

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология металлов»

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

*Пособие*

*для самоподготовки студентов заочной формы обучения группы  
специальностей 74 06 Агроинженерия*

Минск  
БГАТУ  
2011

УДК 669.01 (07).  
ББК 34.2я 7  
М34

*Рекомендовано Научно-методическим советом факультета  
«Технический сервис в АПК» БГАТУ.  
Протокол № 4 от 26 июня 2010 г.*

Составители:

кандидат технических наук, доцент *А. А. Андрушевич*,  
кандидат технических наук, доцент *Т. К. Романова*,  
старший преподаватель *В. К. Корнеева*,  
доктор технических наук, профессор *В. М. Капцевич*

Рецензенты:

доцент кафедры ремонта тракторов, автомобилей  
и сельскохозяйственных машин БГАТУ, кандидат технических наук  
*Ю.И. Титов*;  
профессор кафедры материаловедения в машиностроении БНТУ,  
доктор технических наук *Ю. В. Соколов*

**М34** **Материаловедение. Технология конструкционных матери-  
алов. Материаловедение** : пособие / сост. : А. А. Андрушевич  
[и др.]. – Минск : БГАТУ, 2011. – 68 с.  
ISBN 978-985-519-408-9.

Содержит учебно-методические материалы для самостоятельного изучения  
основ материаловедения. Включает термины и определения, тестовые задания,  
базовый материал для подготовки к сдаче тестов и зачетов, а также рекомендуе-  
мую литературу по всем рассмотренным вопросам.

Материал пособия изложен в соответствии с учебной программой по дисципли-  
не «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» с учетом опыта  
преподавания «Материаловедения» на кафедре «Технология металлов» Белорус-  
ского государственного аграрного технического университета.

Настоящее учебное издание предназначается для студентов агротехнических  
специальностей высших учебных заведений Республики Беларусь заочной формы  
обучения.

**УДК 669.01 (07).  
ББК 34.2я 7**

**ISBN 978-985-519-408-9**

© БГАТУ, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

---

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....	5
БАЗОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К СДАЧЕ ТЕСТОВ И ЗАЧЕТОВ.....	11
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ.....	38
Тема 1. Механические свойства металлов и сплавов.....	38
Тема 2. Железоуглеродистые сплавы .....	43
Тема 3. Стали и чугуны.....	48
Тема 4. Термическая обработка сталей .....	53
Тема 5. Инструментальные материалы и цветные металлы .....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	65
ЛИТЕРАТУРА .....	66

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Учебное издание предназначено для самостоятельной подготовки студентов заочной формы обучения к сдаче тестов и зачетов по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов», которая изучается на всех инженерных факультетах сельскохозяйственных вузов.

Опыт преподавания раздела «Материаловедение» показывает, что программированное обучение и текущий контроль знаний активизируют самостоятельную работу студентов и создают условия для качественного изучения дисциплины.

Тестовые задания представлены, главным образом, в виде утверждения, которому соответствует одно правильное суждение или ответ. Форма тестовых заданий предусматривает выбор одного правильного ответа из нескольких предложенных вариантов.

Для подготовки к сдаче тестовых заданий и зачета по разделу «Материаловедение» приведены основные термины и определения, базовый материал, а также рекомендуемая литература по всем рассмотренным вопросам.

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

---

**АЗОТИРОВАНИЕ** – диффузионное насыщение поверхностного слоя конструкционных легированных сталей азотом.

**АЛЛОТРОПИЯ (ПОЛИМОРФИЗМ)** – способность металла изменять тип кристаллической решетки при различных температурах.

**АНИЗОТРОПИЯ** – различие свойств кристалла по различным кристаллографическим плоскостям.

**АУСТЕНИТ** – твердый раствор внедрения углерода (С) в  $\gamma$ -железо –  $Fe_\gamma(C)$ .

**БАББИТЫ** – подшипниковые сплавы скольжения на основе олова или свинца с твердыми включениями химических соединений.

**БРОНЗА** – сплав на основе меди с любым компонентом, кроме цинка. Цинк может присутствовать в бронзах, когда имеются другие компоненты.

**БАКАНСИЯ** – точечный дефект, связанный с отсутствием атома в узле кристаллической решетки.

**ДИАГРАММА СОСТОЯНИЯ** – графическое изображение изменения равновесного состояния сплава в зависимости от температуры и концентрации.

**ДИСЛОКАЦИЯ** – линейный дефект кристаллической решетки (искажение кристаллографической плоскости).

**ДЮРАЛЮМИНИЙ** или **ДЮРАЛЮМИН** – деформируемый сплав на основе алюминия. Обычно сплав алюминия с медью, марганцем и магнием.

**ЗАКАЛКА** – операция термической обработки, назначаемая для получения неравновесной структуры мартенсит (структура очень твердая).

