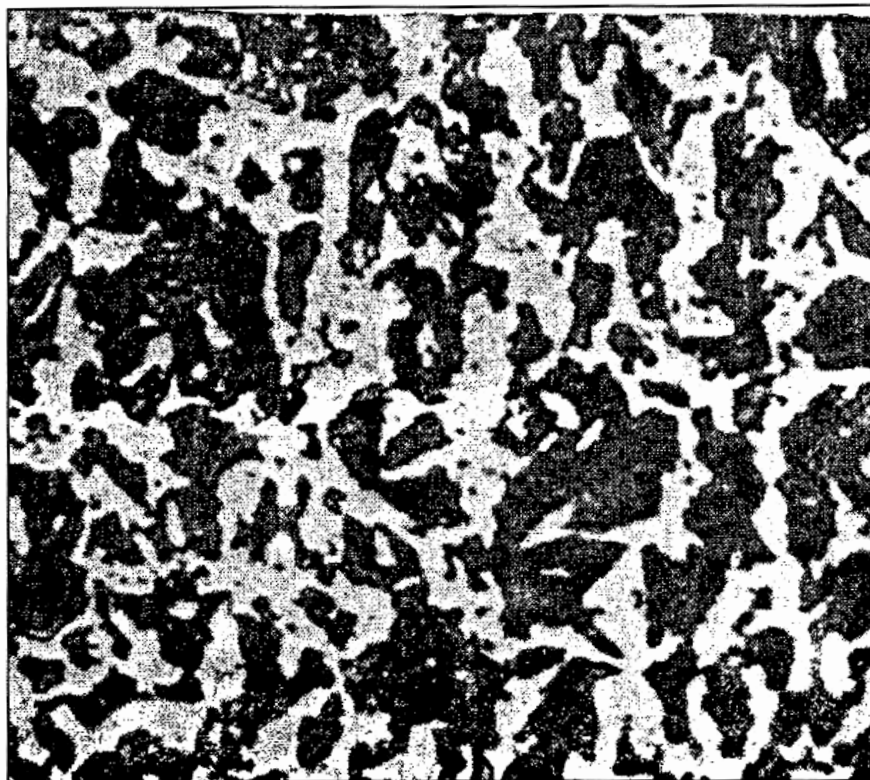
x10000

*б*

Микроструктура перлита, сорбита, троостита:

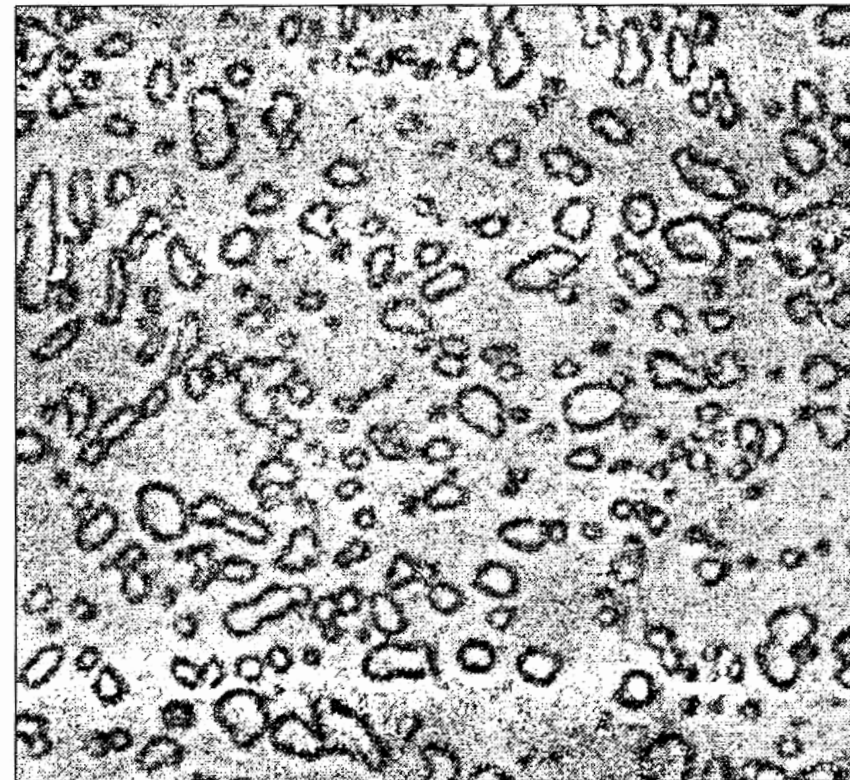
a – получены при непрерывном охлаждении; *б* – получены после закалки и отпуска

Феррит+Перлит



а)

Перлит зернистый + Карбиды II



б)

Микроструктура сталей после отжига:
a – доэвтектоидной стали; *б* – заэвтектоидной стали

Мартенсит + Феррит



а)

Мартенсит



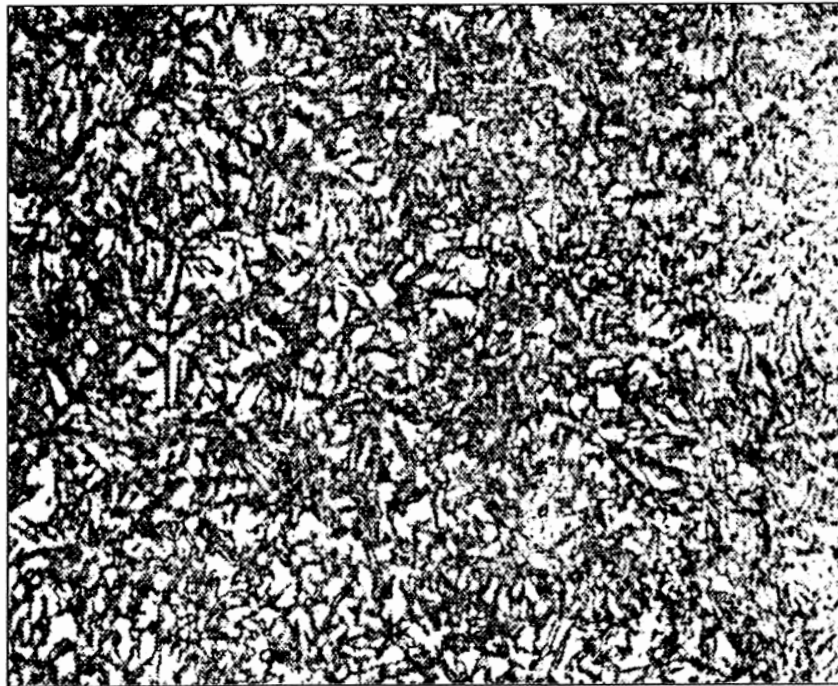
б)

Микроструктура доэвтектоидной стали:

a – после неполной закалки; *б* – после полной закалки

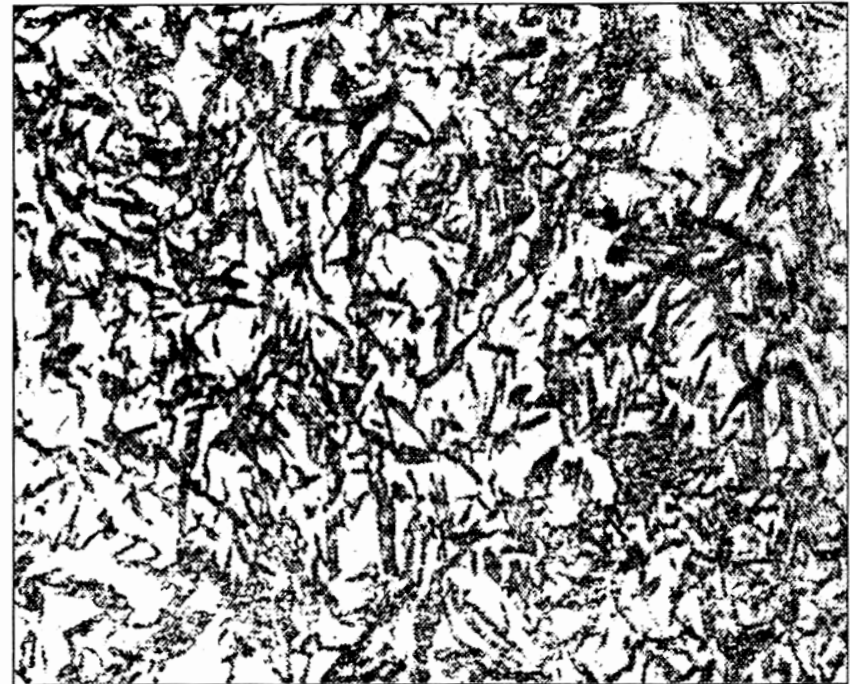
Приложение 5

Мартенсит + Цементит + Аустенит остаточный



а)

Мартенсит + Аустенит остаточный



б)

Микроструктура заэвтектоидной стали:

a – после неполной закалки; *б* – после полной закалки

Практическая работа №2 «ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛИ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с технологическим процессом химико-термической обработки на примере цементации, нитроцементации и азотирования. Исследовать структуру и свойства обработанных поверхностных слоев деталей.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Химико-термической обработкой (ХТО) называют поверхностное насыщение стали различными элементами путем их диффузии из внешней среды при высокой температуре. Цель ХТО – повышение твердости, износостойкости, усталостной прочности, контактной выносливости и коррозионной стойкости поверхности деталей машин.

Процесс ХТО состоит из трех стадий:

1. Диссоциация – выделение насыщающего элемента в активном атомарном состоянии.
2. Адсорбция – захват поверхностью стали свободных атомов насыщающего элемента.
3. Диффузия – проникновение насыщающего элемента в глубь металла.

В зависимости от того, каким элементом насыщают поверхностный слой, существуют следующие виды ХТО:

- цементация (углеродом);
- азотирование (азотом);
- нитроцементация, цианирование (углеродом и азотом одновременно);
- диффузионное насыщение металлами и неметаллами (хромирование – хромом, алитирование – алюминием, силицирование – кремнием, борирование – бором и др.).

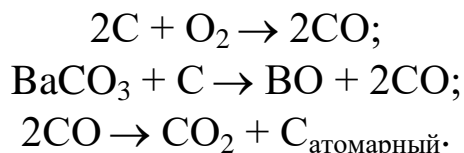
2.1. Цементация

Цементация – процесс насыщения поверхностного слоя стали углеродом.

Цементации подвергают детали машин, которые должны иметь износостойкую рабочую поверхность и вязкую сердцевину: зубчатые колеса, валы, пальцы, кулачки, червяки и т.д. Такие свойства обеспечивают вязкие низкоуглеродистые стали, содержащие 0,10–0,25% углерода. Для цементации используют стали марок 10, 15, 20, 25, 15Х, 20Х, 15ХГР, 18ХГТ, 25ХГТ, 12ХН3А, 20ХН4А, 20ХН2М и др. Поверхность насыщается углеродом до 0,8–1,1% на глубину 0,5–2 мм.

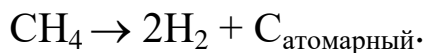
В промышленности применяют два способа цементации: в твердом и в газовом карбюризаторе (науглероживающей среде).

Наиболее распространенный твердый карбюризатор состоит из древесного угля с добавками 20–25% BaCO_3 для интенсификации процесса и 3–5% CaCO_3 для предотвращения спекания частиц карбюризатора. Детали, подлежащие цементации, и карбюризатор упаковывают в стальной ящик и нагревают в печи до температуры 910–930°C. При этом протекают реакции:



Образующиеся активные атомы углерода диффундируют вглубь металла. Слой толщиной 1 мм образуется за 8–10 ч. После цементации ящик охлаждают на воздухе до 400–500°C и затем раскрывают.

При газовой цементации в качестве карбюризатора используют природный газ, состоящий почти полностью из метана CH_4 , а также жидкие углеводороды (керосин, бензол и др.), каплями подаваемые в герметичное рабочее пространство печи, где они образуют газовую среду по реакции:



Температура цементации 930 – 950°C. Слой толщиной 1 мм образуется за 6 – 7 ч. В случае газовой цементации можно получить заданную концентрацию углерода в слое, сокращается длительность процесса (не надо прогревать ящики), обеспечивается возможность полной механизации и автоматизации процессов, упрощается последующая термическая обработка изделий. Ее широко применяют на заводах, изготавливающих детали массовыми партиями. Цементация в твердом карбюризаторе используется в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Структура цементованного слоя после медленного охлаждения определяется содержанием углерода и, в соответствии с диаграммой Fe – Fe₃C, состоит из трех зон: заэвтектоидной наружной (C > 0,8%, структура – перлит и цементит вторичный), эвтектоидной (C = 0,8%, структура – перлит) и доэвтектоидной (C < 0,8%, структура – феррит и перлит) (рис. 1). Структура доэвтектоидной (переходной) зоны отличается от структуры сердцевины меньшим количеством феррита, доля которого возрастает от поверхности к сердцевине. Принято различать полную и эффективную толщину цементованного слоя. За эффективную толщину принимают сумму заэвтектоидной, эвтектоидной и половины доэвтектоидной зоны.

После цементации обязательно выполняют термическую обработку с целью обеспечения максимальной твердости цементованного слоя и вязкой сердцевины. В зависимости от условий работы детали, а также от технологических свойств стали применяют различные режимы термической обработки (рис. 2).

Для ответственных, тяжело нагруженных деталей машин, испытывающих динамические нагрузки, применяют сложную термическую обработку, состоящую из двух закалок (полной и неполной) и низкого отпуска (рис. 2, а). При первой закалке (полной) с нагревом выше температуры Aс₃ на 30–50°C происходит перекристаллизация сердцевины детали с образованием мелкого аустенитного зерна, что обеспечивает мелкозернистость продуктов распада. Одновременно при этом в поверхностном слое растворяется цементитная сетка, которая при быстром охлаждении вновь не образуется. Вторую закалку (неполную) с нагревом выше Aс₁ на 30–50°C проводят для устранения перегрева цементованного слоя и придания ему высокой твердости. За-

ключительной операцией является низкий отпуск при 160–200°C, переводящий мартенсит заковки в поверхностном слое в отпущенный мартенсит и уменьшающий остаточные напряжения.

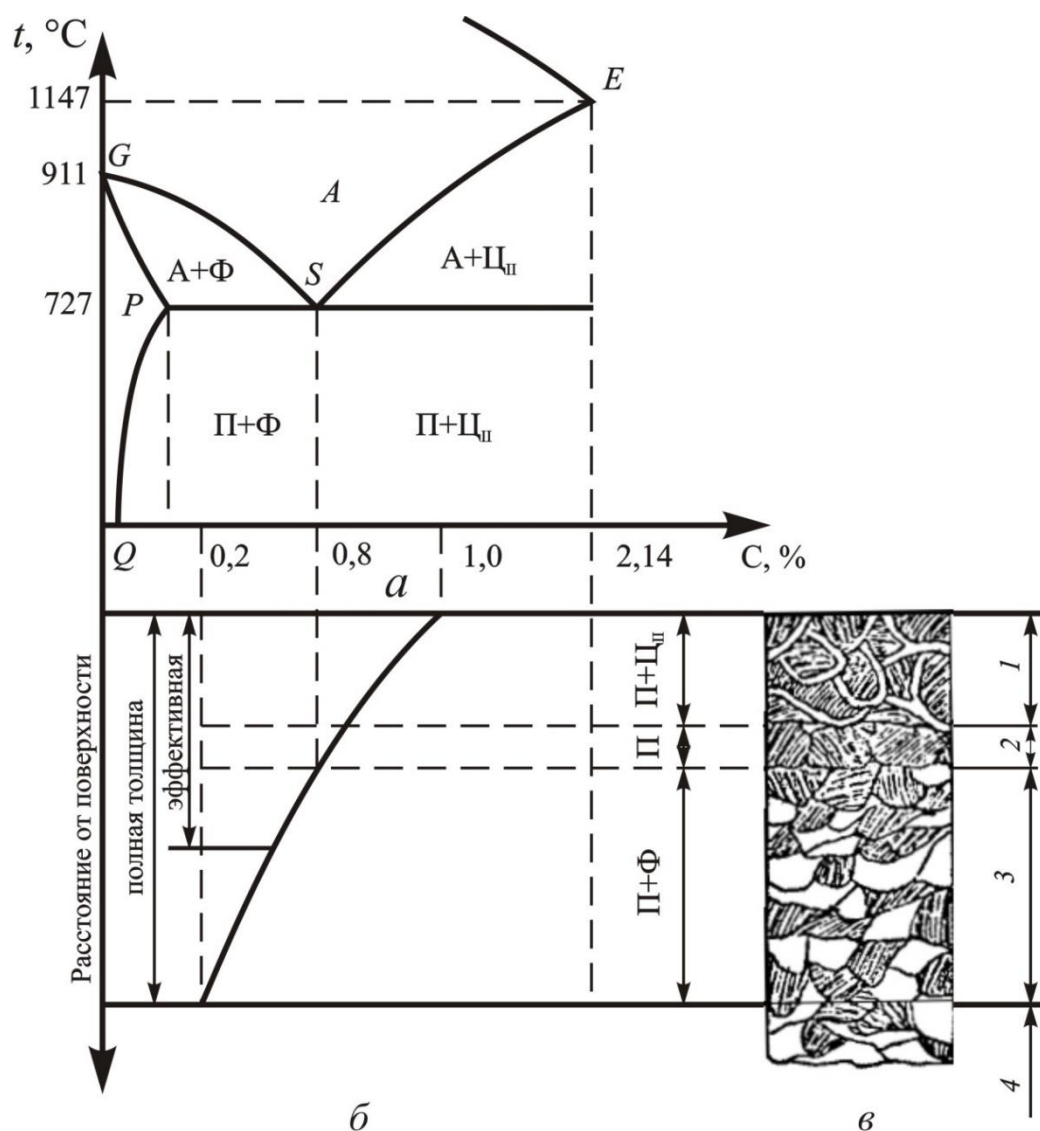


Рис. 1. Влияние содержания углерода на структуру цементованного слоя: *a* – диаграмма состояния Fe–Fe₃C;

б – изменение содержания углерода в цементованном слое;

в – структура цементованного слоя (1 – заэвтектоидная зона, 2 – эвтектоидная зона, 3 – доэвтектоидная (переходная) зона, 4 – сердцевина)