**ЗАКАЛКА ТВЧ** – поверхностная закалка с нагревом токами высокой частоты (индукционный нагрев).

**ИНДЕНТОР** – твердое тело, внедряемое в материал при определении твердости.

**КОМПОНЕНТ** – элемент, входящий в состав сплава.

**КРИВАЯ ОХЛАЖДЕНИЯ** – зависимость изменения температуры при охлаждении сплава данного состава от времени.

**КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ** – процесс перехода металла из жидкого в твердое состояние.

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЕТКА** – графическое изображение расположения атомов металлов в трех измерениях.

**КРИТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ ЗАКАЛКИ** – наименьшая скорость охлаждения, при которой образуется мартенсит.

**КРИТИЧЕСКАЯ ТОЧКА** – температура сплава, при котором изменяется его фазовое состояние.

**ЛАТУНЬ** – сплав меди с цинком.

**ЛИНИЯ ЛИКВИДУС** – на диаграмме состояния сплавов это линия начала кристаллизации жидкого сплава.

**ЛЕДЕБУРИТ** – равномерная механическая смесь аустенита и цементита.

**МАКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ** – изучение структуры металлов и сплавов невооруженным взглядом или с помощью лупы.

**МАРТЕНСИТ** – перенасыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железо.

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА** – характеристики материалов, определяющие их поведение под действием приложенных внешних механических сил. К основным механическим свойствам относят прочность, пластичность, твердость, вязкость и др.

**ПРОЧНОСТЬ** – свойство материала сопротивляться разрушению под действием внешних сил.

**ПЛАСТИЧНОСТЬ** – свойство материала под действием внешних нагрузок получать остаточную пластическую деформацию.

**УПРУГОСТЬ** – свойство материала восстанавливать свою форму после действия внешних нагрузок.

**ВЯЗКОСТЬ** – свойство материала поглощать механическую энергию в заметных количествах, не разрушаясь.

**ХРУПКОСТЬ** – свойство материала разрушаться без заметного поглощения механической энергии в необратимой форме.

**ТВЕРДОСТЬ** – свойство материала сопротивляться упругой и пластической деформации при внедрении в него более твердого тела.

**МЕТАЛЛИЗАЦИЯ** – насыщение поверхности сталей металлами.

**МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ** – изучение структуры металлов и сплавов при увеличении с помощью микроскопов.

**НИТРОЦЕМЕНТАЦИЯ** – одновременное насыщение поверхности сталей углеродом и азотом в газовых средах. В основном идет насыщение углеродом.

**НОРМАЛИЗАЦИЯ** – операция термической обработки, при которой стали, нагретые до определенных температур, охлаждаются на воздухе (структура равновесная, более мелкозернистая по сравнению со структурой, получаемой после отжига).

**ОТЖИГ** – операция термической обработки стали нагретой до определенных температур с последующим медленным охлаждением, назначаемая для получения равновесной структуры (структура мягкая, пластичная).

**ОТПУСК** – операция термической обработки, назначаемая после закалки стали, для формирования необходимой структуры (свойств) и снятия внутренних напряжений.

**ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ** – изменение фазового состояния твердого сплава.

**ПЕРЛИТ** – равномерная механическая смесь феррита и цементита.

**РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ** – минимальное расстояние между двумя точками, которые видны, не сливаясь в одну.

**СИЛУМИН** – литейный сплав на основе алюминия. Обычно сплав алюминия с кремнием.

**ЛИНИЯ СОЛИДУС** – на диаграмме состояния сплавов это линия конца кристаллизации жидкого сплава.

**СОРБИТ** – среднедисперсная ферритно-цементитная механическая смесь с твердостью 30...35 HRC. Обладает высокой вязкостью, достаточной прочностью и твердостью.

**СПЛАВ** – соединение двух и более компонентов, полученное сплавлением (спеканием).

**СТАЛЬ** – сплав железа с углеродом, содержащий от 0,02 % до 2,14 % углерода, а также примеси других элементов.

**БЫСТРОРЕЖУЩАЯ СТАЛЬ** – высоколегированная инструментальная сталь, работающая при высоких скоростях резания.

**ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ СТАЛЬ** – сталь с пониженным содержанием вредных примесей (обычно фосфора не более 0,025 % и серы не более 0,025 %), обладающая повышенными механическими свойствами.

**ВЫСОКОЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ** – легированная сталь, в которой сумма легирующих элементов составляет более 10 %.

**ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ** – сталь, содержащая более 0,6 % углерода.

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СТАЛЬ** – сталь, применяемая для обработки материалов резанием или давлением, а также для изготовления измерительного инструмента; обладает высокой твердостью, прочностью, износостойкостью.

**КАЧЕСТВЕННАЯ СТАЛЬ** – сталь с обычным содержанием вредных примесей (фосфора и серы не более 0,035 % каждого).

**КИПЯЩАЯ СТАЛЬ** – сталь, раскисленная только марганцем.

**КОНСТРУКЦИОННАЯ СТАЛЬ** – сталь, предназначенная для изготовления различных деталей машин, механизмов и конструкций в машиностроении, строительстве и обладающая необходимым комплексом механических, физических и химических свойств.

**ЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ** – сталь со специально введенным одним или более легирующим элементом.

**НИЗКОЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ** – легированная сталь, в которой сумма легирующих элементов не превышает 2,5 %.

**НИЗКОУГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ** – углеродистая сталь с содержанием углерода до 0,25 %.

**ОСОБО ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ СТАЛЬ** – сталь с содержанием вредных примесей не более: фосфора 0,025 %, и серы 0,015 %.

**ПОЛУСПОКОЙНАЯ СТАЛЬ** – сталь, раскисленная марганцем и кремнием.

**СПОКОЙНАЯ СТАЛЬ** – сталь, раскисленная марганцем, кремнием и алюминием.

**СРЕДНЕЛЕГИРОВАННАЯ СТАЛЬ** – легированная сталь, в которой сумма легирующих элементов составляет от 2,5 % до 10,0 %.

**СРЕДНЕУГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ** – углеродистая сталь, содержащая от 0,25 % до 0,6 % углерода.

**СТАЛЬ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ** – сталь с физическими и химическими свойствами, которые необходимы для определенных случаев.

**УГЛЕРОДИСТАЯ СТАЛЬ** – сталь, не содержащая специально введенных легирующих элементов.

**СТАРЕНИЕ** – термическая обработка, связанная с нагревом закаленных деталей до температуры 160 °С и длительной выдержкой (при комнатной температуре – до нескольких суток).

**СТЕПЕНЬ СВОБОДЫ** – число внешних и внутренних факторов (температура, давление, концентрация), которые можно изменить, не изменяя фазовое состояние сплава.

**ТВЕРДЫЙ СПЛАВ** – спеченный сплав из порошков карбида вольфрама, титана, тантала на металлическом связующем (обычно кобальте), полученный методами порошковой металлургии.

**ОДНОКАРБИДНЫЙ ТВЕРДЫЙ СПЛАВ** – сплав, состоящий из карбида вольфрама и кобальта.

**ДВУХКАРБИДНЫЙ ТВЕРДЫЙ СПЛАВ** – сплав, состоящий из карбида вольфрама, карбида титана и кобальта.

**ТРЕХКАРБИДНЫЙ ТВЕРДЫЙ СПЛАВ** – сплав, состоящий из карбида вольфрама, карбида титана и карбида тантала.

**ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ** – способность стали сохранять твердость длительное время при высоких температурах.

**ТЕРМОПАРА** – датчик, представляющий собой два разнородных металлических проводника, спаянных между собой с одного конца.

**ТРООСТИТ** – тонкодисперсная ферритно-цементитная смесь с твердостью 40...45 HRC. Обладает высокой упругостью, достаточной прочностью и твердостью.

**ФАЗА** – однородная часть сплава (системы), имеющая одинаковый состав, свойства, кристаллическую решетку, имеющую поверхность раздела.

**ФЕРРИТ** – твердый раствор внедрения углерода (C) в  $\alpha$ -железо –  $Fe_{\alpha}(C)$ .

**ЦЕМЕНТАЦИЯ** – насыщение низкоуглеродистых сталей углеродом.

**ЦЕМЕНТИТ** – химическое соединение железа с углеродом  $Fe_3C$  (карбид железа).

**ЦИАНИРОВАНИЕ** – одновременное насыщение поверхности сталей углеродом и азотом в жидких средах. В основном идет насыщение азотом.

**ЧУГУН** – сплав железа с углеродом, содержащий более 2,14 % углерода, постоянные примеси, а иногда и легирующие элементы.

**БЕЛЫЙ ЧУГУН** – чугун, в котором углерод находится в виде цементита.

**ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН** – серый чугун, имеющий шаровидную форму графита.

**КОВКИЙ ЧУГУН** – серый чугун, имеющий хлопьевидную форму графита.

**СЕРЫЙ ЧУГУН** – чугун, в котором углерод находится в виде графита, в основном пластинчатой формы.

**ЭВТЕКТИКА** – это равномерная механическая смесь, получаемая при кристаллизации жидкого сплава определенного состава при минимальной температуре плавления для данной системы.

**ЭВТЕКТОИД** – это равномерная механическая смесь, кристаллизующаяся из твердого раствора определенного состава при постоянной температуре для данной системы.

# БАЗОВЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К СДАЧЕ ТЕСТОВ И ЗАЧЕТОВ

## Введение

Дисциплина «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» относится к одной из общетехнических дисциплин для специальностей инженерного профиля и входит в учебные планы, подготовленные в соответствии с образовательными стандартами для группы специальностей 74 06 «Агроинженерия».

Раздел «Материаловедение» изучает строение и свойства материалов, закономерности, связывающие состав, структуру и свойства, а также пути воздействия на них с целью получения необходимых эксплуатационных характеристик.

## 1. Механические свойства металлов и сплавов

Под *механическими свойствами* понимают характеристики металлов, определяющие их поведение под действием приложенных внешних механических сил. Из всех свойств, которыми они обладают, механические свойства являются важнейшими. Их численные значения получают в результате механических испытаний.