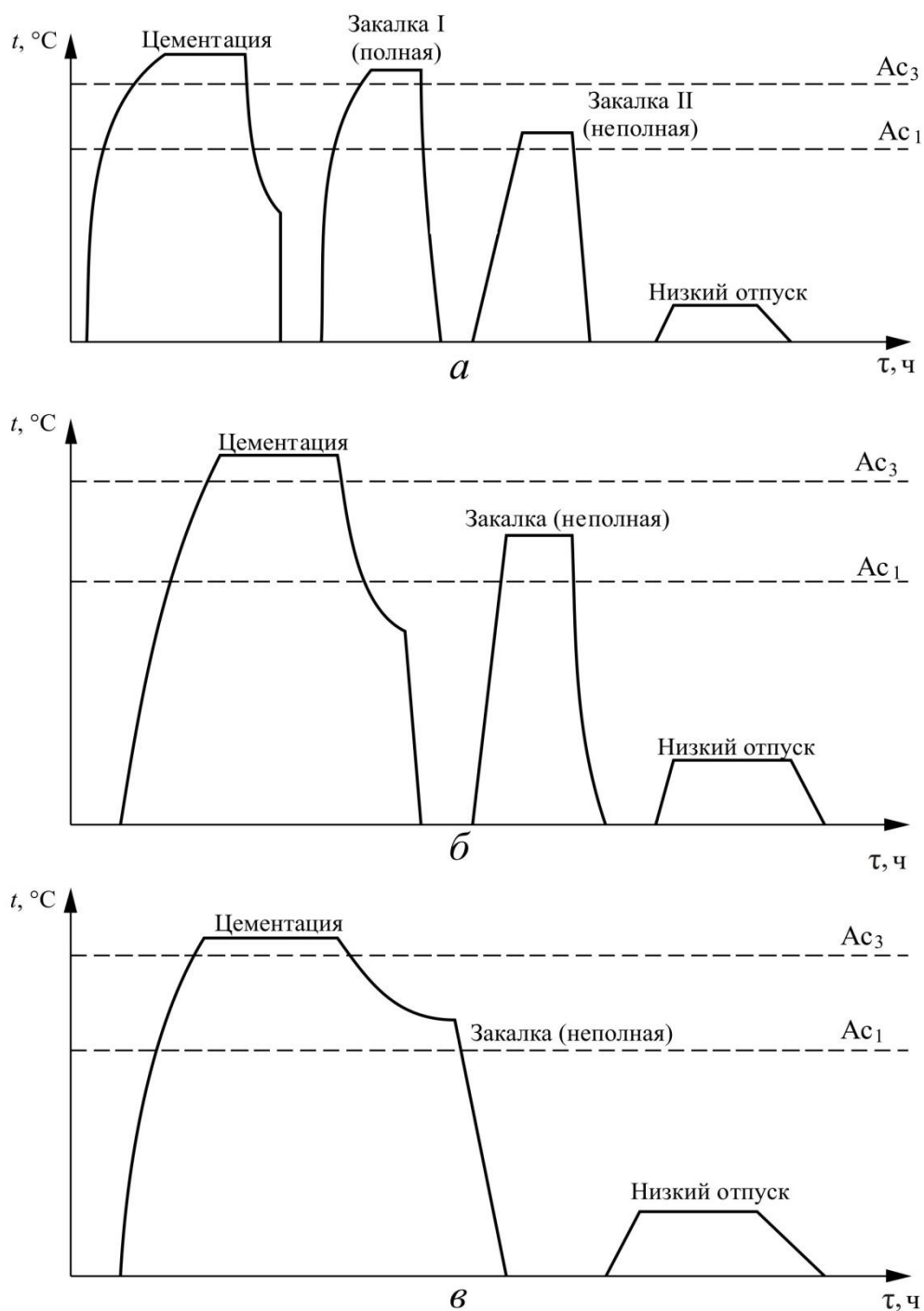


Рис. 2. Режимы термической обработки цементованных деталей:
a – для ответственных деталей; *б*, *в* – для менее ответственных
 деталей из углеродистых сталей и для деталей из легированных
 наследственно мелкозернистых сталей
 механические свойства: $\sigma_B=500\text{--}800$ МПа, $\delta=50\%$, $160\text{--}200$ НВ

Для менее ответственных деталей из углеродистых сталей и для деталей из легированных наследственно мелкозернистых сталей применяют более простую термообработку, состоящую из

одной неполной закалки и низкого отпуска (рис. 2, б). В этом случае температура неполной закалки несколько повышается, чтобы растворить цементитную сетку в заэвтектоидной зоне цементованного слоя и обеспечить образование глобулярных вторичных карбидов.

В случае газовой цементации закалку можно проводить после подстуживания с цементационного нагрева (рис. 2, в). Такая обработка является наиболее экономичной.

В результате термической обработки поверхностный слой будет иметь структуру отпускаемого мартенсита с глобулярными включениями вторичных карбидов (твердость 56–62 HRC или 650 – 800 HV). Структура сердцевины зависит от химического состава стали и может быть: феррито-перлитной (160–180 HB) – в углеродистых сталях (стали 15, 20, 25), сорбитной (25–35 HRC) – в низколегированных сталях (15X, 20X, 15XФ, 20Г2), бейнитной или даже мартенситной с пониженным содержанием углерода (40–45 HRC) – в среднелегированных сталях (20ХН3А, 20Х2Н4А, 20ХН3ФА).

2.2. Азотирование

Азотированием называется процесс диффузионного насыщения поверхности стали азотом. Для азотирования применяют среднеуглеродистые стали, содержащие Cr, Mo, V, W, Al, Ti. Нитриды этих элементов обладают высокой твердостью и термической устойчивостью. Типичными для азотирования являются стали 38Х2МЮА, 38ХМЮА, 35ХМЮА. В настоящее время для этой цели применяют также конструкционные стали 40ХФА, 30Х3МФ1, 38ХНМФА, 40ХГМ, 30Х3ВА, 30ХГТ, 30ХТ2, 30ХТ2Н3Ю, а при невысоких контактных нагрузках – 30Х, 40Х. Кроме того, для повышения коррозионной стойкости азотированию подвергают жаропрочные и коррозионно-стойкие конструкционные стали, а также высокопрочные чугуны.

Перед азотированием детали подвергают термической обработке, состоящей из закалки и высокого отпуска (температура отпуска должна быть выше температуры азотирования) – улучшению на структуру сорбита отпуска. Затем производят механическую обработку, придающую окончательные размеры изделию.

После азотирования производят окончательное шлифование или полирование.

Азотирование проводят в герметичных камерах, куда подается аммиак NH_3 . При нагреве он диссоциирует по реакции:



Атомарный азот адсорбируется поверхностью стали и диффундирует вглубь металла.

Существует две разновидности азотирования: низкотемпературное – для повышения поверхностной твердости и износостойкости и высокотемпературное – для улучшения коррозионной стойкости.

Обычно применяют низкотемпературное азотирование, которое проводят при температуре 500–520°C в течение 24–60 ч. Толщина слоя составляет 0,3–0,6 мм, твердость 1100–1200 HV. Высокотемпературное азотирование ведут при 650–700°C. Продолжительность процесса 1–6 ч. при толщине слоя 0,3–0,4 мм и твердости 800–950 HV.

Структура азотированного слоя, распределение азота и твердости в ней приведены на рис. 3. Она включает в себя темный тонкий слой коррозионно-стойкой ϵ – фазы (твердый раствор на основе Fe_2N), затем следует зона белой нетравящейся γ' – фазы (твердый раствор на основе Fe_4N), третья зона представляет из себя азотистый эвтектоид – смесь азотистого феррита α , γ' – фазы, карбонитридов и нитридов.

Эффективной азотируемой зоной считается зона внутреннего азотирования без первой зоны.

По сравнению с цементацией азотирование имеет ряд преимуществ: более высокая твердость и износостойкость поверхностного слоя, сохранение им высоких свойств при нагреве до 500°C (цементованный слой – до 200°C), повышенное сопротивление коррозии. Недостатками азотирования являются большая длительность процесса и необходимость применения дорогих легированных сталей.

Азотирование применяют для изготовления деталей, испытывающих высокие циклические нагрузки, трение, абразивный

износ: коленчатые валы, гильзы цилиндров, червяки, шестерни и др.

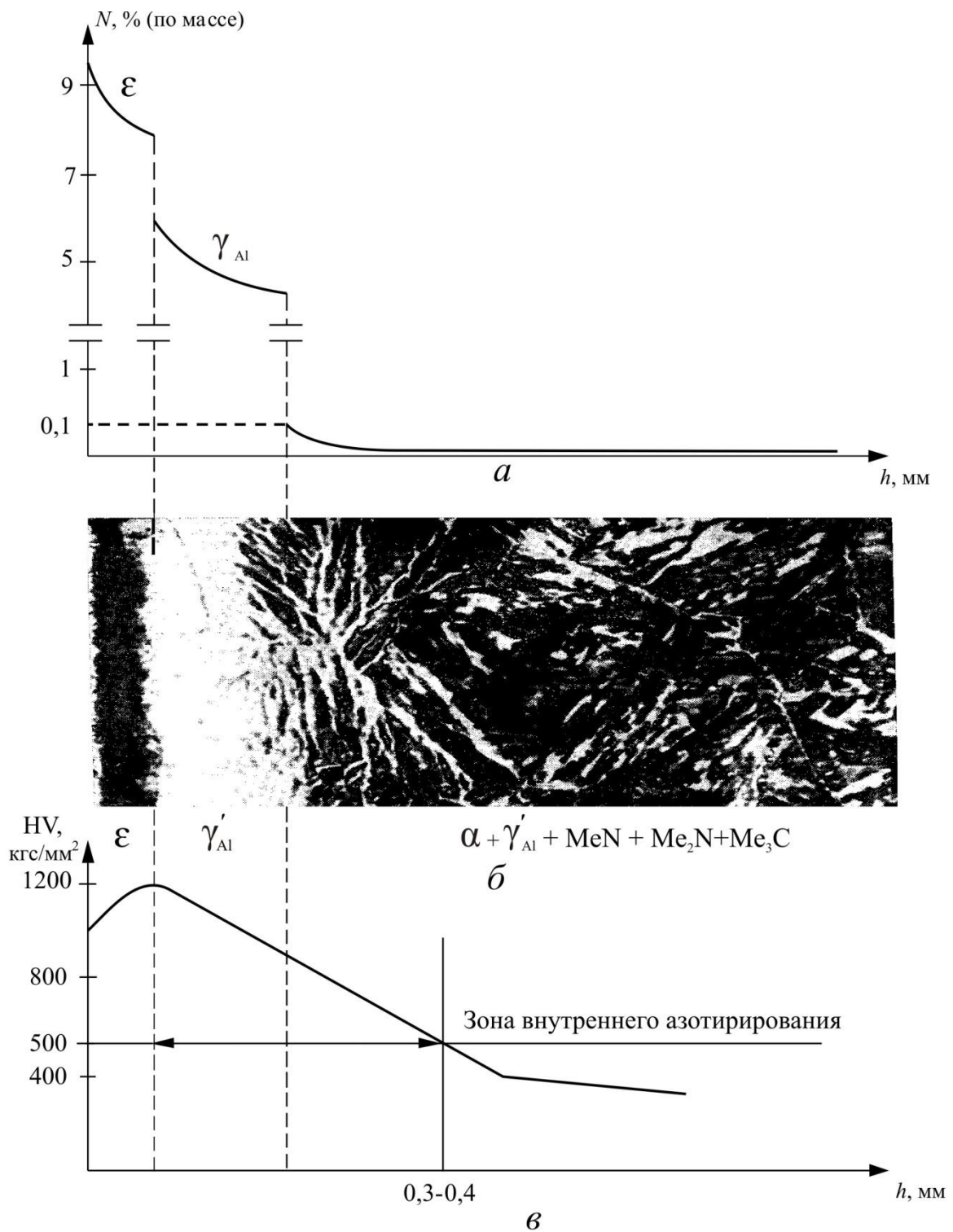


Рис. 3. Структура и свойства азотированного слоя:
a – распределение азота; *б* – структура;
в – распределение твердости

2.3. Нитроцементация

Нитроцементация – процесс насыщения поверхности стали одновременно углеродом и азотом. Этот метод ХТО применяется с той же целью и на тех же сталях, что и цементация.

Нитроцементацию проводят в газовой среде, состоящей из смеси природного газа и аммиака, при 840–860°C. Продолжительность процесса 4–10 ч, толщина слоя 0,2–0,8 мм. После нитроцементации следует закалка непосредственно из печи и низкий отпуск при 160–180°C (рис. 2, в).

Одновременное насыщение стали углеродом и азотом может также производиться при 820–860°C в расплавленных солях, содержащих цианистый натрий: 20–25% NaCN, 25–50% NaCl и 25–50% Na₂CO₃. Такой процесс называют цианированием. Несмотря на сокращение длительности (слой толщиной 0,15–0,30 мм образуется за 30–90 мин), цианирование используется реже из-за токсичности цианистых солей.

Структура поверхностного слоя после термической обработки состоит из мартенсита отпуска, остаточного аустенита и небольшого количества мелких, равномерно распределенных карбонитридов. Твердость 58–60 HRC (700–750 HV). Сердцевина имеет ту же структуру, что и после цементации. Чаще всего это троостит, бейнит или низкоуглеродистый мартенсит с твердостью 40–45 HRC.

Преимуществами нитроцементации по сравнению с цементацией являются меньшая длительность процесса за счет ускорения диффузии углерода в присутствии азота, меньшая деформация деталей из-за более низкой температуры процесса, более простая термообработка за счет совмещения операций нитроцементации и закалки, большее сопротивление износу и коррозии. Однако, из-за меньшей глубины слоя, детали после нитроцементации уступают цементованным по контактной усталостной прочности.

Нитроцементацию широко применяют в автомобиле- и тракторостроении для изготовления деталей сложной конфигурации, склонных к короблению.

2.4. Диффузионное насыщение металлами и неметаллами

Эти процессы применяют для повышения коррозионной стойкости, жаростойкости, твердости и износостойкости сталей и сплавов. Диффузионное насыщение обычно осуществляют в твердых средах (порошках) соответствующего состава. Насыщаемые детали вместе с порошком упаковывают в металлические контейнеры, нагревают до 1000–1200°C и выдерживают несколько часов.

В структуре насыщенного слоя образуются твердые растворы легирующего элемента в α -железе и упрочняющие вторичные фазы в виде химических соединений (Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , Cr_2O_3 , SiO_2 , FeB , Fe_2B , Al_2O_3). Упрочняющие фазы повышают твердость и износостойкость, а окислы – коррозионную стойкость и жаростойкость.

Состав смесей, свойства и применение приведены в таблице 1.

Таблица 1

Процессы диффузионного насыщения

Процесс ХТО	Состав смеси, %	Твердость HV; глубина слоя h , мм	Применение
Алитирование	I. 49–49,5 Al; 49–49,5 Al_2O_3 ; 1–2 NH_4Cl II. 99,5 FeAl; 0,5 NH_4Cl	500 HV; $h = 0,2 - 1,0$	Для повышения жаростойкости, коррозионной и эрозионной стойкости
Хромирование	I. 50 FeCr; 43 Al_2O_3 ; 7 NH_4Cl II. 60 FeCr; 38,8 каолин; 1,2 NH_4Cl	1200–1300 HV; $h = 0,1 - 0,2$	Для повышения коррозионной стойкости, износостойкости, жаростойкости
Силицирование	I. 40 Si; 59 Al_2O_3 ; 1 NH_4Cl II. 75 FeSi; 20 шамот; 5 NH_4Cl	200–300 HV; $h = 0,3 - 1,0$	Для повышения коррозионной стойкости, износостойкости и твердости

Продолжение таблицы 1

Процесс ХТО	Состав смеси, %	Твердость HV; глубина слоя h , мм	Применение
Борирование	I. $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ II. NaCl ; BaCl_2 ; B_4C	1800–2000 HV; $h = 0,1\text{--}0,2$	Для повышения средней износостойкости в 4–6 раз по сравнению с цементацией, высокой коррозионной стойкости в агрессивных средах

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Ознакомиться с основными теоретическими положениями.

С помощью металлографического микроскопа изучить структуру цементованного слоя после цементации и после термической обработки, а также азотированного слоя. Зарисовать их.

Измерить распределение твердости в термообработанных образцах после цементации.

Используя окуляр со шкалой, измерить толщину заэвтектоидной, эвтектоидной и доэвтектоидной зон и рассчитать эффективную глубину цементованного слоя на образцах до термической обработки. Цену деления окулярной шкалы определить с помощью объект-микрометра с ценой деления 0,01 мм по формуле:

$$Ц = \frac{n_1 \cdot 0,01}{n_2},$$

где $Ц$ – цена деления окулярной шкалы, мм;

n_1 – количество делений на объект-микрометре;

n_2 – количество делений на окулярной шкале.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

Наименование и цель лабораторной работы.

Рисунки структур цементованного и азотированного слоев.

Расчет эффективной толщины цементованного слоя.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое цементация, нитроцементация, азотирование?
2. С какой целью проводят ХТО?
3. Какие стали используются для различных видов ХТО?
4. Какие существуют способы цементации, азотирования?
5. В чем преимущество газовой цементации по сравнению с цементацией в твердом карбюризаторе?
6. Из каких зон состоит цементованный слой?
7. С какой целью проводится термическая обработка после цементации, нитроцементации, какие существуют варианты?
8. Каковы преимущества нитроцементации?
9. Особенности технологии азотирования, область применения.
10. Методы диффузионного насыщения металлами и неметаллами, их применение.

Практическая работа №3 «КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СТАЛЕЙ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- изучение принципов классификации и маркировки конструкционных и инструментальных сталей;
- освоение студентами маркировки сталей на уровне способности ориентироваться в выборе материалов, которые применяются в общем машиностроении;
- ознакомление с видами упрочняющей термической обработки рассматриваемых сталей.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ

2.1. Общие сведения

Из всех материалов, применяемых в настоящее время и прогнозируемых в будущем, только сталь позволяет получать сочетание высоких значений различных механических характеристик и хорошую технологичность при сравнительно невысокой стоимости. Поэтому сталь является основным и наиболее распространенным конструкционным материалом.

Сталь – это сплав железа с углеродом (до 2%) и сопутствующими примесями в виде марганца, кремния, серы, фосфора и др. Стали, применяемые в машиностроении, обычно содержат от 0,05 до 1,5% С. Примеси, присутствующие в сталях, делят на четыре группы:

- постоянные (или обычные) – марганец, кремний, фосфор и сера, если их содержание находится в пределах: до 0,8% – Mn; до 0,4% – Si; до 0,05 – P и до 0,05 – S;
- скрытые – азот, кислород, водород, присутствующие в любой стали в очень малых количествах (тысячные доли процента);
- случайные – например, мышьяк, свинец, медь и др., попадающие в сталь из-за того, что они содержатся в рудах или в шихтовых материалах данного географического района или свя-

заны с определенным технологическим процессом производства стали;

- специальные (легирующие элементы) – их вводят в состав стали для получения нужных по условиям службы деталей свойств стали. В этом случае сталь называют легированной.

2.2. Общая классификация

Существует несколько принципов классификации сталей:

- **по химическому составу:** углеродистые, низколегированные (легирующих элементов $\leq 3\%$), среднелегированные (3–10%) и высоколегированные ($> 10\%$);
- **по качеству:** обыкновенного качества (S, P $\leq 0,04$ – $0,05\%$ каждого), качественные (S, P $\leq 0,035\%$), высококачественные (S, P $\leq 0,025\%$), особо высококачественные (S, P $\leq 0,01$ – $0,02\%$);
- **по способу выплавки:** стали, выплавленные кислым или основным процессом;
- **по назначению.**

Конструкционные стали общего назначения:

- строительные;
- цементируемые (C $\leq 0,25\%$);
- улучшаемые (0,3– $0,5\%$);
- азотируемые (легированные улучшаемые).