*Статическими* называют испытания, при которых нагрузка возрастает медленно и плавно. При *динамических* испытаниях нагрузка прикладывается практически мгновенно с высокой скоростью деформирования.

Основными механическими свойствами являются прочность, пластичность, упругость, вязкость, твердость, хрупкость и др.

Характеристики прочности и пластичности определяются при *статических* испытаниях на растяжение на стандартных образцах цилиндрической формы (рис. 1) или плоских.

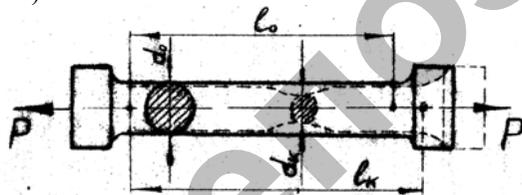


Рис. 1. Образец для испытания на растяжение

**Прочность** – способность металла сопротивляться разрушению под действием внешних сил. Основной характеристикой прочности является предел прочности.

**Предел прочности** – условное напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, выдержанной образцом до разрушения. Он равен отношению максимальной нагрузки  $P_{\max}$  к площади поперечного сечения образца  $F_0$ :

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0} \text{ [МПа]}. \quad (1)$$

**Пластичность** – способность металла изменять размеры, форму под действием внешних сил без разрушения. Основными характеристиками пластичности являются относительное удлинение  $\delta$  и относительное сужение  $\psi$ .

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где  $L_k$  – длина образца после разрушения, м (мм);

$L_0$  – начальная расчетная длина образца, м (мм).

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где  $F_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца  $\text{м}^2$  ( $\text{мм}^2$ );

$F_k$  – минимальная площадь поперечного сечения образца в месте разрыва  $\text{м}^2$  ( $\text{мм}^2$ ).

**Ударная вязкость** – способность металла выдерживать ударные и другие динамические нагрузки. Она определяется при *динамических* испытаниях на маятниковом копре на стандартных образцах, с концентратором напряжения (рис. 2). Ударной вязкостью  $KC$  называют отношение работы удара к площади поперечного сечения образца в месте концентратора напряжения

$$KC = \frac{K}{S_0} \text{ [Дж/м}^2\text{]}, \quad (4)$$

где  $K$  – работа удара, Дж;

$S_0$  – площадь поперечного сечения образца, в месте концентратора напряжения,  $\text{м}^2$ .

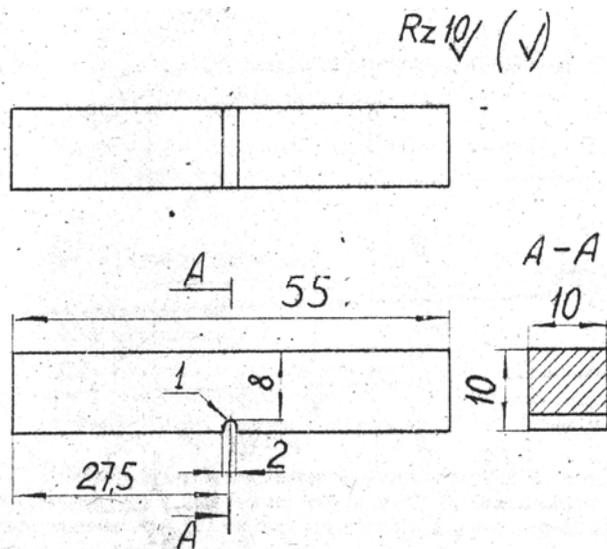


Рис. 2. Образец для испытаний на ударную вязкость

**Твердость** – способность металла сопротивляться внедрению в него более твердого тела (индентора).

Твердость определяется двумя основными методами – Бринелля и Роквелла.

По методу Бринелля в испытываемый образец под нагрузкой внедряется стальной закаленный или твердосплавный шарик определенного диаметра (2,5; 5 и 10 мм). В результате испытания образуется отпечаток в виде шарового сегмента (рис. 3). Измеряется диаметр полученного отпечатка.

Число твердости по Бринеллю  $HB$  ( $HBW$ ) – это отношение нагрузки  $P$  к площади полученного сферического отпечатка  $F$ . Оно определяется по формуле:

$$HB (HBW) = \frac{P}{F} \text{ [МПа (кгс/мм}^2\text{)]}. \quad (5)$$

Обозначение  $HBW$  применяется при использовании в качестве индентора твердосплавного шарика.

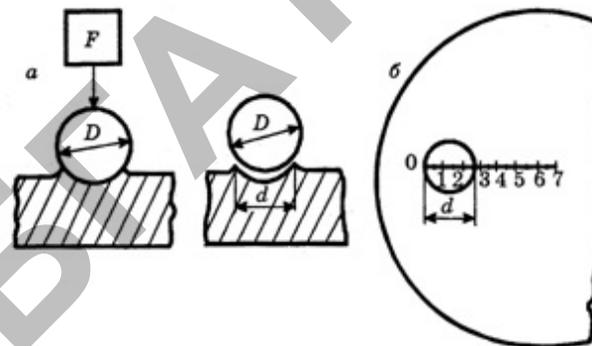


Рис. 3. Схема измерения твердости по Бринеллю

Основной недостаток метода Бринелля — отсутствие геометрического подобия отпечатков.