Специализированные стали:

- рессорно-пружинные;
- износостойкие (подшипниковые, стали Гатфильда);
- жаропрочные и нержавеющие;
- коррозионно-стойкие;
- с особыми физическими свойствами (электротехнические, магнитные и др.

Инструментальные стали:

- для режущего инструмента;
- для мерительного инструмента;
- для штампового инструмента.

3. КОНСТРУКЦИОННЫЕ УГЛЕРОДИСТЫЕ И ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

Конструкционными называют стали, применяемые для изготовления деталей машин и механизмов, металлических конструкций. Их поставляют в виде проката различных профилей, которые выпускаются различного качества, углеродистыми и легированными.

К конструкционным сталям предъявляются требования по основным и технологическим свойствам.

Конструкционные стали характеризуются комплексом основных механических свойств, определяемых при стандартных испытаниях (σ_b , $\sigma_{0,2}$, δ , ψ , KCV, HB). Этот комплекс свойств обеспечивает высокую конструктивную прочность, т.е. прочность, которая находится в наибольшем соответствии со служебными свойствами данного изделия. Конструкционная прочность оценивается надежностью материала против внезапных разрушений, температурным порогом хладноломкости, долговечностью изделия, по сопротивлению усталости, стойкости против коррозии и износа.

Конструкционная сталь должна обладать хорошими технологическими свойствами: хорошей или удовлетворительной обрабатываемостью давлением, резанием, свариваемостью и малой склонностью к деформации и трещинообразованию при термической обработке, достаточной прокаливаемостью.

3.1. Углеродистые стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-88)

Самые дешевые конструкционные стали. В процессе выплавки сохраняют повышенное количество вредных примесей.

Стали обыкновенного качества маркируются буквами Ст и цифрами: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6 (ГОСТ 380-88).

Цифра – это номер стали, которому соответствует химический состав и основные свойства. Чем выше цифра, тем больше углерода в стали (от 0,06 до 0,49%) и тем соответственно выше прочность и ниже пластичность ($\sigma_b = 310\text{--}640$ МПа; $\delta = 23\div 17\%$ для сталей Ст0 и Ст6 соответственно). Содержание углерода в

сталях обыкновенного качества можно определить по номеру стали следующим образом: $C = \text{№ стали} \times 0,07 (\%)$.

В зависимости от условий и степени раскисления стали выпускают спокойными (сп), кипящими (кп), полуспокойными (пс), что оговаривается в конце маркировки, например Ст3кп.

Эти стали не обладают высокой прочностью, поэтому из них изготавливают детали машин неответственного назначения, работающих при относительно невысоких нагрузках. Стали марок Ст0, Ст1, Ст2, Ст3 ($C \leq 0,25\%$) применяют для строительных сварных, клепаных и болтовых конструкций (балок, ферм, подъемных кранов и т.д.) чаще всего в состоянии поставки, т.е. после нормализации. Детали машин из этих сталей изготавливают методом холодного, горячего деформирования, обработкой резанием. Если они работают в условиях интенсивного износа, то поверхности могут подвергаться цементации ($C \leq 0,25\%$). Стали марок (Ст4, Ст5, Ст6) не используют для сварных конструкций. Детали машин из них проходят нормализацию на феррито-перлитную структуру, улучшение на сорбитную структуру и, если требуется повышенная твердость на поверхности, поверхностную закалку ТВЧ (токами высокой частоты) за счет мартенситной структуры с включениями карбидов.

3.2. Углеродистые конструкционные качественные стали (ГОСТ 1050-88)

К ним предъявляются более высокие требования по содержанию вредных примесей, а также по неметаллическим включениям. Качественные углеродистые конструкционные стали маркируют цифрами 05, 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 58, 60 (ГОСТ 1050-88). Цифры указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Низкоуглеродистые стали марок 08, 10, 15, 20, 25 ($0,15\text{--}0,25\% C$) называют цементуемыми. Они обладают невысокой прочностью, но высокой пластичностью ($\sigma_B = 330\text{--}460$ МПа, $\delta = 33\div 23\%$). После нормализации эти стали используют для ответственных сварных конструкций, для деталей, заготовки которых получают методом глубокой вытяжки, а также для цементуемых деталей машин.

Среднеуглеродистые стали марок 30, 35, 40, 45, 50, 55 (0,3–0,55% С) называют улучшаемыми; они имеют повышенную прочность ($\sigma_{\text{в}} = 500\text{--}700$ МПа) при несколько пониженной пластичности ($\delta = 21\div 16\%$) по сравнению с малоуглеродистыми. Их используют для изготовления самых разнообразных деталей во всех отраслях машиностроения после нормализации или улучшения (полной закалки и высокого отпуска на сорбит). Если требуется повышенная износостойкость на поверхности, то для сталей марок 40, 45, 50, 55 проводится поверхностная закалка ТВЧ.

3.3. Легированные конструкционные стали общего назначения

Маркируются цифрами и буквами, например: 15Х, 12ХН3А; двузначные цифры, приводимые в начале марки, указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Если цифра перед маркировкой отсутствует, то углерода в стали около 1%.

Буквы в маркировке обозначают легирующие элементы: А – азот (N); Н – никель (Ni); Г – марганец (Mn); Х – хром (Cr); Р – бор (В); Б – ниобий (Nb); М – молибден (Mo); Ц – цирконий (Zr); Д – медь (Cu); В – вольфрам (W); П – фосфор (P); С – кремний (Si); Ю – алюминий (Al); Ф – ванадий (V); Т – титан (Ti); Е – селен (Se); К – кобальт (Co). Цифра после буквы указывает примерное содержание легирующего элемента в целых процентах. Отсутствие цифр говорит о том, что его количество составляет от 1 до 1,5%, а карбидообразующих элементов – в десятых долях%, от 0,1 до 0,5 в зависимости от элемента. К особенностям маркировки конструкционных сталей относится то, что в подшипниковых конструкционных сталях – буква Ш перед маркировкой (ШХ15) среднее содержание хрома указывается в десятых долях процента; буква Л в конце маркировки означает, что заготовка из этой стали изготавливается методом литья (40 Л); буква А перед маркировкой – сталь автоматная (А20), цифры после нее – это содержание углерода в сотых долях процента и т.д.

3.3.1. Строительные низколегированные стали (ГОСТ 19281-89)

По качеству легированные стали выплавляют только качественными или высококачественными. Высокое качество плавки стали отмечают буквой А в конце марки (30ХГСА). Особо высококачественные стали встречаются гораздо реже и выделяются буквой Ш в конце марки (30ХГСШ).

Строительные низколегированные стали легируют марганцем и кремнием (20Г2, 17ГС, 10Г2С1). Для особо ответственных сварных конструкций используют стали с никелем (он понижает порог хладноломкости), хромом, медью (они улучшают коррозионную стойкость, например, 15ХСНД, 25ХСНД). Типовой режим термической обработки – это улучшение на сорбит.

3.3.2. Машиностроительные конструкционные легированные стали (ГОСТ 4543-71)

Данные стали легируют с целью повышения прочности и прокаливаемости чаще всего хромом, марганцем, кремнием (по 1% каждого). В ответственных случаях они легированы никелем (3–5%), который повышает прочность без снижения ударной вязкости, понижает температурный порог хладноломкости. Легированные конструкционные стали более технологичны по сравнению с углеродистыми, т.е. они меньше деформируются при термической обработке из-за возможности выполнения закалки в масле. Используют для более крупных и тяжелонагруженных деталей машин сложной формы с сечением выше 20 мм.

Так же, как углеродистые, они, в зависимости от содержания углерода, делятся на цементуемые (15Х, 20Х, 12ХН3А, 18ХГТ, 20ХГР) и улучшаемые (30Х, 40Х, 40ХН, 30ХГСА). Применяют легированные стали только после упрочняющей обработки по типовым режимам: низкоуглеродистые – после закалки и низкого отпуска; среднеуглеродистые – после улучшения.

Для повышения износостойкости стали подвергают: цементации – процессу диффузионного насыщения поверхности стали углеродом (15Х, 20Х, 18ХГТ, 20ХН3ФА и другие цементуемые стали); азотированию – процессу диффузионного насыщения по-

верхности стали азотом (38ХМЮА, 38Х2МЮА, 40Х, 40ХНЗФА и другие азотируемые стали); низколегированные стали (30Х, 40Х и др.) могут подвергаться закалке ТВЧ.

4. СТАЛИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Имеют специфические свойства, химический состав, термическую обработку и более узкую область применения. В общем машиностроении из широкого многообразия этих сталей наиболее часто применяют рессорно-пружинные, подшипниковые, нержавеющие, износостойкие, автоматные и др.

4.1. Рессорно-пружинные стали

Применяют для изготовления рессор, пружин, шпинделей, станков, бандажно-колесных пар и других деталей с высокой упругостью. Их выпускают углеродистыми: стали 65, 70, 75, 80, 85, 60Г, 65Г, 70Г по ГОСТ 1050-1988 и легированными: 55С2, 60С2А, 70С3А, 65С2ВА, 50ХГФА, 60С2Н2А и др. по ГОСТ 14959-79. Для обеспечения упругих свойств стали содержат повышенное количество углерода (0,55–0,75%) и подвергаются полной закалке с последующим среднетемпературным отпускком. По этой же причине основными легирующими элементами пружинных сталей являются марганец и кремний. Срок службы пружин повышают: обработкой ППД, патентированием холоднотянутой проволоки.

4.2. Износостойкие стали

Это подшипниковые и высокомарганцевистые стали Гатфильда.

4.2.1. Подшипниковые стали

Марки ШХ4, ШХ15, ШХ15СГ, ШХ20СГ (ГОСТ 801-78) являются высокоуглеродистыми, содержат около 1% углерода. В подшипниках качения (кольцах, шариках, роликах) должны обеспечиваться высокая прочность, износостойкость, в том числе

усталостная, и высокий предел выносливости. Детали подшипников воспринимают высокие контактные, знакопеременные нагрузки, поэтому их обрабатывают на максимальную твердость и прочность. Для этого их подвергают неполной закалке и низкому отпуску. Основные и технологические свойства этих сталей, например прокаливаемость, улучшают введением хрома в количестве 0,4–1,5%.

4.2.2. Износостойкие стали Гатфильда

Это высокомарганцевистые аустенитные стали типа 110Г13Л, 110Г13Х2БРЛ, 130Г14ХМФАЛ, 110Г13ФТЛ, 120Г10ФЛ и др. Используют обязательно в условиях динамических нагрузок для изготовления траков гусеничных машин, щек дробилок, черпаков землечерпальных машин, крестовин железнодорожных и трамвайных путей и т.д. В условиях ударных нагрузок они упрочняются за счет наклепа аустенита.

4.3. Нержавеющие стали

Выпускают хромистыми (08Х13, 12Х13, 20Х13, 30Х13, 40Х13, 12Х17, 15Х25Т) и хромоникелевыми (04Х18Н10, 08Х18Н10, 12Х18Н10Т, 17Х18Н9, 10Х13Н2Т, 10Х14Г14Н4Т, 12Х17Т9АН4 и др. по ГОСТ 5632-72).

Отличительной особенностью этих сталей является наличие хрома более 12,5%, что вызывает изменение электропотенциала феррита с электроотрицательного на электроположительный в хромистых сталях и получение парамагнитного аустенитного состояния в хромоникелевых сталях. Это и обеспечивает высокую коррозионную стойкость сталям.

Термическую обработку нержавеющей сталей производят для повышения коррозионной стойкости за счет стабилизации структуры феррита в сталях 08Х13, 12Х17, 15Х25Т ферритного класса или аустенита в сталях 08Х18Н10, 12Х18Н10Т и др. аустенитного класса.

Мартенситные стали 20Х13, 30Х13, 40Х13 подвергают упрочняющей обработке, тип которой определяется условиями эксплуатации и соответствует типовым режимам обычных конструкционных сталей, а именно:

- для деталей машин – улучшение (20Х13, 30Х13);
- для пружин, коррозионно-стойкого инструмента, подшипников – закалка с низким отпускком (20Х13, 30Х13, 40Х13).

Нержавеющие стали плохо обрабатываются резанием. Детали и конструкции из них изготавливают методами холодной и горячей обработки давлением, а из ферритных и аустенитных – сваркой.

4.4. Автоматные стали

Автоматные стали обрабатывают при высоких скоростях резания. При их применении снижается расход режущего инструмента и уменьшается шероховатость поверхности обрабатываемой детали.

А12, А20, А30, А35, А40Г, АС14, АС35Г2, АС45Г2, АЦ20, АЦ30, АЦ40Х (ГОСТ 1414-75) – это стали хорошей обрабатываемости резанием, созданы для обработки на автоматических линиях в массовом производстве.

Технологическое свойство – обрабатываемость резанием – улучшается за счет введения повышенного количества серы (0,08–0,3%) и фосфора (менее 0,05%), а также свинца (0,15–0,3%, буква С в маркировке) или кальция (0,002–0,008%). Маркируют автоматные стали цифрами и буквами: А – сталь автоматная; С – содержит свинец; Ц – содержит цинк; остальные легирующие элементы указываются так же, как и в легированных сталях. Цифры перед маркировкой – это содержание углерода в сотых долях процента.

Эти стали имеют пониженную из-за вредности примесей прочность и широко применяются в массовом производстве, особенно в автомобилестроении, станкостроении, тракторном машиностроении для изготовления слабо- и средненагруженных деталей машин после термообработки, аналогичной углеродистой, т.е. чаще после нормализации или улучшения, могут подвергаться цементации в зависимости от требований к деталям машин.

5. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СТАЛИ

Применяют для изготовления режущего, мерительного и штампового инструмента. Это высокоуглеродистые стали

(0,7–1,4% С), обладающие высокими твердостью, теплостойкостью, удовлетворительной прочностью, ударной вязкостью.

Их выпускают углеродистыми и легированными. По теплостойкости подразделяют: на нетеплостойкие (до 200°C), полутеплостойкие (до 400°C) и теплостойкие (600°C и выше).

Особенностью маркировки инструментальных сталей является то, что содержание углерода указывается в десятых долях процента. У углеродистых оно следует за буквой У (У10), а в легированных ставится перед маркировкой (9ХС), если цифра перед маркировкой отсутствует, то углерода в стали около 1% (ХВГ).

В промышленности выплавляют углеродистые стали следующих марок: У7, У8, У8Г, У8ГА, У9, У10, У11, У12, У13, качественными и высококачественными: У7А и У13А (ГОСТ 1435-90). Их применяют в основном для изготовления слесарного, штампового холодного деформирования, деревообрабатывающего и металлообрабатывающего инструментов, работающих без нагрева.

Низколегированные нетеплостойкие Х, ХВГ, 9ХС, ХВСГ, 6ХС (ГОСТ 5950-73) и др. используют практически так же, как и углеродистые, только для сложного и крупного инструментов с размерами 30–50 мм, так как являются более технологичными.

Среднелегированные полутеплостойкие типа Х12 применяют для крупногабаритных до 400 мм тяжелонагруженных штампов холодного деформирования. Стали с пониженным содержанием углерода 5ХНМ, 5ХГН, 4Х5В2С, 3Х2В8Ф и др. (ГОСТ 5950-73) используют в качестве штамповых сталей горячего деформирования.

Высоколегированные теплостойкие инструментальные стали называют быстрорежущими. Выпускают быстрорежущие стали следующих марок: Р6М5, Р9, Р12, Р18, Р6М5К8 и др. (ГОСТ 19255-73). Особенность их маркировки – это буква Р. Следующая за ней цифра указывает на содержание основного легирующего элемента этих сталей – вольфрама в %. Они обязательно содержат: углерод 0,8% и более; хром около 4%; кремний около 2%; вольфрам не более 1,2%.

Быстрорежущие стали являются универсальными по назначению, но основное их применение – это всевозможный металло-

режущий инструмент (резцы, сверла, фрезы, протяжки), работающий с нагревом режущей кромки. Термическая обработка инструментальных сталей направлена на обеспечение максимальной твердости и теплостойкости:

- для нетеплостойких (У8, У9, Х, ХВГ, 9ХС) – это закалка с низким отпуском на структуру мартенсит или мартенсит с избыточными карбидами;

- для нетеплостойких (7ХС, 4ХС, 6ХС, 6ХВ2С, 6ХВГ) – это закалка со средним отпуском на структуру троостит либо изотермическая закалка с последующим низким отпуском;

- для полутеплостойких штампов холодного деформирования (Х12, Х12Ф1, Х12ФМ) – высокотемпературная закалка с низким отпуском на мартенситную структуру с избыточными карбидами первичным и вторичным;

- для полутеплостойких штампов горячего деформирования (5ХНМ, 5Х5НВ, 4Х5В2СВ, 4Х5МВС, 3Х2В8Ф, 3Х3М3Ф и др.) – высокотемпературная закалка со среднетемпературным отпуском на структуру троостит;

- для быстрорежущих сталей (Р6М5, Р9, Р12, Р18, Р6М5К5, Р14Ф3 и др.) – высокотемпературная закалка 1 200–1 280°С с последующим трехкратным отпуском при 560°С по 1 часу каждый на структуру мартенсит с первичными и вторичными карбидами.

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Студенты выполняют работу по индивидуальным заданиям и приложению. Содержание работы заключается в следующем:

- ознакомиться с методическим указанием, изучить классификацию сталей и их маркировку;
- предложенные студенту в индивидуальном задании марки сталей расшифровать по химическому составу;
- расшифровать марки сталей по назначению;
- определить область применения каждой марки и сформулировать условия эксплуатации данных сталей;
- дать рекомендации по упрочняющей термической обработке рассматриваемых сталей.

При выполнении задания можно использовать рекомендуемую литературу.

Приложение 1

№ вари- ри- анта	Сплавы	№ вари- анта	Сплавы
1	ШХ15; сталь 65; 8ХФ	16	12ХН3А; 70С2ХА; У13
2	20Г; АС35Г2	17	30Х3МФ; 30Х13; А20
3	18ХГТ; У8Г; ХГС	18	12ГС; 30ХРА; Р12
4	35ХГФ; сталь 20; ХВСГФ	19	15Н2М; 65С2ВА; У9А
5	14Г2; сталь 40; 6ХС	20	55С2ГФ; сталь 5; 20Х13
6	33ХС; сталь 70; Р9Ф5	21	ШХ4; Ст 3; В2Ф
7	40ХФА; У7; 12Х18Н9Т	22	18Х2Н4МА; сталь 35; Р9
8	40ХН; Х12МФ; сталь 45	23	10Г2С1Д; сталь 85; 7Х3
9	30ХН; сталь 10; ХВСГФ	24	20ХНР; 12Х13; 5ХНВ
10	5ХГР; сталь 58; 9ХС	25	16Г2АФ; 60С2А; 6ХВ2С
11	20ХН2М; 14ХГС; 4ХС	26	38ХМЮА; 17Х18Н9Т; У7
12	30ХМА; 55С2; Х12	27	15ХМ; 20Х23Н13; У11
13	38ХС; 15ГФ; Р18	28	08Х17Н5М3; 17Г1С; Р14Ф4
14	38Х2Ю; 15ГФД; 110Г13Л	29	08Х13; 60С2ХФА; Р9К5
15	30ХН2МА; сталь 25; 5ХНМ	30	33ХС; 15ГФД; АЦ20

Практическая работа №4 «КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА СПЛАВОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение классификации, маркировки и области применения наиболее распространенных сплавов цветных металлов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Алюминиевые сплавы

Алюминиевые сплавы по технологическому признаку разделяют на деформируемые, которые обрабатывают прокаткой, прессованием, ковкой и штамповкой, и литейные, предназначенные для фасонного литья. Деформируемые сплавы по способности упрочняться термической обработкой делят на сплавы, упрочняемые и не упрочняемые термообработкой (упрочняющей термической обработкой для алюминиевых сплавов являются закалка и старение – длительная выдержка при нормальной или повышенной температуре).

Деформируемые алюминиевые сплавы (таблица 1) изготавливают по ГОСТ 4784-97.

К сплавам, упрочняемым термической обработкой, относят:

Дуралюмины. Это сплавы системы Al-Cu-Mg. Их маркируют буквой Д и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: Д1, Д16.

Дуралюмины удовлетворительно обрабатываются резанием, хорошо свариваются точечной сваркой. Из них изготавливают обшивки, шпангоуты и лонжероны самолетов, силовые каркасы, строительные конструкции, кузова грузовых автомобилей и т.д.

Высокопрочные сплавы. К ним относят сплавы системы Al-Zn-Mg-Cu. Их маркируют буквой В и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: В93, В95.

Высокопрочные сплавы прочнее, чем дуралюмины, но пластичность их ниже. Они хорошо обрабатываются резанием и сва-

риваются точечной сваркой. Такие сплавы применяют в самолетостроении для нагруженных конструкций.

3. Ковочные сплавы. Это сплавы системы Al-Cu-Mg-Si. Их маркируют буквами АК и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: АК6, АК8.

Такие сплавы обладают хорошей пластичностью и стойкостью к образованию трещин при горячей пластической деформации. Они хорошо обрабатываются резанием и удовлетворительно свариваются контактной сваркой. Ковочные сплавы используют для изготовления средненагруженных деталей сложной формы: подмоторных рам, фитингов, крыльчаток лопастей винтов вертолета и т.д.

К алюминиевым сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относят:

Сплавы алюминия с марганцем. Примером такого сплава является сплав АМц, содержащий 1–1,5% марганца.

Сплавы алюминия с магнием. Такие сплавы маркируют буквами АМг и цифрой, указывающей среднее содержание магния в сплаве.

Например: АМг2 – сплав алюминия с магнием, содержащий около 2% магния.

Сплавы алюминия с марганцем и магнием легко обрабатываются давлением, хорошо свариваются и обладают высокой коррозионной стойкостью. Обработка резанием затруднена. Их применяют для сварных и клепаных конструкций, испытывающих небольшие нагрузки и требующих высокого сопротивления коррозии: емкости для жидкости, баки для бензина, трубопроводы, палубные надстройки, переборки судов и т.д.

Литейные алюминиевые сплавы (таблица 2) по ГОСТ 1583-93 маркируют буквами и цифрами. Первая буква А означает основу сплава (алюминий), последующие буквы – основные легирующие компоненты (К – кремний, М – медь, Ц – цинк, Мг – магний, Мц – марганец, Кд – кадмий), а цифры – среднее содержание компонентов в процентах. Отсутствие цифры означает, что данного компонента в сплаве около 1%.

Таблица 1

Химический состав (ГОСТ 4784-97) и механические свойства некоторых деформируемых
алюминиевых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Al), %				Вид полуфабриката, вид термической обработки	Механические свойства			
	Cu	Mg	Mn	прочие		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ
						Не менее			
Д1	3,5–4,5	0,4–0,8	0,4–1,0	–	Листы, закалка и старение Прессованные прутки, закалка и старение	400 480	240 320	20 14	95 –
Д16	3,8-4,9	1,2–1,8	0,3–0,9	–	Листы, закалка и старение Прессованные прутки, закалка и старение	440 530	330 400	18 11	105 –
В95	1,4–2,0	1,8–2,8	0,2–0,6	5–7 Zn, 0,10–0,25 Cr	Листы, закалка и старение Прессованные прутки, закалка и старение	540 600	470 560	10 8	150 150
АК6	1,8–2,6	0,4–0,8	0,4–0,8	0,7–1,2 Si	Поковки, закалка и старение	400	299	12	100
АК8	3,9–5,0	0,2–0,8	0,4–1,0	0,5–1,2 Si	Поковки, закалка и старение	480	380	9	135
АМц	–	–	1,0–1,5	–	Листы, отжиг	130	50	20	30
АМг2	–	1,7–2,4	0,1–0,5	–	Листы, отжиг	190	100	23	45
АМг6	–	5,8–6,8	0,5–0,8	0,02–0,10 Ti, 0,002–0,005Be	Листы, отжиг	340	170	20	70

Таблица 2

**Химический состав (ГОСТ 1583–93) и механические свойства некоторых литейных
алюминиевых сплавов**

Марка сплава*	Содержание элементов (остальное Al), %					Способ литья, вид термической обработки	Механические свойства			
							$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ
	Si	Mg	Cu	Mn	прочие		Не менее			
АК12 (АЛ2)	10–13	—	—	—	—	В песчаные формы, отжиг	180	80	6	50
АК9 (АЛ4)	8,0–10,5	0,17–0,30	—	0,2–0,5	—	В песчаные формы, закалка и старение	260	200	4	75
АК7 (АЛ9)	6–8	0,2–0,4	—	—	—	Под давлением, без т.о.	220	120	2	50
						В песчаные формы, закалка старение	220	160	3	75
АК8М (АЛ32)	7,5–9,0	0,3–0,5	1,0–1,5	0,3–0,5	0,1–0,3 Ti	Под давлением, без т.о.	270	160	3	80
АМ5 (АЛ19)	—	—	4,5–5,3	0,6–1,0	0,15–0,35 Ti	В песчаные формы, закалка и старение	360	250	3	100
АМг10 (АЛ27)	—	9,5–11,5	—	—	0,05–0,15 Be 0,05–0,20 Zr 0,05–0,15 Ti	В песчаные формы, закалка	360	180	15	75

*В скобках приведено старое обозначение марки сплава.

Например: АК5М – алюминиевый сплав, содержащий около 5% кремния и 1% меди.

К литейным алюминиевым сплавам относят:

Сплавы алюминия с кремнием (силумины) марок АК12, АК9, АК7, АК8М и др. Силумины обладают высокими литейными свойствами, хорошо свариваются, сравнительно легко обрабатываются резанием. Их применяют для изготовления средних и крупных литых деталей ответственного назначения: корпусов компрессоров, картеров и блоков цилиндров двигателей и т.д.

Сплавы алюминия с медью марок АМ5, АМ4,5Кд. Эти сплавы обладают высокой прочностью при обычных и повышенных температурах, хорошо обрабатываются резанием и свариваются, но обладают низкими литейными свойствами. Их используют для отливки небольших деталей простой формы (арматуры, кронштейнов и т.д.)

Сплавы алюминия с магнием (магналии) марок АМг10, АМг5Мц и др. Такие сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью, прочностью, вязкостью и хорошей обрабатываемостью резанием, но, как и сплавы системы Al - Cu, имеют невысокие литейные свойства. Их применяют для изготовления деталей, работающих в условиях высокой влажности в судостроении и авиации: деталей приборов, вилок шасси и хвостового оперения, штурвалов и т.д.

2.2. Магниевые сплавы

Магниевые сплавы, как и алюминиевые, по технологическому признаку делят на деформируемые и литейные, по способности упрочняться термической обработкой – на упрочняемые и не упрочняемые термообработкой (закалкой и старением).

Деформируемые магниевые сплавы (таблица 3) по ГОСТ 14957-76 разработаны на базе систем Mg-Mn, Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr и Mg-Li. Их маркируют буквами МА и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: МА5, МА11.

Литейные магниевые сплавы (таблица 3) по ГОСТ 2856-1979 изготавливают на базе систем Mg-Al-Zn, Mg-Zn-Zr и Mg-Nd. Эти сплавы маркируют буквами МЛ и цифрой, обозначающей условный номер сплава.

Например: МЛ5, МЛ8.

Сплавы магния обладают малой плотностью, высокой удельной прочностью и удельной жесткостью. Они хорошо обрабатываются резанием, легко шлифуются и полируются, удовлетворительно свариваются дуговой и контактной сваркой. К недостаткам относятся меньшая, чем у алюминиевых сплавов, коррозионная стойкость, худшие литейные свойства, малый модуль упругости, склонность к газонасыщению, окислению и воспламенению при выплавке.

Магниевые сплавы широко применяются в самолетостроении (корпуса приборов, насосов, фонари и двери кабины и т.д.), ракетной технике (корпуса ракет, обтекатели, топливные и кислородные баки, стабилизаторы), конструкциях автомобилей, особенно гоночных (корпуса, колеса, помпы и т.д.), в приборостроении (корпуса и детали приборов).

2.3. Медные сплавы

По химическому составу сплавы меди делят на две основные группы: латуни (сплавы меди с цинком) и бронзы (сплавы меди с другими элементами). Бронзы, в свою очередь, подразделяют на оловянные и безоловянные. По технологическому признаку медные сплавы делят на деформируемые и литейные, по способности упрочняться с помощью термической обработки – на упрочняемые и не упрочняемые термообработкой.

Сплавы меди маркируют буквами Л (латунь) или Бр (бронза), после чего следуют буквы и цифры, обозначающие составляющие сплав элементы и среднее содержание этих элементов в процентах. Условные обозначения элементов в медных сплавах: А – алюминий, Б – бериллий, Ж – железо, К – кремний, Мц – марганец, Н – никель, О – олово, С – свинец, Ф – фосфор, Х – хром, Ц – цинк. Порядок букв и цифр различен для деформируемых и литейных сплавов.

В марках деформируемых латуней (таблица 4) по ГОСТ 15527-2004 первые две цифры после буквы Л обозначают среднее содержание меди в процентах. Цифры, указывающие содержание других элементов в сплаве, пишут через тире после всех букв, обозначающих эти элементы. Содержание цинка определяют по разности от 100%.

Например: Л70 – латунь, содержащая около 70% меди и $100 - 70 = 30\%$ цинка;

ЛО70-1 – латунь, содержащая 70% меди, 1% олова и $100 - 70 - 1 = 29\%$ цинка;

ЛАЖ60-1-1 – латунь, содержащая 60% меди, 1% алюминия, 1% железа и $100 - 60 - 1 - 1 = 38\%$ цинка.

Деформируемые латуни хорошо поддаются холодной обработке давлением, обработке резанием, имеют высокую коррозионную стойкость.

Из них изготавливают радиаторные трубки, гильзы патронов и снарядов, сильфоны, втулки, тройники, штуцеры, токопроводящие детали электрооборудования и т.д.

В литейных латунях (таблица 4) по ГОСТ 17711-93 среднее содержание элемента в процентах ставят сразу после буквы, обозначающей данный элемент. Отсутствие цифры означает, что данного элемента в сплаве около 1%. Содержание меди определяют по разности от 100%.

Например: ЛЦ40С – латунь, содержащая 40% цинка, 1% свинца и $100 - 40 - 1 = 59\%$ меди;

ЛЦ40Мц3Ж – латунь, содержащая 40% цинка, 3% марганца, 1% железа и $100 - 40 - 3 - 1 = 56\%$ меди.

Таблица 3

Химический состав и механические свойства некоторых магниевых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Mg), %				Вид термической обработки	Механические свойства			
	Mn	Zn	Al	прочие		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ
						Не менее			
Деформируемые сплавы (ГОСТ 14957-76)									
МА5	0,15–0,50	0,2–0,8	7,8–9,2	–	Закалка и старение	320	220	14	55
МА11	1,5–2,5	–	–	2,5–3,5 Nd, 0,10–0,22 Ni	Закалка и старение	280	140	10	–
МА14	–	5–6	–	0,3–0,9 Zr	Закалка и старение	350	300	9	60
МА19	–	5,5–7,0	–	0,5–0,9 Zr, 0,2–1,0 Cd, 1,4–2,0 Nd	Закалка и старение	380	330	5	80
Литейные сплавы (ГОСТ 2856-79)									
МЛ5	0,15–0,50	0,2–0,8	7,5–9,0	–	Закалка и старение	255	120	6	25
МЛ8	–	5,5–6,6	–	0,7–1,1 Zr, 0,2–0,8 Cd	Закалка и старение	255	155	5	–
МЛ12	–	4–5	–	0,6–1,1 Zr	Закалка и старение	270	160	6	–
МЛ10	–	0,1–0,7	–	0,4–1,0 Zr, 2,2–2,8 Nd	Без т.о.	200	95	6	26
МЛ15	–	4–5	–	0,7-1,1 Zr, 0,6-1,2 La	Без т.о.	210	130	3	28

Литейные латуни обладают хорошей жидкотекучестью, коррозионной стойкостью и антифрикционными свойствами. Из них изготавливают втулки, сепараторы шариковых и роликовых подшипников, гребные винты и их лопасти и т.д.

В марках деформируемых бронз (таблица 5) содержание основного компонента – меди – не указывают, а определяют по разности от 100%. Цифры, указывающие содержание элементов в сплаве, пишут через тире после всех букв, обозначающих эти элементы.

Например: БрОФ6,5-0,4 – бронза, содержащая 6,5% олова, 0,4% фосфора и $100 - 6,5 - 0,4 = 93,1\%$ меди.

Деформируемые оловянные бронзы (ГОСТ 5017-2006) обладают хорошими антифрикционными свойствами и коррозионной стойкостью. Их используют для изготовления плоских и круглых пружин, барометрических коробок, мембран, антифрикционных деталей.

К деформируемым безоловянным бронзам (ГОСТ 18175-78) относят:

Алюминиевые бронзы БрА5, БрА7, БрАЖ9-4 и др. Они отличаются высокими механическими, антикоррозионными и антифрикционными свойствами. Из них изготавливают втулки, фланцы, шестерни, червячные колеса и другие ответственные детали.

Бериллиевые бронзы БрБ2 и др. Они имеют высокую прочность, упругость, коррозионную стойкость, хорошо обрабатываются резанием и свариваются. Эти бронзы используют в приборостроении для изготовления ответственных пружин, мембран, кулачков, пружинящих контактов и т.д.

Кремнистые бронзы БрКМц3-1, БрКН1-3. Они характеризуются хорошими механическими, упругими и антифрикционными свойствами. Такие бронзы легко обрабатываются давлением, резанием и свариваются. Кремнистые бронзы используют вместо более дорогих оловянных для изготовления антифрикционных деталей, а также для замены бериллиевых бронз при производстве пружин, мембран и других упругих деталей, работающих в пресной и морской воде.

В марках литейных бронз (таблица 5), как и в литейных латунях, среднее содержание элемента в процентах ставят сразу после буквы, обозначающей этот элемент.

Например: БрОЗЦ12С5 – бронза, содержащая 3% олова, 12% цинка, 5% свинца и $100 - 3 - 12 - 5 = 80\%$ меди.

Литейные оловянные (ГОСТ 613-79) и безоловянные (ГОСТ 493-79) бронзы обладают хорошей жидкотекучестью и малой усадкой, что позволяет применять их для изготовления сложных отливок, в частности художественного литья. Высокая коррозионная стойкость в атмосферных условиях, пресной и морской воде способствует их широкому использованию для изготовления пароводяной арматуры. Литейные бронзы являются также хорошим антифрикционным материалом, их применяют для изготовления подшипников.

2.4. Цинковые сплавы

Промышленные цинковые сплавы разработаны на базе систем Zn-Al и Zn-Al-Cu. Поскольку цинк относительно плохо деформируется, детали из цинковых сплавов изготавливают литьем.

Литейные цинковые сплавы (таблица 6) по ГОСТ 25140-93 маркируют буквами и цифрами. Первая буква Ц означает основу сплава (цинк), последующие буквы – основные легирующие компоненты (А – алюминий и М – медь), а цифры – среднее содержание компонентов в процентах.

Например: ЦА4М3 – цинковый сплав, содержащий около 4% алюминия и 3% меди.