По методу Роквелла в испытываемый образец внедряется твердосплавный или алмазный конус – для измерения твердых материалов, шарик – для измерения мягких материалов.

Вдавливание индентора в материал проводится под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок (рис. 4):

- 1) предварительной  $P_0$ ;
- 2) общей  $P = P_0 + P_1$ , где  $P_1$  — основная нагрузка.

Предварительная нагрузка  $P_0 = 100$  Н (10 кгс) не снимается до конца испытания. Эта нагрузка обеспечивает повышенную точность измерений.

Под нагрузкой  $P_0$  индентор внедряется в материал на глубину  $h_0$ ; при общей нагрузке  $P = P_0 + P_1$  индентор внедряется на глубину  $h$ .

Разность глубин внедрения от общей и предварительной нагрузки и определяет твердость по Роквеллу. При этом величина  $h$  пропорциональна числу твердости по Роквеллу. Чем больше глубина вдавливания  $h$ , тем меньше число твердости  $HR$  по Роквеллу. Отсчет твердости проводится по шкалам С, В, А в условных единицах.

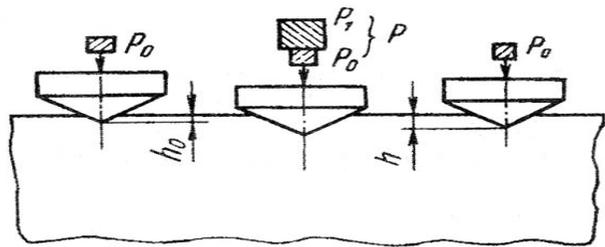


Рис. 4. Схема измерений твердости по Роквеллу

Единица твердости по Роквеллу — безразмерная величина. Число твердости вычисляют по формулам:

$$HRC (HRA) = 100 - e; \quad (6)$$

$$HRB = 130 - e, \quad (7)$$

где  $e = \frac{h - h_0}{0,002}$  (0,002 мм — цена деления индикатора прибора).

## 2. Железоуглеродистые сплавы

Диаграмма состояния сплавов системы «железо — цементит» ( $Fe - Fe_3C$ ) — это графическое изображение превращений, происходящих в железоуглеродистых сплавах при нагреве и медленном охлаждении. Она служит для выбора температуры нагрева при термической обработке углеродистых сталей и чугунов.

В железоуглеродистых сплавах в равновесном состоянии при нагревании и охлаждении образуются следующие структурные составляющие: два твердых раствора, одно химическое соединение, две механические смеси.

### Твердые растворы

**Феррит** — твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе. Максимальное содержание углерода  $C = 0,02$  % при температуре  $727$  °С. При комнатной температуре содержание углерода в феррите —  $0,006$  %. Феррит — мягкая, пластичная структура со следующими механическими свойствами:  $\sigma_b = 250$  МПа;  $HB = 800$  МПа;  $\delta = 40$  %.

**Аустенит** — твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе. Максимальное содержание углерода  $C = 2,14$  % при температуре равной  $1147$  °С. Аустенит существует до температуры  $727$  °С; при этой температуре содержание углерода в аустените  $C = 0,8$  %. Ниже  $727$ °С аустенит распадается. Аустенит прочнее и тверже феррита,  $\sigma_b = 600$  МПа;  $HB = 1800-2000$  МПа.

### Химическое соединение

**Цементит** — химическое соединение железа и углерода (карбид железа) с содержанием углерода  $6,67$  %. Эта структура очень твердая и хрупкая:  $HB = 8000$  МПа;  $\delta = 0$  %.

### Механические соединения

**Ледебурит** — механическая смесь аустенита и цементита, которая кристаллизуется из жидкого сплава с концентрацией углерода  $C = 4,3$  % при постоянной температуре  $1147$  °С. Ледебурит — это эвтектическая смесь, твердая и хрупкая:  $HB = 5000-6000$  МПа;  $\delta = 1-2$  %.

**Перлит** — механическая смесь феррита и цементита, которая кристаллизуется из аустенита при постоянной температуре  $727$  °С. Содержание углерода в перлите —  $0,8$  %. Перлит — это эвтектоидная смесь средней прочности, твердости и пластичности:  $\sigma_b = 650$  МПа;  $HB = 2000$  МПа;  $\delta = 16-20$  %.

Диаграммы состояния сплавов железа с углеродом дают представление о превращениях, происходящих в сталях и чугунах в зависимости от температуры и концентрации сплава.

Каждая точка диаграммы состояния  $Fe - Fe_3C$  (рис. 5) характеризует строго определенный состав сплава при соответствующей температуре и концентрации (таблица 1).