Таблица 4

Химический состав и механические свойства некоторых латуней

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Zn), %		Вид полуфабриката, вид термической обработки или способ литья	Механические свойства		
				σ _в , МПа	δ, %	НВ
	Cu	прочие		Не менее		
Деформируемые латуни (ГОСТ 15527-2004)						
Л90	88–91	–	Листы, отжиг	230	36	60
Л63	62–65	–	Листы, отжиг	290	38	70
ЛО70-1	69–71	1,0–1,5 Sn	Трубы, отжиг	314	55	47
ЛА77-2	76–79	1,7–2,5 Al	Трубы, отжиг	300	23	–
ЛК80-3	79–81	2,5–4,0 Si	Прутки, отжиг	275	53	93
ЛАН59-3-2	57–60	2,5–3,5 Al, 2–3 Ni	Прутки, отжиг	440	40	108
Литейные латуни (ГОСТ 17711-93)						
ЛЦ40Мц3Ж	53–58	0,5–1,5 Fe, 3–4 Mn	В песчаные формы	441	18	90
ЛЦ38Мц2С2	57–60	1,5–2,5 Pb, 1,5–2,5 Mn	В песчаные формы	245	15	80
ЛЦ40С	57–61	0,8–2,0 Pb	В кокиль	215	20	80
ЛЦ30А3	66–68	2–3 Al	В песчаные формы	294	12	80
ЛЦ16К4	78–81	3,0–4,5 Si	В песчаные формы	294	15	100
ЛЦ14К3С3	77–81	2–4 Pb, 2,5–4,5 Si	В кокиль	294	15	100

Таблица 5

Химический состав и механические свойства некоторых бронз

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Cu), %				Вид полуфабриката, вид термической обработки или способ литья	Механические свой- ства		
	Sn	Pb	Zn	прочие		σ_b , МПа	δ , %	НВ
Деформируемые оловянные бронзы (ГОСТ 5017-2006)								
БрОФ6,5-0,4	6-7	—	—	0,26-0,40 Р, 0,1-0,2 Ni	Полосы, отжиг	295	60	69
БрОЦ4-3	3,5—4,0	—	2,7—3,3	—	Полосы, отжиг	290	35	—
БрОЦС4-4-2,5	3—5	1,5—3,5	3—5	—	Полосы, отжиг	294	35	—
Деформируемые безоловянные бронзы (ГОСТ 18175—78)								
БрА5	—	—	—	4—6 Al	Листы, отжиг	274	33	—
БрАЖ9-4	—	—	—	8—10 Al, 2—4 Fe	Прутки прессован- ные	540	15	110
БрБ2	—	—	—	1,8—2,1 Be, 0,2—0,5 Ni	Прутки, закалка и старение	1080	2	320
БрКМц3-1	—	—	—	2,75—3,50 Si, 1,0—1,5 Mn	Полосы, отжиг	350	35	—
БрКН1-3	—	—	—	0,6—1,1 Si, 2,4—3,4 Ni, 0,1—0,4 Mn	Прутки, закалка и старение	620	5	—

Продолжение таблица 5

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Cu), %				Вид полуфабриката, вид термической обработки или способ литья	Механические свойства		
	Sn	Pb	Zn	прочие		σ_B , МПа	δ , %	НВ
Литейные оловянные бронзы (ГОСТ 613-79)								
БрОЗЦ12С5	2,0–3,5	3–6	8–18	–	В кокиль	206	5	58
БрО5Ц5С5	4–6	4–6	4–6	–	В песчаные формы	147	6	58
БрО10Ц2	9–11	–	1–3	–	В песчаные формы	215,5	10	63
Литейные безоловянные бронзы (ГОСТ 493-79)								
БрА10ЖЗМц2	–	–	–	9–11 Al, 2–4 Fe, 1–3 Mn	В кокиль	490	12	117
БрА10Ж4Н4	–	–	–	9,5–11,0 Al, 3,5–5,5 Fe, 3,5–5,5 Ni	В кокиль	587	6	166
БрА11Ж6Н6	–	–	–	10,5– 11,5Al, 5,0–6,5 Fe, 5,0–6,5 Ni	В песчаные формы	587	2	245

Лучшими способами получения отливок из цинковых сплавов являются литье под давлением и литье в кокиль. Относительно низкая температура литья определяет легкие условия работы пресс-форм и кокилей, а высокая жидкотекучесть позволяет отливать тонкостенные детали сложной формы.

Наиболее широко литейные цинковые сплавы используют в автомобильной промышленности для отливки корпусов карбюраторов, насосов, спидометров, решеток радиаторов, деталей гидравлических тормозов, а также в других отраслях промышленности, бытовой технике для отливки деталей приборов, корпусов, арматуры и т.д.

Таблица 6

Химический состав (ГОСТ 25140-93) и механические свойства некоторых литейных цинковых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Zn), %				Способ литья	Механические свойства		
	Al	Cu	Mg	прочие		σ _в , МПа	δ, %	НВ
ЦА4	3,5–4,5	–	0,02–0,06	–	Под давлением	256	1,2	70
ЦА4М1	3,5–4,5	0,7–1,3	0,02–0,06	–	Под давлением	270	1,7	80
ЦА4М3	3,5–4,5	2,5–3,7	0,02–0,06	–	Под давлением	290	1,5	90
ЦА8М1	7,1–8,9	0,7–1,4	0,01–0,06	–	В кокиль	235	1,5	70
ЦА30М5	28,5–32,1	3,8–5,6	0,01–0,08	0,01–0,50 Fe	В кокиль	435	8	115

2.5. Титановые сплавы

Титановые сплавы по технологии изготовления подразделяют на деформируемые и литейные; по способности упрочняться термической обработкой – на упрочняемые и неупрочняемые термообработкой; по структуре в отожженном состоянии – на α - (имеют гексагональную кристаллическую решётку), β - (с кубической объёмно-центрированной решёткой) и $(\alpha + \beta)$ -сплавы.

К α -сплавам относятся сплавы титана с алюминием, а также сплавы дополнительно легированные оловом или цирконием. Они характеризуются средней прочностью при 20 °С, высокими механическими свойствами при пониженных и повышенных температурах. Такие сплавы обладают отличной свариваемостью и удовлетворительной обрабатываемостью резанием. Недостатки сплавов с α -структурой – неупрочняемость термической обработкой и низкая технологическая пластичность.

Двухфазные $(\alpha + \beta)$ -сплавы обладают лучшим сочетанием механических и технологических свойств. Они легированы в основном алюминием с добавками ванадия, молибдена, хрома, железа. Сплавы $\alpha + \beta$ упрочняются термической обработкой – закалкой и старением. В отожжённом состоянии они имеют хорошую пластичность, а после закалки и старения – высокую прочность при 20 °С и при повышенных температурах. Двухфазные сплавы удовлетворительно свариваются и обрабатываются резанием.

Однофазные β -сплавы не имеют промышленного применения, так как обладают пониженной удельной прочностью и высокой стоимостью.

Маркировка деформируемых титановых сплавов (таблица 7) по ГОСТ 19807-1991 отражает наименование организации-разработчика и порядковый номер разработки сплава. Так, марка ВТ означает «ВИАМ титан» (ВИАМ – Всероссийский институт авиационных материалов); марка ОТ означает «Опытный титан» – сплавы, разработанные совместно ВИАМом и заводом ВСМПО (г. Верхняя Салда, Свердловской области); марка ПТ означает «Прометей титан» – разработчик ЦНИИ КМ («Прометей», г. Санкт-Петербург).

Таблица 7

**Химический состав (ГОСТ 19807-91) и механические свойства некоторых деформируемых
ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ**

Марка сплава	Содержание элементов (остальное Ti), %				Структура, вид термической обработки	Механические свойства			
	Al	V	Mo	прочие		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , % , не менее	KCU, МДж/м ² , не менее
BT5	4,5–6,2	1,2	0,8	0,3 Zr	α -сплавы, отжиг	700–950	66–850	10	0,5
BT5-1	4,3–6,0	1,0	–	2–3 Sn 0,3 Zr		750–950	650–850	10	0,4
OT4	3,5–5,0	–	–	0,8–0,2 Mn 0,3 Zr		700–900	550–650	12	0,5
BT6	5,3–6,8	3,5–5,3	–	0,3 Zr	β -сплавы, закалка и старение	1100–1150	1000–1050	14	0,3
BT14	3,5–6,3	0,9–1,9	2,5–3,8	0,3 Zr		1150–1400	1080–1300	6	–
BT22	4,4–5,7	4,0–5,5	4,0–5,5	0,5–1,5 Cr 0,5–1,5 Fe 0,3 Zr		1100–1250	–	9	0,4

Литейные титановые сплавы специально не создавались. Для фасонного литья используют сплавы тех же составов (с несколько большим содержанием примесей), что и для производства деформируемых заготовок. В конце марки литейного сплава добавляют букву «Л» (например, ВТ20Л). Такие сплавы обладают более низкими механическими свойствами, чем деформируемые. Упрочняющая термическая обработка резко снижает пластичность литейных сплавов и поэтому не применяется.

Титановые сплавы получили широкое применение в авиации, ракетной технике, судостроении, химической и других отраслях промышленности. Их используют для обшивки сверхзвуковых самолетов, изготовления деталей реактивных авиационных двигателей, корпусов ракетных двигателей, баллонов для сжатых и сжиженных газов, обшивки морских судов, подводных лодок и т.д.

2.6. Антифрикционные сплавы

Антифрикционные сплавы применяют для изготовления вкладышей подшипников скольжения. Эти сплавы должны иметь достаточную твердость, но не очень высокую, чтобы не вызвать сильного износа вала; сравнительно легко деформироваться под влиянием местных напряжений, т.е. быть пластичными; удерживать смазочный материал на поверхности; иметь малый коэффициент трения между валом и подшипником; обладать хорошей теплостойкостью для обеспечения интенсивного теплоотвода от поверхностей трения; быть устойчивыми к коррозии.

Для обеспечения этих свойств структура антифрикционных сплавов должна быть неоднородной и состоять из мягкой и пластичной основы с включениями твердых частиц (реже из твердой основы и мягких включений).

В качестве антифрикционных сплавов используют чугуны, сплавы на основе меди-бронзы и латуни, сплавы на оловянной, свинцовой, цинковой и алюминиевой основе.

Чугунные вкладыши изготавливают из серых чугунов СЧ15, СЧ20 (ГОСТ 1412-85) и легированных антифрикционных чугунов: серых АЧС-1, АЧС-2 и др.; высокопрочных АЧВ-1 и АЧВ-2; ковких АЧК-1 и АЧК-2 (ГОСТ 1585-85). Они предназна-

чены для работы при значительных давлениях и малых скоростях скольжения. К достоинствам чугунов можно отнести их невысокую стоимость, к недостаткам – плохую прирабатываемость, чувствительность к недостаточности смазочного материала и пониженную стойкость к воздействию ударных нагрузок.

Бронзы имеют лучшие, чем чугуны, антифрикционные свойства. Чаще всего используют оловянные и свинцовые бронзы БрО10Ф1, БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С3 (ГОСТ 613-79), БрС30 (ГОСТ 493-1979). Бронзы применяют для монолитных подшипников скольжения турбин, электродвигателей, компрессоров, работающих при значительных давлениях и средних скоростях скольжения.

Латуни применяют в качестве заменителей бронз для опор трения. Однако по антифрикционным свойствам они уступают бронзам. Латуни ЛЦ16К4, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ40Мц3А и др. (ГОСТ 17711-93) применяют при малых скоростях скольжения и невысоких нагрузках. Их часто используют для опор трения приборов.

Антифрикционные сплавы на оловянной или свинцовой основе называют баббитами (таблица 8). В соответствии с ГОСТ 1320-74 к сплавам на оловянной основе относят баббиты Б83 (содержит примерно 83% олова), Б88 (88% олова) и Б83С (83% олова, со свинцом), на свинцовой основе – Б16 (16% олова), БС6 (6% олова, с сурьмой) и БН (с никелем). Другую группу образуют более дешевые свинцово-кальциевые баббиты (ГОСТ 1209-90) БКА (с кальцием и алюминием), БК2 (2% олова, с кальцием) и др.

По антифрикционным свойствам баббиты превосходят все остальные сплавы, но значительно уступают им по сопротивлению усталости. Поэтому баббиты применяют только для тонкого (менее 1 мм) покрытия рабочей поверхности опоры скольжения. Наилучшими свойствами обладают оловянные баббиты. Их используют для подшипников ответственного назначения (дизелей, паровых турбин и т.п.), работающих при больших скоростях и нагрузках.

К антифрикционным цинковым сплавам по ГОСТ 21438-95 (таблица 8) относят ЦАМ10-5 (содержит 10% алюминия и 5% меди) и ЦАМ9-1,5 (9% алюминия и 1,5% меди). Отличаясь

высокими антифрикционными свойствами и достаточной прочностью при комнатной температуре, эти сплавы могут заменять бронзы для узлов трения, температура которых не превышает 100 °С. При более высоких температурах сплавы размягчаются и налипают на вал.

Алюминиевые антифрикционные сплавы изготавливают по ГОСТ 14113-78 (таблица 8). К ним относят АО6-1 (содержит 6% олова и 1% меди), АО9-2 (9% олова и 2% меди) и др. Алюминиевые сплавы обладают достаточно высокими антифрикционными свойствами, но по технологичности уступают баббитам. Их более высокая твердость требует обработки цапф с повышенной чистотой, а высокий коэффициент линейного расширения – более тщательной сборки с большими зазорами. Алюминиевые сплавы применяют вместо баббитов и свинцовой бронзы в подшипниках, работающих при высоких нагрузках и средних скоростях.

Таблица 8

Химический состав некоторых антифрикционных сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, %						
	Sn	Sb	Cu	Pb	Al	Ni	прочие
Баббиты (ГОСТ 1320-74)							
Б83	остальное	7,3–7,8	2,5–3,5	–	–	0,15–0,25	0,8–1,2 Cd
Б88	остальное	10–12	5,5–6,5	–	–	–	–
Б83С	остальное	9–11	5–6	1,0–1,5	–	–	–
Б16	15–17	15–17	1,5–2,0	остальное	–	–	–
БС6	5,5–6,5	5,5–6,5	0,1–0,3	остальное	–	–	–
БН	9–11	13–15	1,5–2,0	остальное	–	–	–
Баббиты (ГОСТ 1209-90)							
БКА	–	–	–	остальное	0,05–0,20	–	0,95–1,15 Ca, 0,7–0,9 Na
БК2	1,5–2,1	–	–	остальное	–	–	0,30–0,55 Ca, 0,2–0,4 Na, 0,06–0,11 Mg

Продолжение таблица 8

Марка сплава	Содержание элемента, %						
	Sn	Sb	Cu	Pb	Al	Ni	прочие
Цинковые антифрикционные сплавы (ГОСТ 21438-95)							
ЦАМ10-5	–	–	4,0–5,5	–	9–12	–	0,03–0,06 Mg остальное Zn
ЦАМ9-1,5	–	–	1–2	–	9–11	–	0,03–0,06 Mg остальное Zn
Алюминиевые антифрикционные сплавы (ГОСТ 14113-78)							
АО6-1	5–7	–	0,7–1,3	–	остальное	0,7–1,3	–
АО9-2	8–10	–	2,0–2,5	–	остальное	0,8–1,2	0,3–0,7 Si
АО20-1	17–23	–	0,7–1,2	–	остальное	–	–

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Ознакомиться с классификацией, маркировкой, свойствами и областью применения сплавов цветных металлов.

Расшифровать марки цветных сплавов по варианту задания, взятому из приложения.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

Наименование и цель лабораторной работы.

Краткое изложение основных теоретических положений.

Расшифровку марок заданных сплавов.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. По каким признакам классифицируют алюминиевые сплавы?
2. Какие алюминиевые сплавы можно упрочнить термической обработкой?
3. Как маркируют деформируемые и литейные алюминиевые сплавы?
4. Назовите основные элементы, входящие в состав латуней.
5. Какие сплавы называют бронзами?
6. Как маркируют деформируемые латуни и бронзы?
7. Как маркируют литейные латуни и бронзы?
8. Как классифицируют титановые сплавы по структуре в отожженном состоянии?
9. Сплавы каких цветных металлов используют как антифрикционные?

Приложение

Задание на расшифровку марок чугунов и цветных сплавов

Номер варианта	Сплавы
1	Д16; ЛК80-3; МА5
2	ЛН65-5; В95; ЦА4
3	АМг6; БрО3Ц12С5; МЛ5
4	ЛО62-1; АК8М; ЦАМ10-5
5	БрОЦС5-5-5; МА11; АМ5
6	ЛА77-2; БрА5; АМц
7	БрО4Ц4С17; МА14; ЦАМ9-1,5
8	ЛАН60-1-1; АМг3; МЛ8
9	БрБ2; Л63; ЦА30М5
10	ЛЖМц59-1-1; БрКН1-3; Д1
11	БрА7; ЛЦ30А3; МЛ10
12	Б88; Л90; БрА11Ж6Н6
13	БрАЖ9-4; ЦА4М3; ЛК80-3
14	АМг5; ЛЦ40С; БрОЦ4-3
15	БрО5ЦНС25; ЛАН59-3-2; МА14
16	ЛК80-3; АМг6; ЦА8М1
17	В95; ЛЦ40Мц3Ж; БрОЦС4-4-2,5
18	БрОФ4-0,25; ЛЦ40С; ЦА30М5
19	ЛА77-2; Д18; БрО3Ц12С5
20	БрОЦС5-5-5; ЛЦ16К4; АЧС-1
21	АМц; БрА10Ж3Мц2; МЛ12
22	ЛАН60-1-1; БрО10Ц2; ЦА4М1
23	АМг2; ЛЖМц59-1-1; МЛ15
24	БрБ2; ЛЦ38Мц2С2; МА19
25	Л90; Д18; БрА10Ж3Мц2
26	БрА7; ЛО70-1; АМг2
27	АЧК-1; ЛЦ30А3; БрАЖ9-4
28	БрА10Ж4Н4; ЛЦ40С; МЛ8
29	БрАЖМц10-3-1,5; МА14; Л63
30	АЧВ-2; ЛН65-5; БрО10Ц2

Практическая работа №5 «ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ. КЛАССИФИКАЦИЯ, СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение структуры, строения, классификации, свойств и области применения полимерных материалов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Полимерами называют вещества с большой молекулярной массой (от 5000 до 1000000), у которых молекулы состоят из *мономеров* – макромолекул с ковалентными связями.

2.1. Структура и строение полимеров

Под структурой полимеров понимают взаимное расположение в пространстве макромолекул, образующих полимер. Общая структура полимера складывается из молекулярной и надмолекулярной структур – взаимной укладки молекул в полимерном веществе.

В соответствии с молекулярной структурой полимеры делятся на три группы (рис. 1):

- *линейные полимеры* – соединения, макромолекулы которых представляют собой длинные цепи, связанные между собой Ван-дер-ваальсовыми силами молекулярного взаимодействия;

- *разветвленные (привитые) полимеры*, образованные цепями с боковыми ответвлениями (число ответвлений и их длина различны); к ним относятся гребнеобразные, звездообразные полимеры;

- «*сшитые*» (*сетчатые*) полимеры состоят из макромолекул, образующих пространственную сетку, охватывающую весь образец; среди них различают густо- и редкосшитые, рез-

ко различающиеся по своим свойствам; к сшитым относят лестничные полимеры.

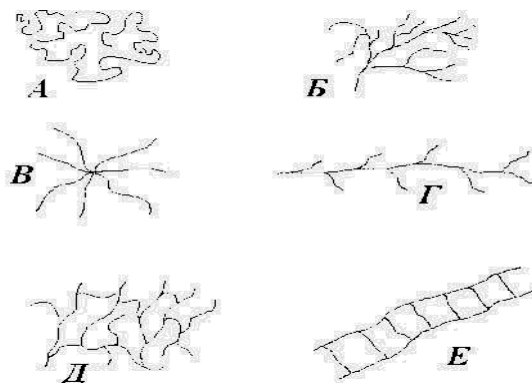


Рис. 1. Схематичное изображение макромолекул полимеров различной топологии: А – линейный полимер; Б, В, Г – разветвленные; В – звездообразный; Г – гребнеобразный; Д, Е – сшитые; Е – лестничный.

Надмолекулярная структура может быть:

- *кристаллической* (молекулы укладываются в порядке, соответствующем определённой кристаллической решётке);
- *нечетной* (на больших участках главные цепи соседних молекул располагаются параллельно).

Строение полимеров. В зависимости от размещения групп вдоль главной оси полимеры делятся:

- на *регулярные* (с упорядоченным расположением групп);
- *нерегулярные* (с неупорядоченным расположением групп).

2.2. Классификация полимеров

Существует несколько видов классификации полимерных материалов (рис. 2).

По химическому составу полимерные материалы делятся на органические, элементоорганические и неорганические.

Органическими полимерами являются смолы и каучуки. Молекулярная цепь этих материалов образована атомами углерода с возможными примесями серы, фосфора, хлора и др.

Элементоорганические соединения содержат в составе основной цепи неорганические атомы, сочетающиеся с органиче-

скими. К этой группе относятся кремнийорганические соединения.

К неорганическим полимерам принадлежат керамика, слюда, асбест, силикатные стёкла. Их основу составляют оксиды кремния, алюминия, магния, кальция и др.

По фазовому состоянию полимерные материалы подразделяются на аморфные и кристаллические.

Аморфные полимеры построены из цепных молекул, собранных в пачки или глобули (свёрнутые в клубки цепи), являющиеся структурными элементами.

Кристаллические полимеры образованы кристаллами правильной формы, которые получаются путём перестройки внутри пачки в определённом интервале температур.

По механизмам поляризации молекул полимеры делятся на полярные и неполярные (рис. 3).

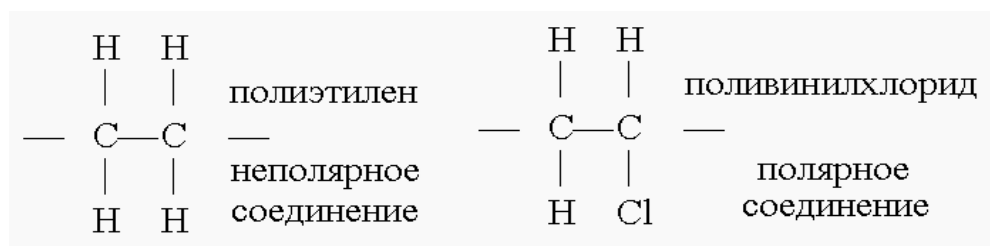


Рис. 3. Примеры молекул полярного и неполярного соединений.

Неполярные полимеры (нейтральные диэлектрики) состоят из неполярных молекул, у которых центры тяжести положительного и отрицательного зарядов совпадают и их электрический момент равен нулю. Свойства этих материалов мало изменяются под воздействием температуры; они, как правило, морозоустойчивы. Примером практически неполярных диэлектриков, применяемых в качестве электроизоляционных материалов, являются углеводороды, нефтяные электроизоляционные масла, полиэтилен, полистирол и др.



Рис. 2. Общая классификация полимеров

Полярные (дипольные) полимеры состоят из полярных молекул, обладающих электрическим моментом. В таких молекулах из-за их асимметричного строения центры масс положительных и отрицательных зарядов не совпадают. При замещении в неполярных полимерах некоторой части водородных атомов другими атомами или неуглеводородными радикалами получают полярные вещества. Полярные полимеры обладают повышенной жесткостью и теплостойкостью, высокой адгезионной способностью, пониженной морозостойкостью. К ним относятся фенолоформальдегидные и эпоксидные смолы, кремнийорганические соединения, хлорированные углеводороды и др.

По физико-механическим свойствам полимеры классифицируют на пластики (пластмассы) и эластики (эластомеры).

Пластики бывают жесткие, полужесткие и мягкие.

Жесткие пластики – твердые упругие материалы аморфной структуры с высоким модулем упругости (свыше 1000 МПа) и малым удлинением при разрыве, сохраняющие свою форму при внешних напряжениях в условиях нормальной или повышенной температуры.

Полужесткие пластики – твердые упругие материалы кристаллической структуры со средним модулем упругости (выше 400 МПа), высоким относительным и остаточным удлинением при разрыве, причем остаточное удлинение обратимо и полностью исчезает при температуре плавления кристаллов.

Мягкие пластики – мягкие и эластичные материалы с низким модулем упругости (около 20 МПа), высоким относительным удлинением и малым остаточным удлинением, причем обратимая деформация исчезает при нормальной температуре.

Эластики – мягкие эластичные материалы с низким модулем упругости (ниже 20 МПа), поддающиеся значительным деформациям при растяжении, причем вся деформация или большая ее часть исчезает при нормальной температуре с большой скоростью (практически мгновенно).

По строению полимерной цепи различают полимеры карбоцепные и гетероцепные.

В карбоцепных полимерах цепь состоит только из атомов углерода.

В гетероцепных в состав цепи кроме углерода входят кислород, азот и другие элементы.

По отношению к нагреву полимеры делят на термопластичные и термореактивные.

Термопластичные способны многократно размягчаться при нагреве и твердеть при охлаждении без изменения свойств.

Термореактивные при нагреве остаются твёрдыми вплоть до полного термического разложения.

2.3. Получение полимеров

Полимеры получают в результате реакций полимеризации и поликонденсации.

Полимеризация – процесс соединения друг с другом большого числа молекул мономера за счет кратных ($C = C$, $C = O$ и др.) связей или раскрытия циклов, содержащих гетероатомы (O, N, S). При полимеризации обычно не происходит образования низкомолекулярных побочных продуктов, вследствие чего полимер и мономер имеют один и тот же элементный состав.

Поликонденсация – процесс соединения друг с другом молекул одного или нескольких мономеров, содержащих две и более функциональные группы (OH, CO, COC, NHS и др.), способные к химическому взаимодействию, при котором происходит отщепление низкомолекулярных продуктов. Полимеры, получаемые поликонденсационным способом, по составу не соответствуют исходным мономерам.

2.4. Пластмассы

Пластические массы (пластмассы) – это искусственные материалы, основой которых (связующим) являются полимеры. К особенностям пластмасс относят малую плотность, низкую теплопроводность, значительное тепловое расширение, хорошие электроизоляционные свойства, высокую химическую стойкость, фрикционные и антифрикционные свойства. Отличительной особенностью этих материалов являются хорошие технологические свойства.

Классификация пластмасс.

По структуре пластмассы делят на *гомогенные* (однородные) и *гетерогенные* (неоднородные). Структура пластмасс зависит от введения в их состав наряду с полимером других компонентов.

По составу пластики подразделяют на ненаполненные, газонаполненные, наполненные.

Ненаполненные пластмассы состоят из полимера, иногда из красителя, пластификатора и стабилизатора.

В *газонаполненные* кроме указанных материалов входят также воздух или другой газ путем использования добавок газообразующих или воздухововлекающих веществ.

Наполненные пластики состоят из полимера и наполнителя. Эти материалы наиболее часто используют для изготовления пластмассовых строительных материалов и изделий.

По составу пластики делятся на одно- и многокомпонентные. Состав *однокомпонентных* пластмасс представлен только полимером.

В состав *многокомпонентных* пластмасс входят:

- наполнитель – прерывистая фаза, прочно сцепленная со связующим (как правило, инертное вещество, которое вводят для повышения твёрдости и придания особых свойств); по виду наполнителя пластмассы подразделяют:

- на порошковые (наполнитель – древесная мука, графит, тальк и др.);

- волокниты (очёсы хлопка и льна, стекло- и асболокно);

- слоистые с листовым наполнителем (бумага – гетинакс, ткань – текстолит, асбо- и стеклоткань и др.);

- газонаполненные (пено-, поро- и сотопласты; наполнитель – воздух или нейтральные газы);

- связующее – матрица, объединяющая в единое целое все составные части: смолы, цемент, стекло;

- пластификаторы применяют для улучшения технологических

и эксплуатационных свойств (стеарин, олеиновая кислота и др.);

- отвердители (сшивающие агенты) – амины – вводят с целью создания химических связей между молекулами полимера;

- катализаторы – перекисные соединения – вводят для отверждения, т.е. создания межмолекулярных связей;
- смазывающие вещества используют для увеличения текучести;
- стабилизаторы повышают стойкость к воздействию тепла, света, кислорода и т.д.

По назначению пластмассы подразделяют на группы:

- *конструкционные*, отличающиеся высокими механическими свойствами (полистирол, фенопласты, стеклопластики и др.);
- *электроизоляционные*, обладающие хорошими диэлектрическими свойствами (полиэтилены, полистирол, фторопласты, гетинакс, текстолит и др.);
- *химически стойкие* пластмассы (фторопласт-4, винипласт, асболокнители и др.);
- *фрикционные* пластмассы, обладающие в условиях сухого трения высокими значениями коэффициента трения и износостойкостью (асболокнители, асботекстолиты и др.);
- *антифрикционные*, имеющие малый коэффициент трения и высокую износостойкость (фторопласт-4, капрон, лавсан и др.);
- *тепло- и звукоизоляционные* пластмассы, отличающиеся низким коэффициентом теплопроводности и высокой звукопоглощающей способностью (пенополистирол, пенополиуретан и др.);
- *светотехнические и оптические*, устойчивые к действию света и обладают высокими оптическими свойствами (полиметилакрилат и др.);
- *декоративные*, применяются для отделки мебели транспортных салонов и т.п. (гетинакс, полистирол и др.).

Данная классификация в значительной мере условна, т.к. одна и та же пластмасса может использоваться в разном качестве.

В зависимости от отношения связующего к повторному нагреву пластмассы, подобно полимерам, делятся на *термопласты* (термопластичные пластмассы) и *реактопласты* (термореактивные пластмассы).

По совокупности свойств пластические массы делятся: на термопласты, реактопласты, газонаполненные пластмассы и эластомеры (рис. 2).

2.4.1. Термопласты

Термопласты – это материалы, обладающие способностью размягчаться при повышении температуры, превращаясь в вязкую жидкость, и затвердевать при понижении температуры, сохраняя свои первоначальные свойства. В нагретом состоянии им придаётся под давлением определенная форма, сохраняемая при охлаждении. Основа термопластов – полимеры с линейной или разветвлённой структурой.

Для большинства термопластов характерны следующие особенности: предел прочности составляет 10–100 МПа, температура эксплуатации не превышает 60–200°C. Более прочными считаются кристаллические термопласты, помимо этого, они хорошо сопротивляются усталости, их долговечность выше, чем у металлов.

Термопластические пластмассы делят:

- *по совокупности* физических и технологических *свойств*
- на термопласты общетехнического и инженерно-технического назначения;
- *по строению* – на полярные и неполярные (рис. 2).

К неполярным термопластам (рис. 2) относят полиэтилен высокого (ПЭВД) и низкого (ПЭНД) давления, полипропилен, полистирол и фторопласт-4.

Полиэтилен – продукт полимеризации бесцветного газа этилена, относящийся к кристаллизующимся полимерам. Молекулы полиэтилена имеют линейную структуру. Обладает весьма высокой химической стойкостью. Заготовки из этого материала получают методами формования (экструзией и раздувом) и литьём под давлением. Свойства и область применения приведены в таблица 1.

Полипропилен является продуктом полимеризации пропилена и представляет собой аморфно-кристаллический неполярный термопласт. перерабатывается литьём под давлением и формованием. Хорошо сваривается. Физиологически нейтрален, что определило область его применения (таблица 1).

Полистирол получают путём полимеризации мономерного стирола. Это твёрдый аморфный полимер. Характеризуется высокими диэлектрическими показателями (таблица 1); устойчив по

отношению к щелочам и кислотам, не растворяется в воде, спиртах, эфирах и др.; длительно сохраняет свойства при воздействии гамма-излучения. Заготовки получают литьём под давлением и экструзией.

Фторопласт-4 (политетрафторэтилен) является аморфно-кристаллическим полимером. Стоек к действию кислот и щелочей; высококачественный диэлектрик (таблица 1). При переработке возникают трудности вследствие низкой пластичности.

К полярным термопластам (рис. 2) принадлежат: фторопласт-3, органическое стекло, полиформальдегид, поливинилхлорид и другие материалы.

Фторопласт-3 (полимер трифтохлорэтилена) – линейный аморфно-кристаллический полимер белого цвета. Обладает повышенной плотностью, твёрдостью и высокими механическими свойствами (таблица 1), хорошей устойчивостью в агрессивных средах, легко перерабатывается методами прессования, литья под давлением и др.

Органическое стекло (полиметилакрилат) – аморфный бесцветный прозрачный полимер на основе сложных эфиров акриловой и метакриловой кислот. Отличается высокой атмосферостойкостью, устойчивостью к действию кислот; низкой поверхностной твёрдостью (таблица 1).

Полиформальдегид – простой полиэфир – линейный полимер, обладающий чрезвычайно плотной упаковкой кристаллов, вследствие чего имеет высокие твёрдость, ударную вязкость и упругость (таблица 1). Материал устойчив к воде, маслам, бензину.

Поливинилхлорид (ПВХ) (винипласт, пластикат) – линейный аморфный полимер. Имеет хорошие электроизоляционные характеристики, стоек по отношению ко многим средам: воде, кислотам, маслам и др.; обладает высокими прочностью и упругостью, однако, при длительной эксплуатации прочность снижается (таблица 1).

2.4.2. Реактопласты

Термореактивные материалы (реактопласты) при нагревании переходят в неплавкое, нерастворимое твердое состояние

и необратимо утрачивают свойства плавиться. Это многокомпонентные материалы, в состав которых входят смолы, наполнители, пластификаторы, ускорители или замедлители, отвердители, красители, растворители.

Основной компонент термореактивных пластмасс – смолы (высокомолекулярные органические соединения), вследствие чего реактопласты отличаются повышенной прочностью, способны работать при повышенных температурах до 350°C.

В производстве используют следующие виды смол:

- фенолформальдегидные бакелитовые (резольные смолы и новолаки);
- эпоксидные;
- кремнийорганические (силиконы);
- полиэфирные (наиболее часто глифталевые).

Реактопласты классифицируют в зависимости от формы частиц наполнителя. Их подразделяют на порошковые, волокнистые и слоистые пластмассы (рис. 2).

Пластмассы с порошковыми наполнителями.

Пластмассы этой группы изготавливают на основе новолачных, кремнийорганических и других смол в смеси с древесной мукой, асбестом, кварцем, слюдой, графитом. Готовые изделия получают методом прессования. Пресс-порошки отличаются изотропностью, удовлетворительными электроизоляционными свойствами, химической и водостойкостью, невысоким уровнем механических свойств (таблица 2).

Таблица 1

Свойства и область применения термопластов

Наименование	ρ , кг/м ³	T , °C	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	ρ_1 , Ом·м	Область применения
ПЭВД	920÷930	–130÷110	10÷17	10^{18}	Трубы, литые и прессованные несилосые детали, плёнки; защитные покрытия
ПЭНД	949÷955	–160÷100	18÷45	10^{18}	
Полипропилен	920÷930	–20÷150	30÷35	$10^{17} \div 10^{18}$	Аналогично полиэтиленам, также в бытовой технике: контейнеры, посуда и др.
Полистирол	1050÷1080	–20÷90	37÷48	$10^{16} \div 10^{18}$	Товары бытового назначения: игрушки, панели приборов и т.п.; в электротехнике – в производстве конденсаторов
Фторопласт-4	1900÷2200	–270÷250	15÷35	10^{19}	Электрорадиотехнические детали, трубы, вентили, манжеты и др.
Фторопласт-3	2090÷2160	–195÷150	30÷45	$1,2 \cdot 10^{16}$	Трубы, клапаны, шланги, защитные покрытия металлов, низкочастотные диэлектрические изделия
оливинилхлорид	1350÷1430	–40÷90	40÷120	$10^{13} \div 10^{15}$	Уплотнители пневмо- и гидросистем, изоляция проводов, кабелей и др.
Полиформальдегид	1470	–60÷130	70	10^{12}	Зубчатые колёса, подшипники, клапаны и другие детали машин
Полиметилакрилат (оргстекло)	1200	–60÷60	63÷120	$10^{11} \div 10^{12}$	В авиастроении: стёкла вертолётов и др., светотехнические детали, линзы и т.п.

Примечание: ρ , кг/м³ – плотность; T , °C – рабочая температура; $\sigma_{\text{в}}$, МПа – предел прочности на растяжение; ρ_1 , Ом·м – удельное электросопротивление

Пластмассы с волокнистыми наполнителями.

Материалы представляют собой композиции из связующего – смолы и волокнистого материала. В зависимости от этого различают: волокниты, асбо- и стекловолокниты.

Волокниты состоят из волокнистого наполнителя в виде очёсов хлопка, пропитанного фенолформальдегидным связующим. Пресс-материал волокнита является грубой и жесткой массой, из которой нельзя прессовать мелкогабаритные, тонкостенные детали. Свойства и применение приведены в таблице 2.

Асбоволокниты содержат наполнитель – асбест – волокнистый минерал, расщепляющийся на тонкое волокно; связующим служит, как правило, фенолформальдегидная смола. Преимуществом асбоволокнитов является повышенная теплостойкость (таблица 2), ударопрочность, устойчивость к кислым средам и фрикционные свойства; как диэлектрики их применяют для низкочастотных токов.

Стекловолокниты – это композиция, состоящая из связующего – синтетической смолы и стекловолокнистого наполнителя. Стекловолокно получается путем продавливания расплавленной стекломассы через фильеры (отверстия в дне электропечи).

Стекловолокно негорюче, устойчиво к действию ультрафиолетовых лучей, химически стойко, стабильных размеров. Наполнитель является армирующим элементом и воспринимает основные нагрузки при работе стеклопластика. Свойства этих материалов (таблица 2) зависят от длины волокна и состава стекла.

Слоистые пластики.

Слоистые пластики состоят из связующего и листового наполнителя, что определяет их слоистую структуру и анизотропию свойств. Материалы выпускают в виде труб, листов, плит и других заготовок, из которых механической обработкой производят детали. Слоистые пластики получили широкое применение как силовые конструкционные материалы. В эту группу входят: текстолит, гетинакс, древеснослоистые пластики, асбо- и стекло-текстолит, СВМ.

Таблица 2

Свойства и область применения реактопластов

Наименование	ρ , кг/м ³	$T_{\text{пред}}$, °С	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	Область применения
Порошковые	1400	110	50÷100	0,5	Несилловые изделия электротехнического назначения; ремонт изношенных деталей путём заливки смолой
Волокнит	1400	110	30÷60	2	Детали общетехнического назначения: втулки, фланцы, направляющие и т.п.
Асбоволокнит	1950	200	—	3	Тормозные устройства, кислотоупорные ванны, трубы и др.
Стекловолоконит	1800	280	80÷500	2	Силовые электротехнические детали, детали машин: золотники, уплотнения и т.д.
Гетинакс	1350	150	80÷100	2	Облицовка транспортных средств: вагонов, кабин; электротехнические изделия
Текстолит	1400	125	65÷100	2	Детали машин: корпусные, шестерни, подшипники и др.
Асботекстолит	1600	190	55	—	Теплоизоляционный материал; лопасти бензонасосов, фрикционные диски, накладки, тормозные колодки и др.
ДСП	1350	200	180÷300	—	Аналогично текстолитам
Стеклотекстолит	1750	300	250÷600	—	Крупные детали машин, применяемые в судостроении и радиотехнике
СВАМ	1900	200	350÷1000		Силовые изделия и несилловые изделия: корпуса, трубы, кожухи, ограждения и др.