Точка  $A$  ( $t = 1539$  °С) отвечает температуре плавления железа, а точка  $D$  ( $t = 1250$  °С) — температуре плавления цементита.

Линия  $ABCD$  — линия ликвидус. Линия начала кристаллизации жидкого сплава.

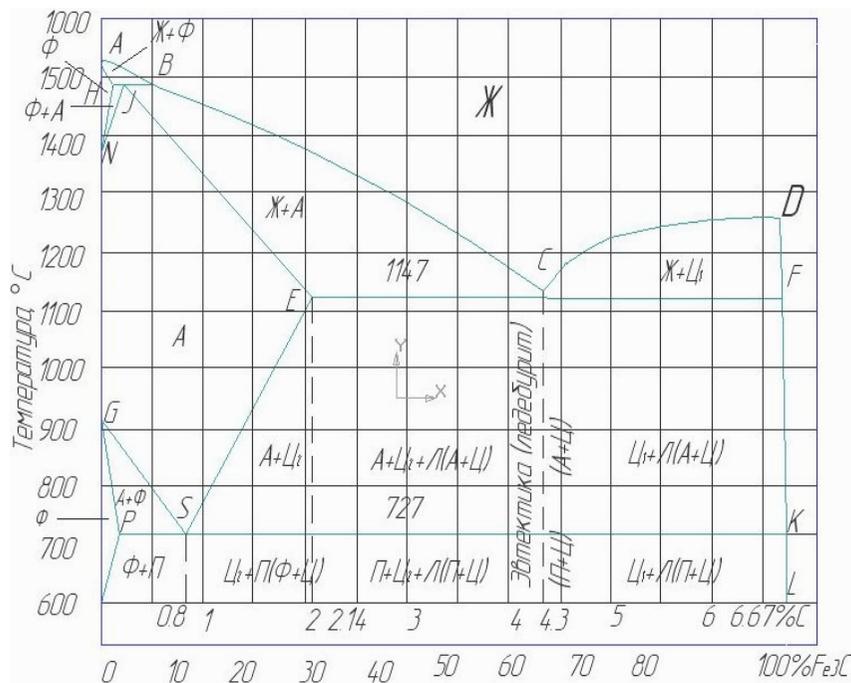


Рис. 5. Диаграмма состояния сплавов системы «железо – цементит»

По линии  $AB$  жидкий сплав кристаллизуется в виде феррита ( $\Phi$ ).

По линии  $BC$  жидкий сплав кристаллизуется в виде аустенита ( $A$ ).

По линии  $CD$  жидкий сплав кристаллизуется в виде цементита первичного ( $\text{Ц}_1$ ).

Линия  $АНJЕСF$  – линия солидус. Это линия конца кристаллизации жидкого сплава.

По линии  $АН$  жидкость затвердевает в виде феррита ( $\Phi$ ).

По линии  $JЕ$  жидкость затвердевает в виде аустенита ( $A$ ).

По линии  $ЕСF$  жидкость затвердевает в виде механической смеси аустенита и цементита – ледебурита ( $Л$ ).

Линия  $ЕСF$  – линия эвтектического или ледебуритного превращения.

Линия  $НJB$  – линия перитектического превращения. Жидкость взаимодействует с ферритом, образуя аустенит ( $A$ ).

По линии  $ES$  из аустенита кристаллизуется цементит вторичный ( $\text{Ц}_2$ ).

По линии  $GS$  из аустенита кристаллизуется феррит.

Линия  $PSK$  – линия эвтектоидного или перлитного превращения. Весь аустенит кристаллизуется в перлит ( $\text{П}$ ).

По линии  $PQ$  из феррита кристаллизуется цементит третичный ( $\text{Ц}_3$ ).

Точка  $E$  (2,14 %  $C$ ) условно делит железоуглеродистые сплавы на стали и чугуны.

Таблица 1

Точки диаграммы состояния «железо – цементит»

Обозначение	A	H	J	B	N	D	E	C	F	G	P	S	K
Концентрация углерода, %	0	0,1	0,16	0,5	0	6,67	2,14	4,3	6,67	0	0,02	0,8	6,67
Температура, °C	1539	1440	1440	1440	1392	1250	1147	1147	1147	910	727	727	727

### 3. Стали и чугуны

**Сталь** – это сплав железа с углеродом, при содержании углерода до 2,14 %. Во всех сталях присутствуют постоянные примеси: Si, Mn, S, P, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>.

1. Стали по химическому составу подразделяются на углеродистые и легированные

2. Стали по назначению подразделяются на конструкционные, инструментальные и специального назначения.

3. По качеству углеродистые стали подразделяются на стали обыкновенного качества, качественные, высококачественные. По качеству легированные стали подразделяются на качественные, высококачественные и особо высококачественные. Качество стали определяется количеством вредных примесей: серы и фосфора.

Стали, в зависимости от степени раскисления, могут быть кипящие (кп), полуспокойные (пс), спокойные (сп).