Примечание: ρ , кг/м³ – плотность; $T_{\text{пред}}$, °С – предельная рабочая температура; $\sigma_{\text{в}}$, МПа – предел прочности на растяжение; δ , % – относительное остаточное удлинение

Текстолит изготавливают на основе фенолформальдегидных смол с наполнителем из листов хлопчатобумажной ткани (шифон, бязь и др.). Материал обладает хорошей способностью поглощать вибрационные нагрузки. Текстолит имеет низкий коэффициент трения, высокую износостойкость. Недостатком является низкая рабочая температура (таблица 2).

Гетинакс – это материал, представляющий собой бумагу разных сортов, пропитанную модифицированными фенолформальдегидными смолами. Устойчив к действию химикатов, растворителей, пищевых продуктов, что определило область его применения (таблица 2). Различают электротехнический и декоративный гетинакс.

Асботекстолит производят на основе кремнийорганических смол с наполнителем из асбестовых тканей. Выдерживает кратковременно высокие температуры, поэтому применяется в качестве теплоизоляционного материала. Асботекстолит обладает хорошими антифрикционными и механическими свойствами (таблица 2).

Древеснослоистые пластики (ДСП) изготавливают из древесного шпона, пропитанного термореактивным связующим, спрессованного в виде плит. ДСП имеют высокие физикомеханические свойства (таблица 2), низкий коэффициент трения и применяются в узлах трения вместо деталей из цветных металлов. Недостатком является гигроскопичность.

В *стеклотекстолитах* в качестве наполнителя применяют стеклянные ткани, которые по виду ткацкого переплетения подразделяются на полотняные или гарнитуровые, сатиновые или атласные и кордовые ткани. Для связующего используют все виды смол (п. 5.4.). При получении изделий усиленные нити основы укладываются в направлении, совпадающем с деформацией, и воспринимают растягивающие нагрузки. При многослойной перекрестной укладке пропитанных тканей можно получить равнопрочный стеклопластик. Свойства и применение приведены в таблице 2.

СВАМ – *стекловолоконистый анизотропный материал*, в котором стеклянные нити сразу по выходе из фильер склеиваются между собой в виде стеклянного шпона и затем укладываются, как в фанере. Связующие могут быть различными. СВАМ

является конструкционным материалом с высокими механическими свойствами (таблица 2). Стеклопластики обладают высокой демпфирующей способностью, хорошо работают при вибрационных нагрузках.

2.4.3. Газонаполненные пластмассы

Структура газонаполненных пластмасс (вспененных полимеров) состоит из двух фаз: связующей и газовой. Связующая фаза представляет пластмассу, которая образует стенки ячеек и пор. Газовая фаза является наполнителем. Такое строение обеспечивает особые свойства этих материалов: высокую тепло- и звукоизолирующую способность, весьма низкую плотность.

Получение вспененных материалов осуществляется как путём вспенивания полимерной заготовки в состоянии высокоэластичной деформации, так и введением в исходную композицию заполненных газом сферических частиц (порофоров) из стекла, полимеров, керамики и др. В производстве используют термопласты (полистирол, поливинилхлорид, полиэтилен и др.) и реактопласты (фенолформальдегидную, эпоксидную, кремнийорганическую и другие смолы).

Газонаполненные пластмассы широко применяют для звуко- и теплоизоляции приборов, кабин, контейнеров, холодильников; используются в транспортном машиностроении для заполнения сидений и т.п.

Среди вспененных полимеров выделяют: пено-, поро- и со-топласты (свойства приведены в таблице 3).

Пенопласты представляют собой материалы с замкнутой пористой ячейкой, в которых газообразный наполнитель, находящийся в ячейках, изолирован от атмосферы. Замкнутоячеистая структура обеспечивает хорошую плавучесть и высокие теплоизоляционные свойства. Прочность пенопластов невелика и зависит от плотности материала.

Поропласты – губчатые материалы с открытопористой структурой, вследствие чего присутствующие в них газопористые включения свободно сообщаются друг с другом и с окружающей

атмосферой. Выпускаются эластичными. Отличаются высокой водопоглощающей способностью – до 700%.

Таблица 3

Свойства газонаполненных пластиков

Наименование	ρ , кг/м ³	$T_{\text{раб.}}$, °C	$\sigma_{\text{в}}$, МПа
Пенополистирол	25–200	– 60÷60	0,7–4,2
Пенополивинилхлорид	50–200	– 60÷60	–60÷60
Пенополиуретан	60–200	– 60÷200	1,8–2,8
Поролон	30–70	– 40÷100	0,1
Пенофенопласт	200	– 60÷150	1,2–2
Пенополиэпоксид	1000–200	– 60÷200	–

Примечание: ρ , кг/м³ – кажущаяся плотность; $T_{\text{раб.}}$, °C – рабочая температура; $\sigma_{\text{в}}$, МПа – предел прочности на растяжение

Сотопласты изготавливают из тонких листов, которые первоначально гофрируют, а затем склеивают в виде пчелиных сот. Материалом для них служат ткани, пропитанные связующим на основе смол. Отличаются повышенной тепло- и, особенно, звуко-изоляцией.

2.5. Эластомерные материалы

Эластомерными материалами (эластомерами) называют полимеры, обладающие способностью к значительным обратимым (высокоэластичным) деформациям. К ним относятся каучуки и резины (рис. 2).

Каучуки представляют собой гибкоцепные полимеры различной химической природы. Существуют *натуральные* каучуки, получаемые из млечного сока каучуконосных деревьев – латекса, и *синтетические* каучуки, среди которых выделяют: бутадиеновый, бутадиен-стирольный, бутилкаучук, хлорпреновый, бутадиен-нитрильный, кремнийорганический каучуки.

Эти материалы имеют низкие прочностные свойства и значительную долю необратимой составляющей в общей деформации, в связи с чем в чистом виде в качестве технических изделий

не применяются, а используются в качестве исходного сырья для получения резины.

Резины – продукты вулканизации каучуков, являющиеся многокомпонентными материалами. *Вулканизация* – это процесс химического взаимодействия каучука с серой. В процессе вулканизации между макромолекулами образуются поперечные связи различной природы («сшивание»), и формируется единая пространственная сетка, обеспечивающая высокий уровень прочностных и эластичных свойств (резинам свойственна обратимая деформация до 1000%).

В зависимости от количества вводимой серы получается различная частота сетки полимера. При введении 1–5% S образуется редкая сетка, и резина получается высокоэластичной. С увеличением процентного содержания серы сетчатая структура становится более частой, резина – более твёрдой, а при максимально возможном насыщении (до 30%) получают эбонит.

В состав резины, помимо каучука, входят:

- *вулканизирующие агенты* (основной вулканизирующий элемент – сера, кроме того, тиурам, оксиды цинка или магния и др.);
- *наполнители* (сажа, тальк, мел и др.);
- *противостарители – мягчители* (стеарин, парафин, воск и др.);
- *красители* (охра, ультрамарин и т.п.) и др.

Технология изготовления резины включает в себя следующие операции:

- подготовка ингредиентов;
- смешивание ингредиентов;
- получение полуфабриката (сырой резины);
- изготовление заготовок требуемой формы методами пресования и литья под давлением;
- вулканизация.

В процессе эксплуатации резиновые изделия подвержены различным видам *старения*, в результате которого происходят необратимые изменения свойств. Наиболее сильно ухудшают свойства колебания температуры, ионизирующее и ультрафиолетовое излучение, воздействие вакуума.

Резины классифицируются по эксплуатационным признакам на две группы (рис. 2): общего и специального назначения (таблица 4).

К группе **резин общего назначения** относят вулканизаты неполярных каучуков – натурального, бутадиенового, бутадиенстирольного, изопренового и их комбинаций. Эти материалы работают в обычных условиях окружающей среды. Из них изготавливают транспортёрные ленты, амортизаторы, обувь и другие изделия бытового назначения. Свойства приведены в таблице 4.

Таблица 4

Свойства некоторых резин

Наименование	ρ , кг/м ³	$T_{\text{раб.}}$, °C	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %
Общего назначения	900–944	–77÷150	13–34	10–40
Маслобензостойкие	943–2140	–60÷60	3,2–33	10–40
Теплостойкие	1200–1700	250÷325	35–80	4
Износостойкие	–	< 130	21–60	2–10

Примечание: ρ , кг/м³ – плотность; $T_{\text{раб.}}$, °C – рабочая температура; $\sigma_{\text{в}}$, МПа – предел прочности на растяжение; δ – относительное остаточное удлинение

Среди **резин специального назначения** различают: морозотеплостойкие; износо-, маслобензо-, светоозоностойкие; электротехнические и др. В состав каждой из резин вводятся компоненты, обеспечивающие определённый комплекс свойств в заданных условиях эксплуатации (таблица 4).

Износостойкие резины, получаемые на основе полиуретановых каучуков, обладают высокой прочностью, эластичностью, сопротивлением к истиранию, стойкостью к атмосферному воздействию. Из них делают автомобильные шины, конвейерные ленты и т.п.

Электротехнические резины, используемые для изготовления изоляции токопроводящей жилы проводов и кабелей, специальных перчаток и обуви, изготавливают на основе неполярных каучуков.

Маслобензостойкие резины получают на основе хлоропренового, полисульфидного и бутадиеннитрильного каучуков. Из-

делия из этих материалов работают в контакте с бензином, топливом, маслами в интервале температур от -30°C до $+130^{\circ}\text{C}$. Из них делают рукава, уплотнительные прокладки, манжеты и другие изделия.

Морозостойкие резины изготавливаются на основе каучуков, имеющих низкие температуры стеклования, например, бутадиенстирольного. Устойчивость резин к повышенным температурам зависит от состава вулканизатора. Наибольшей термостойкостью обладают резины со смоляной вулканизирующей системой. *Морозо- и теплостойкие резины* наиболее часто используются в качестве уплотнителей.

Светоозоностойкие резины вырабатывают на основе насыщенных каучуков – фторсодержащих, бутилкаучука и др. Помимо устойчивости к атмосферным влияниям эти материалы хорошо сопротивляются истиранию, воздействию масел и топлива, имеют высокую теплостойкость. Широко распространены в изделиях авто- и авиапромышленности.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Студенты выполняют работу по индивидуальным заданиям, приведённым в приложении. Содержание работы заключается в следующем:

- ознакомиться с методическим указанием, изучить строение, классификацию и свойства полимеров;
- используя методическое указание и справочную литературу, определить свойства заданных полимерных материалов;
- указать область применения данных полимеров;
- занести данные в таблицу (приложение);
- оформить отчет;
- ответить на контрольные вопросы.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЁТА

Отчёт должен содержать:

- наименование и цель лабораторной работы;
- краткие теоретические положения;

– таблицу (приложение), заполненную в соответствии с заданием.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение полимеров.
2. Как классифицируются полимеры в соответствии с молекулярной и надмолекулярной структурой?
3. Чем отличаются регулярные полимеры от нерегулярных?
4. Дайте определение пластмасс и приведите их классификацию по назначению.
5. Какие материалы называются реактопластами? Приведите примеры.
6. Какие материалы называются термопластами? Приведите примеры.
7. Назовите особенности вспененных полимеров. Какие материалы принадлежат к этой группе?
8. Дайте определение эластомеров. На какие группы делятся эти материалы?
9. Какие виды резин Вы знаете? Опишите технологию получения резин. Приведите примеры.
10. Как классифицируют резины по назначению? Приведите примеры резин специального назначения, опишите их свойства.

Варианты заданий

№	Наименование полимера
1	Полиэтилен высокого давления (ПЭВД)
2	Полистирол
3	Маслобензостойкая резина
4	Волокнит
5	Асболокнит
6	Стекловолокнит
7	Гетинакс
8	Текстолит
9	Полиметилакрилат (оргстекло)
10	ДСП
11	Стеклотекстолит
12	СВАМ
13	Полиэтилен низкого давления (ПЭНД)
14	Пенополистирол
15	Пенополивинилхлорид
16	Пенополиуретан
17	Поролон
18	Теплостойкая резина
19	Пенополиэпоксид
20	Полипропилен
21	Полистирол
22	Фторопласт-4
23	Фторопласт-3
24	Поливинилхлорид
25	Полиформальдегид

Оформление отчёта

Наименование	Группа по назначению	Свойства		Метод получения	Применение
		физико-механические	специальные		

Практическая работа №6 «НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ НА РАЗЛИЧНЫХ СТАНКАХ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получить практические навыки по назначению режима резания при сверлении и рассверливании.

2. ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой назначения режима резания при сверлении и рассверливании, знать особенности табличного и расчетного методов.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Место процедуры назначения режима резания

Разработка технологического процесса изготовления детали включает в себя следующие этапы:

- разбиение процесса обработки по операциям, а операций по переходам;

- выбор оборудования для соответствующих групп операций (переходов);

- выбор режущего инструмента для соответствующих групп операций (переходов);

- выбор станочных приспособлений и средств контроля для соответствующих групп операций (переходов);

- назначение режима резания для всех операций и переходов;

- нормирование времени обработки и т.д.

Таким образом, процедура назначения является одним из этапов разработки техпроцесса. Исходными данными для нее являются результаты выполнения предыдущих процедур. Все этапы разработки техпроцесса взаимосвязаны, причем по результа-

там проработки текущего этапа может потребоваться коррекция предыдущих.

3.2. Исходные данные для процедуры назначения режима резания

Операция сверления предназначена для получения цилиндрического отверстия в сплошном материале заготовки, а операция рассверливания – для увеличения диаметра уже существующего отверстия. Для назначения режима резания при сверлении (рассверливании) нужны следующие исходные данные:

обрабатываемая заготовка – материал, размеры отверстия, требования к точности и шероховатости поверхности отверстия;

режущий инструмент – тип сверла, материал и конструкция режущей части, геометрия инструмента, размеры рабочей и присоединительной частей;

металлорежущее оборудование – размеры и длины ходов рабочих органов, диапазоны регулирования скоростей движений формообразования, развиваемая мощность и максимальная нагрузка на рабочих органах, класс точности станка;

тип производства.

3.3. Методы назначения режима резания

Существуют два метода назначения режима резания – табличный и расчетный. В первом элементы режима резания выбираются по минимальному количеству исходных данных непосредственно из справочных таблиц. Этот метод быстрее и менее трудоемок, но менее точен, так как не может учесть особенностей конкретного случая обработки. Его следует использовать в мелкосерийном и единичном производстве, где экономические потери от неточного назначения будут минимальны.

Второй метод является более точным и универсальным, но несколько более трудоемким. В нем по исходным данным по справочнику находится совокупность расчетных данных, по которым уже рассчитываются элементы режима резания. Этот метод следует применять в крупносерийном и массовом производстве; в особенности при оптимизации режима обработки, когда

при минимуме затрат требуется получить максимальный экономический эффект. В настоящее время в связи с развитием вычислительной техники второму методу следует отдавать однозначное предпочтение.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Назначение режима резания расчетным методом

4.1.1. Глубина резания

Определяется глубина резания t (мм):

$$t = \frac{D - D_1}{2}, \quad (1)$$

где D – диаметр обрабатываемого отверстия (мм);

D_1 – диаметр предварительного отверстия (мм).

Подача

По исходным данным из справочных таблиц находятся расчетные данные:

табличная подача $S_{таб}$;

поправочный коэффициент на глубину отверстия K_{ls} ;

поправочный коэффициент на жесткость технологической системы $K_{жс}$;

поправочный коэффициент на материал режущей части инструмента K_{us} ;

поправочный коэффициент на точность отверстия K_{os} .

Определяется теоретическая подача S_m (мм/об):

$$S_m = S_{таб} \cdot K_{ls} \cdot K_{жс} \cdot K_{us} \cdot K_{os}. \quad (2)$$

Подача корректируется, то есть из диапазона подач станка выбирается окончательная подача S , ближайшая по величине к теоретической S_m . Возможны следующие варианты:

теоретическая подача входит в диапазон – все нормально, можно продолжать расчет;

теоретическая подача меньше нижней границы диапазона – обработка невозможна, следует выбрать другое оборудование или перейти к рассверливанию в несколько переходов;

теоретическая подача больше верхней границы диапазона – обработка возможна при пониженной производительности, что допустимо в мелкосерийном производстве, но в массовом производстве следует выбрать другое оборудование.

4.1.3. Скорость главного движения

По исходным данным из справочных таблиц находятся расчетные данные:

базовый коэффициент C_v ;

стойкость сверла T (мин);

показатели q_v, y_v, x_v, m ;

поправочный коэффициент на глубину отверстия K_{lv} ;

поправочный коэффициент на материал режущей части инструмента K_{uv} ;

поправочный коэффициент на материал заготовки K_{mv} ;

поправочный коэффициент на состояние поверхности заготовки K_{nv} .

Определяется общий поправочный коэффициент K_v :

$$K_v = K_{lv} \cdot K_{uv} \cdot K_{mv} \cdot K_{nv}. \quad (3)$$

Определяется скорость резания V_p (м/мин):

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}} \cdot K_v. \quad (4)$$

Определяется теоретическая частота вращения шпинделя станка n_m (об/мин):

$$n_m = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D}. \quad (5)$$

Корректируем частоту аналогично подаче, выбираем окончательную частоту вращения шпинделя n .

Определяется действительная скорость V_∂ (м/мин):

$$V_\partial = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (6)$$

Проверяем окончательную частоту, возможны следующие варианты:

$0,75 \leq \frac{V_\partial}{V_p} \leq 1,25$ – все нормально, можно продолжать расчет;

$\frac{V_\partial}{V_p} \geq 1,25$ – обработка неэффективна, следует выбрать другое

оборудование или принудительно уменьшить n (если позволяет диапазон);

$\frac{V_\partial}{V_p} \leq 0,75$ – обработка возможна при сниженной производи-

тельности, что допустимо в мелкосерийном производстве, но в массовом производстве следует выбрать другое оборудование.

Все элементы режима резания (t , S , n) найдены. Далее режим проверяется по прочности элементов технологической элементов системы, мощности оборудования и другим ограничивающим факторам.

4.1.4. Проверка по мощности резания

По исходным данным из справочных таблиц находятся расчетные данные:

мощность двигателя привода главного движения станка $N_{\partial в}$ (кВт);

к.п.д. привода станка η ;

базовый коэффициент C_m ;

показатели q_m, y_m, x_m ;

общий поправочный коэффициент K_m .

Определяется крутящий момент на шпинделе M (кг·м):

$$M = C_m \cdot D^{q_m} \cdot t^{x_m} \cdot S^{y_m} \cdot K_m. \quad (7)$$

Определяется мощность на шпинделе станка $N_{шп}$ (кВт):

$$N_{шп} = N_{дв} \cdot \eta. \quad (8)$$

Определяется мощность резания N_p (кВт):

$$N_p = \frac{M \cdot n}{975}. \quad (9)$$

Проводим проверку по мощности резания, возможны следующие варианты:

$$0,75 \leq \frac{N_p}{N_{шп}} \leq 0,95 \text{ — все нормально, режим резания прошел}$$

проверку;

$$\frac{N_p}{N_{шп}} \leq 0,75 \text{ — режим резания допустим, но станок использу-}$$

ется неэффективно, что допустимо в мелкосерийном производстве, но в массовом производстве следует выбрать другое оборудование.

$$\frac{N_p}{N_{шп}} \geq 0,95 \text{ — режим резания недопустим, следует выбрать}$$

другое оборудование или перейти к рассверливанию в несколько переходов.

4.1.5. Проверка по прочности механизма подачи

По исходным данным из справочных таблиц находятся расчетные данные:

допустимая нагрузка механизма подачи станка Q (кг);

базовый коэффициент C_{px} ;

показатели q_x, y_x, x_x ;

общий поправочный коэффициент K_{px} .

Определяется осевая сила резания P_x (кг):

$$P_x = C_{px} \cdot D^{q_x} \cdot t^{x_x} \cdot S^{y_x} \cdot K_{px}. \quad (10)$$

Проводим проверку по прочности механизма подачи, возможны следующие варианты:

$P_x < Q$ – все нормально, режим резания прошел проверку;

$P_x \geq Q$ – режим резания недопустим, следует выбрать другое оборудование или перейти к рассверливанию в несколько переходов.

4.1.6. Основное технологическое время

Определяется основное технологическое время T_{oc} , (мин):

$$T_{oc} = \frac{\Delta_1 + l + \Delta_2}{n \cdot S}, \quad (11)$$

где Δ_1 – величина врезания инструмента (2–3 мм);

Δ_2 – величина перебега инструмента (2–3 мм, для глухого отверстия $\Delta_2=0$).

4.2. Особенности назначения режима резания табличным методом

Начальные расчетные данные находятся по справочным таблицам. Например, для сверления и рассверливания выбираем:

подачу S_{om} ;

скорость резания V_m ;

осевую силу P_m ;

мощность резания N_m .

Для этих данных находим поправочные коэффициенты K_S, K_V, K_P и K_N . Вычисляем теоретическую подачу S_m (мм/об):

$$S_m = S_{om} \cdot K_S. \quad (12)$$

Скорость резания V_p (м/мин):

$$V_p = V_m \cdot K_V. \quad (13)$$

Осевую силу P_x (кг):

$$P_x = P_m \cdot K_P. \quad (14)$$

Мощность резания N_p (кВт):

$$N_p = N_m \cdot K_N. \quad (15)$$

По вычисленным данным продолжаем назначение режима резания аналогично расчетному методу (п. 4.1).

4.3. Пример назначения режима резания расчетным методом

Исходные данные. Тип производства – мелкосерийное. Тип операции – рассверливание сквозного отверстия в штампованной детали. Заготовка:

материал – Сталь 20;

прочность материала $\sigma_b=38$ кг/мм²;

твердость материала HB200;

диаметр предварительного отверстия $D_I=5$ мм;

глубина отверстия $l=100$ мм;

диаметр окончательного отверстия $D=22$ мм;

точность обработки – обычная (IT14).

Выбран инструмент со следующими параметрами:

тип инструмента – спиральное сверло (ГОСТ 22736-1977);

диаметр рабочей части $D_{ин}=22$ мм;

длина рабочей части $l_{ин}=150$ мм;

материал режущей части – твердый сплав;

конструкция режущей части – с напайными пластинками.

В качестве оборудования для обработки выбран вертикально-сверлильный станок 2A125 (характеристики станка приведены

в приложении). Жесткость технологической системы принята средней. Таблицы для выбора расчетных данных приведены в приложении.

Определяем глубину резания:

$$t = \frac{D - D_1}{2} = \frac{22 - 5}{2} = 8,5 \text{ мм.}$$

По таблица 1 выбираем подачу $S_{маб}=0,43$ мм/об.

По таблица 2–5 находим $K_{ls}=0,9$, $K_{жс}=0,75$, $K_{us}=0,6$, $K_{os}=1$.

Определяем теоретическую подачу:

$$\begin{aligned} S_m &= S_{маб} \cdot K_{ls} \cdot K_{жс} \cdot K_{us} \cdot K_{os} = \\ &= 0,43 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 0,6 \cdot 1 = 0,18 \text{ мм/об.} \end{aligned}$$

Корректируем подачу по данным станка, принимаем $S=0,17$ мм/об.

По таблице 11 находим $C_v=16,2$; $q_v=0,4$; $y_v=0,5$; $x_v=0,2$; $m=0,25$. По таблице 6 выбираем стойкость сверла $T=25$ мин. По таблицам 7–10 берем $K_{lv}=0,75$; $K_{uv}=0,83$; $K_{nv}=0,8$.

$$K_{mv} = 0,6 \cdot (75 / \sigma_s)^{0,9} = 0,6 \cdot (75 / 38)^{0,9} = 1,11.$$

Определяем общий поправочный коэффициент:

$$K_v = K_{lv} \cdot K_{uv} \cdot K_{mv} \cdot K_{nv} = 0,75 \cdot 0,83 \cdot 1,11 \cdot 0,8 = 0,55.$$

Определяем скорость резания:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot S^{y_v} \cdot t^{x_v}} \cdot K_v = \frac{16,2 \cdot 22^{0,4}}{25^{0,25} \cdot 0,17^{0,5} \cdot 8,5^{0,2}} \cdot 0,55 = 21,7 \text{ м/мин.}$$

Определяем теоретическую частоту вращения шпинделя:

$$n_m = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 21,7}{3,14 \cdot 22} = 314 \text{ об/мин.}$$

Корректируем частоту по данным станка, принимаем $n=272$ об/мин.

Определяем действительную скорость:

$$V_{\partial} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 22 \cdot 272}{1000} = 18,8 \text{ м/мин.}$$

По таблице 12 находим $C_m=0,0345$; $q_m=1$; $x_m=0,9$; $y_m=0,8$. По таблице 13 определяем:

$$K_m(K_{px}) = (\sigma_v / 75)^{0,75} = (38 / 75)^{0,75} = 0,6.$$

Определяем крутящий момент на шпинделе:

$$M = C_m \cdot D^{q_m} \cdot t^{x_m} \cdot S^{y_m} \cdot K_m = \\ 0,0345 \cdot 22^1 \cdot 8,5^{0,9} \cdot 0,17^{0,6} \cdot 0,6 = 0,76 \text{ кг·м.}$$

Определяем мощность на шпинделе:

$$N_{шп} = N_{\partial v} \cdot \eta = 3,53 \cdot 0,85 = 3 \text{ кВт.}$$

Определяем мощность резания:

$$N_p = \frac{M \cdot n}{975} = \frac{0,76 \cdot 272}{975} = 0,21 \text{ кВт.}$$

Так как $\frac{N_p}{N_{шп}} = \frac{0,21}{3} = 0,07$; $0,07 \leq 0,75$ – режим резания допу-

стим, но станок используется неэффективно, что допустимо в мелкосерийном производстве, в массовом производстве следует выбрать другое оборудование.

По таблице 12 находим $C_{px}=68$; $x_x=1,2$; $y_x=0,6$; $q_x=0$.

Определяем осевую силу:

$$P_x = C_{px} \cdot D^{q_x} \cdot t^{x_x} \cdot S^{y_x} \cdot K_{px} = 68 \cdot 22^0 \cdot 8,5^{1,2} \cdot 0,17^{0,6} \cdot 0,6 = 184 \text{ кг.}$$

По данным станка $Q=900$ кг. Следовательно $P_x < Q$ и режим резания допустим.

Определяем основное технологическое время:

$$T_{oc} = \frac{\Delta_1 + l + \Delta_2}{n \cdot S} = \frac{2 + 100 + 2}{272 \cdot 0,17} = 2,25 \text{ мин.}$$

Назначение режима резания завершено.

4.4. Порядок выполнения работы

Получить у преподавателя вариант задания. Примеры исходных данных приведены в прил., таблица 14. Дополнительные данные по режущему инструменту можно. Станок можно выбрать из прил. по диаметру окончательного отверстия. Пользуясь таблицами приложения, назначить режим резания расчетным методом. В процессе расчетов при необходимости можно выбрать другой станок.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по работе выполняется на отдельных листах формата А4, проверяется и подписывается преподавателем. Отчет должен содержать:

- титульный лист с названием работы;
- исходные данные для расчетов;
- расчеты с необходимыми пояснениями.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Частью чего является процедура назначения режима резания?
2. Цель операции сверления.

3. Цель операции рассверливания.
4. Какие исходные данные нужны для процедуры назначения?
5. Табличный метод назначения режима резания.
6. Расчетный метод назначения режима резания.
7. Что такое коррекция величины подачи (главного движения)?
8. Как проверяется режим резания?

Приложение 1

Станок 2Б118	<p>Максимальный диаметр сверления 18 мм. Мощность двигателя $N_{\text{дв}}=1,7$ кВт. К.п.д. $\eta=0,85$. Предел прочности механизма подачи $Q=550$ кг. Числа оборотов шпинделя (об/мин): 208; 326; 520; 820; 1280; 2040. Подачи (мм/об): 0,1; 0,2; 0,3; 0,4.</p>
Станок 2А125	<p>Максимальный диаметр сверления 25 мм. Мощность двигателя $N_{\text{дв}}=3,53$ кВт. К.п.д. $\eta=0,85$. Предел прочности механизма подачи $Q=900$ кг. Числа оборотов шпинделя (об/мин): 97; 140; 195; 272; 395; 545; 680; 960; 1360. Подачи (мм/об): 0,1; 0,13; 0,17; 0,22; 0,28; 0,36; 0,48; 0,62; 0,81.</p>
Станок 2А135	<p>Максимальный диаметр сверления 35 мм. Мощность двигателя $N_{\text{дв}}=4$ кВт. К.п.д. $\eta=0,81$. Предел прочности механизма подачи $Q=1600$ кг. Числа оборотов (об/мин): 68; 100; 140; 195; 275; 400; 530; 750; 1100. Подачи (мм/об): 0,12; 0,15; 0,2; 0,26; 0,32; 0,43; 0,57; 0,72; 0,96; 1,22; 1,6.</p>
Станок 2А150	<p>Максимальный диаметр сверления 50 мм. Мощность двигателя $N_{\text{дв}}=9,6$ кВт. К.п.д. $\eta=0,8$. Предел прочности механизма подачи $Q=2500$ кг. Числа оборотов шпинделя (об/мин): 32; 47; 63; 89; 125; 185; 250; 351; 500; 735; 996; 1400. Подачи (мм/об): 0,12; 0,19; 0,28; 0,4; 0,62; 0,9; 1,17; 1,8; 2,64.</p>

Таблица 1

Подача $S_{таб}$ (мм/об)

D , мм	Материал заготовки				
	Сталь			Чугун	
	HB < 160	HB 160-240	HB ≥ 240	HB ≤ 170	HB > 170
≤ 4	0,13	0,1	0,07	0,18	0,12
4–6	0,19	0,15	0,11	0,27	0,18
6–8	0,26	0,2	0,14	0,36	0,24
8–10	0,32	0,25	0,17	0,45	0,31
10–12	0,36	0,28	0,2	0,55	0,35
12–16	0,43	0,33	0,23	0,66	0,41
16–20	0,49	0,38	0,27	0,76	0,47
20–25	0,58	0,43	0,32	0,89	0,54
25–30	0,62	0,48	0,35	0,96	0,6
30–40	0,78	0,58	0,42	1,19	0,71
> 40	0,89	0,66	0,48	1,36	0,81

Таблица 2

Коэффициент K_{ls}

Глубина отверстия l	K_{ls}
≤ $3D$	1
≤ $5D$	0,9
≤ $7D$	0,8
≤ $10D$	0,75

Таблица 3

Коэффициент $K_{жс}$

Жесткость технологической системы	$K_{жс}$
Высокая	1
Средняя	0,75
Малая	0,5

Таблица 4

Коэффициент K_{us}

Материал режущей части инструмента	K_{us}
Быстрорежущая сталь	1
Твердый сплав	0,6

Таблица 5

Коэффициент K_{os}

Точность отверстия	K_{os}
Обычной точности	1
Точное	0,5

Таблица 6

Стойкость T (мин)

Материал заготовки	Материал режущей части инструмента	D , мм					
		≤ 5	5-10	10-20	20-30	30-40	≥ 40
Сталь	Быстрор. сталь	15	25	45	50	70	90
	Твердый сплав	8	15	20	25	35	45
Чугун	Быстрор. сталь	20	35	60	75	105	140
	Твердый сплав	15	25	45	50	70	90

Таблица 7

Коэффициент K_{mv}

Материал заготовки	Материал режущей части инструмента	K_{mv}
Сталь	Быстрорежущая сталь	$0,8 \cdot (75/\sigma_{\theta})^{0,9}$
	Твердый сплав	$0,6 \cdot (75/\sigma_{\theta})^{0,9}$
Чугун	Быстрорежущая сталь	$(190/HV)^{1,3}$
	Твердый сплав	$(150/HV)^{1,3}$

Таблица 8

Коэффициент K_{lv}		
Вид обработки	Глубина отверстия l , мм	K_{lv}
Сверление	$\leq 3D$	1
	$\leq 4D$	0,85
	$\leq 5D$	0,75
	$\leq 6D$	0,7
	$> 6D$	0,6
Рассверливание	—	1

Таблица 9

Коэффициент K_{uv}	
Материал режущей части инструмента	K_{uv}
Быстрорежущая сталь	1
Твердый сплав	0,83

Таблица 10

Коэффициент K_{nv}	
Состояние поверхности заготовки	K_{nv}
Механически обработана	1
Штамповка	0,8
Литье	0,6

Таблица 11

Базовый коэффициент и показатели							
Вид опера- ции	Матери- ал заго- товки	S , мм/об	C_v	x_v	q_v	y_v	m
Свер- ление	Сталь	$\leq 0,2$	7	0	0,4	0,7	0,2
		$> 0,2$	9,8				
	СЧ	$\leq 0,3$	14,7		0,25	0,55	
		$> 0,3$	17,1			0,4	
	КЧ	$\leq 0,3$	21,8			0,55	
		$> 0,3$	25,3			0,4	
Рас- сверли- вание	Сталь	—	16,2	0,2	0,4	0,5	0,25
	СЧ	—	23,7	0,1	0,25	0,4	
	КЧ	—	34,7				

Таблица 12

Базовые коэффициенты и показатели

Вид опера- ции	Матери- ал заго- товки	C_m	q_m	x_m	y_m	C_{px}	q_x	x_x	y_x
Свер- ление	Сталь	0,034 5	2	0	0,8	68	1	0	0,7
	СЧ	0,021				42,7	1,2		0,8
	КЧ					43,3	1		
Рассвер- свер- лива- ние	Сталь	0,034 5	1	0,9	0,8	68	0	1,2	0,6
	СЧ	0,085	0,85	0,75		43,3		1	
	КЧ			0,7					

Таблица 13

Коэффициент K_m (K_{px})

Материал заготовки	Материал режущей части инструмента	K_m (K_{px})
Сталь	—	$(\sigma_B/75)^{0,75}$
Чугун	Быстрорежущая сталь	НВ/170
	Твердый сплав	$(\text{НВ}/170)^{0,6}$

Таблица 14

Варианты заданий

№	D_1 , мм	l , мм	D , мм	Материал	σ_B , кг/мм ²	НВ, ед.	О	Поверх-ность	Инструмент
1	0	3D	8	20	40	190	о	механ	бс
2	8	4,1D	12	СЧ	-	270	о	штамп	тс
3	10	9D	30	45	70	230	т	механ	бс
4	0	7,4D	10	40X	70	250	о	штамп	бс
5	0	5,2D	15	КЧ	—	240	т	штамп	тс
6	10	6D	14	СЧ	—	265	о	механ	бс
7	0	8D	45	45	65	220	о	механ	бс
8	0	1,2D	38	40X	60	255	о	литье	бс
9	0	3D	28	35	55	200	о	механ	тс
10	0	5D	20	КЧ	—	250	т	механ	тс

11	12	8,1D	30	КЧ	–	245	о	механ	бс
12	0	2D	16	20	45	180	о	штамп	бс
13	0	4D	10	20	35	195	т	механ	бс
14	0	3D	40	СЧ	–	260	о	литье	тс
15	0	2,6D	30	КЧ	–	240	о	механ	бс
16	25	4,7D	50	45	70	248	т	литье	бс
17	20	8,4D	26	40X	65	260	о	механ	бс
18	0	5,5D	25	СЧ	–	275	т	механ	тс
19	0	3,6D	42	СЧ	–	270	о	литье	бс
20	0	2,5D	7	45	60	265	о	механ	бс

Пояснения:

отверстие сквозное; D_1 – диаметр предварительного отверстия для рассверливания, для сверления $D_1=0$;
 материал заготовки – серый чугун (СЧ), ковкий чугун (КЧ) или сталь;
 О – точность отверстия (о – обычной точности, т – точное);
 Поверхность – состояние поверхности заготовки (механ – обработана механически, штамп – штамповка, литье – литая);
 Инструмент – материал режущей части инструмента (бс – быстрорежущая сталь, тс – твердый сплав).

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Изучение раздела №1 дисциплины «Основы теории строения металлов и сплавов».

1.1. Выполнение домашнего задания:

- Эскизирование схем для определения механических характеристик металлов и сплавов.
- Эскизирование микроструктур и диаграммы состояния «железо-цементит»

1.2. Оформление, подготовка и защита отчетов по практической № 1 и лабораторным работам № 1–3.

Изучение раздела №2 дисциплины «Технологии упрочнения металлов».

2.1. Выполнение домашнего задания:

– Составление таблицы по теме: «Перечень основных операций термообработки, их режимов и назначения».

2.2. Оформление, подготовка и защита отчетов по лабораторной № 4 практической работам №2.

Изучение раздела №3 дисциплины «Промышленные стали и сплавы».

3.1. Выполнение домашнего задания:

– Выбор конструкционного материала по основным свойствам исходя из заданных условий. Предложить способы упрочнения металлов.

3.2. Оформление, подготовка и защита отчетов по практическим работам № 3, 4.

Изучение раздела №4 дисциплины «Неметаллические материалы».

4.1. Выполнение домашнего задания:

– Составить опорный конспект на тему: «Устройство автомобильных шин».

4.2. Оформление, подготовка и защита отчетов по практической работе № 5.

Изучение раздела №5 дисциплины «Обработка деталей на металлорежущих станках».

5.1. Оформление, подготовка и защита отчета по практической работе № 6.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Черепяхин, А. А. Материаловедение : Учебник / А. А. Черепяхин. – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2022. – 336 с. – ISBN 978-5-906923-18-9. – URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=397140> (дата обращения: 10.04.2024). – Текст: электронный.

Дополнительная литература

2. Адаскин, А. М. Материаловедение и технология материалов : Учебное пособие / А. М. Адаскин, В. М. Зуев. – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2024. – 335 с. – ISBN 978-5-00091-756-5. – URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=435976> (дата обращения: 10.04.2024). – Текст: электронный