*Углеродистые стали обыкновенного качества* предназначены для изготовления горячекатаного проката: сортового, фасонного, листового, ленты, проволоки, метизов. Сталь углеродистая обыкновенного качества широко применяется в строительстве и машиностроении для изготовления неотчетственных сварных, клепаных и болтовых конструкций, режущих – малонагруженных деталей машин. Стали маркируют сочетанием букв «Ст» и цифрами от 0 до 6, указывающими номер марки. С увеличением цифры возрастает содержание углерода в стали. Углеродистые стали обыкновенного качества получают следующих марок: Ст0, Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, Ст5, Ст6. Цифры не указывают на содержание углерода, а обозначают условный номер марки стали.

Углеродистые стали обыкновенного качества являются наиболее дешевыми, выплавляются по нормам массовой технологии. В них допускается повышенное содержание вредных примесей ( $S \leq 0,05 \%$ ,  $P \leq 0,04 \%$ ), а также газонасыщенность и загрязненность неметаллическими включениями.

*Углеродистые конструкционные качественные стали* маркируются двузначными числами по содержанию углерода в сотых долях: 08, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75. Могут быть с обычным и с повышенным содержанием марганца. Углеродистые стали с повышенным содержанием марганца обозначаются буквой Г в конце марки.

Стали 10кп, 15кп – мягкие пластичные; применяются для листовой холодной штамповки, вытяжки. Используются при изготовлении кузовных деталей грузовых и легковых автомобилей.

Стали 10, 15, 20, 25 – цементируемые стали, применяются для деталей, требующих твердости и износостойкости поверхности детали, при сохранении вязкой сердцевины.

Стали 35, 40, 45, 50 – улучшаемые стали; используются при изготовлении валов, втулок, шестерен, шатунов, поршневых пальцев.

Стали 55, 60, 65, 55Г, 60Г, 65Г – пружинно-рессорные. Лучшие комплексы механических свойств у сталей с повышенным содержанием марганца;

Стали 65, 70, 75, 65Г, 70Г, 75Г используются для деталей, требующих высокой износостойкости при абразивном изнашивании – лемеха, лапы культиваторов, диски посевных и почвообрабатывающих машин. Лучшие комплексы механических свойств у сталей с повышенным содержанием марганца.

*Углеродистые инструментальные стали* выпускаются качественными (содержание серы – не более 0,028 %, фосфора – <0,030 %) или высококачественными (содержание серы – не более 0,018 %, фосфора – <0,025 %). В маркировке буква У обозначает углеродистая инструментальная сталь, буква А – высококачественная, цифры показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Качественные инструментальные стали – У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13.

Высококачественные углеродистые стали – У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А.

Примерное назначение:

У7, У8, У9, У7А, У8А, У9А – для инструментов по дереву, зубила, долота;

У10, У11, У10А, У11А – мелкие сверла, фрезы, метчики, развертки;

У12, У13, У12А, У13А – для инструментов с максимальной износостойкостью, напильники, граверный инструмент.

Углеродистые инструментальные стали после закалки и низкого отпуска приобретают высокую твердость (62–63 HRC) и износостойкость.

*Легированные стали* — сплавы на основе железа и углерода, в состав которых дополнительно введены легирующие элементы. В зависимости от состава легированные стали классифицируются как никелевые, хромистые, хромоникелевые, хромоникельмолибденовые и т. д.

По назначению легированные стали делятся на конструкционные, инструментальные, специального назначения.

*Конструкционные легированные стали* используются для изготовления ответственных деталей машин.

*Инструментальные легированные стали* используются для изготовления режущего, измерительного, штампового и прочего инструмента.

К сталям с особыми свойствами (специального назначения) относятся стали, обладающие резко выраженными физико-химическими свойствами: нержавеющие, жаропрочные, износостойкие, электротехнические и т.д.

По качеству легированные стали подразделяются на качественные, высококачественные и особо высококачественные. Две цифры в начале маркировки указывают содержание углерода в сотых долях в конструкционных сталях, одна цифра – содержание углерода в десятых долях у инструментальных сталей. Буквы указывают на легирующий элемент, цифра после букв – количество легирующего элемента в процентах.

Легирующие элементы в маркировке сталей обозначаются буквами: Х – хром; Г – марганец; М – молибден; В – вольфрам; Н – никель; Т – титан; Ф – ванадий; Ю – алюминий; Б – ниобий; А (в середине марки) – азот. Буква А в конце маркировки означает, что сталь высококачественная.

Примеры обозначения легированных сталей:

18ХГТ – 0,18 % С, 1 % Cr, 1 % Mn, 1 % Ti – конструкционная, качественная;

5ХНМ – 0,5 % С, 1 % Cr, 1 % Ni, 1 % Mo – инструментальная, качественная;

12ХНЗА – 0,12 % С, 1 % Cr, 3 % Ni – конструкционная, высококачественная;

60С2ХФА – 0,60 % С, 2 % Si, 1 % Cr, 1 % V – конструкционная, высококачественная, рессорно-пружинная;

40ХН – 0,40 % С, 1 % Cr, 1 % Ni – конструкционная, качественная.

Быстрорежущие стали обозначаются буквой «Р», далее следует число, указывающее на среднее содержание вольфрама (в %). Во всех быстрорежущих сталях содержится 4 % Cr и до 1,5 % V, которые не указываются в марке стали. При наличии молибдена, кобальта и др., соответственно, после букв М, К указывается их содержание, например, Р9К10, где 9 % W, 10 % Co.

**Чугун** – это сплав железа с углеродом при содержании углерода более 2,14 % и наличием постоянных примесей (марганец, кремний, фосфор, сера) и легирующих элементов.

В зависимости от того, в каком виде углерод находится в чугунах, они подразделяются на белый, серый и половинчатый.

Белый чугун – это чугун, в котором углерод находится в связанном состоянии в виде цементита ( $Fe_3C$ ).

Серый чугун – это чугун, в котором углерод находится в свободном состоянии в виде графита. Структура серых чугунов состо-

ит из металлической основы (феррит, феррит и перлит, перлит) и графитных включений. В зависимости от формы графитных включений серые чугуны подразделяются на серые, ковкие и высокопрочные.

Половинчатый чугун – это чугун, в котором углерод может находиться в виде цементита и графита.

Белые чугуны по структуре разделяют на доэвтектические (содержание углерода до 4,3 %); эвтектические (содержание углерода 4,3 %); заэвтектические (содержание углерода 4,3–6,67 %).

Структура доэвтектических чугунов состоит из перлита, ледебурита и цементита.

Структура эвтектических – из ледебурита.

Структура заэвтектических – из ледебурита и цементита.

Белые чугуны имеют малое практическое применение из-за повышенной твердости и хрупкости. В основном, применяют белые доэвтектические чугуны в качестве деталей, работающих на истирание, и для получения ковкого чугуна.

**Серые чугуны (обычные)** – это чугуны с пластинчатой формой графита. Маркируются буквами СЧ и числами, указывающими предел прочности при растяжении в кгс/мм<sup>2</sup> (1 кгс/мм<sup>2</sup> = 9,8 МПа): СЧ10, СЧ15, СЧ18, СЧ20, СЧ25, СЧ30, СЧ35, СЧ40, СЧ45.

Чугуны СЧ10, СЧ15 с ферритной основой применяются для изготовления малоответственных деталей сельскохозяйственных машин;

СЧ18, СЧ20 – перлитно-ферритные чугуны для изготовления ответственных деталей тракторов и автомобилей;

СЧ30, СЧ35, СЧ40 – перлитные чугуны повышенной прочности для изготовления цилиндров, блоков цилиндров автотракторных двигателей.

**Высокопрочные чугуны** – это чугуны с шаровидной формой графита. Маркируются буквами «ВЧ» и числами, указывающими предел прочности при растяжении: ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100.

Чугуны ВЧ50, ВЧ60 применяют для изготовления поршней, колечных валов, корпусов барабанов;

ВЧ70, ВЧ80 применяют для изготовления конических и цилиндрических шестерен.

**Ковкие чугуны** – это чугуны с хлопьевидной формой графита. Маркируются буквами «КЧ» и первое число марки указывает пре-

дел прочности при растяжении, второе число – относительное удлинение в процентах: КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ36-10, КЧ37-12, КЧ45-7, КЧ55-4, КЧ60-3, КЧ-65-3, КЧ70-2, КЧ80-1,5.

Их применяют для изготовления деталей приводных механизмов, фланцев, фитингов, муфт, соединительной арматуры труб небольшой толщины.

#### 4. Термическая обработка сталей

Под *термической обработкой* (ТО) сплавов понимают совокупность операций теплового воздействия, заключающихся в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и охлаждении с определенной скоростью, с целью изменения структуры и свойств металлов и сплавов. Такое воздействие может сочетаться с химическим, деформационным, магнитным и другими воздействиями.

Основными факторами ТО являются температура и время, поэтому любой технологический процесс термической обработки можно представить в этих координатах (рис. 6).

Важнейшие параметры процесса ТО: температура нагрева ( $t_n$ ), скорость нагрева ( $V_n$ ), продолжительность выдержки при температуре нагрева ( $\tau_v$ ) и скорость охлаждения ( $V_{охл}$ ).

Различают *первичную* и *вторичную* термические обработки. Назначение первичной ТО заключается в подготовке структуры к последующим операциям механической, пластической обработки или окончательной термической обработке. Назначение вторичной ТО – получение необходимой структуры, а, следовательно, и свойств стали.

Изменение строения и свойств сталей путем ТО связано с фазовыми превращениями и, следовательно, с диаграммами состояния железоуглеродистых сплавов и диаграммами изотермического превращения аустенита. Эти диаграммы позволяют прогнозировать изменение свойств стали в результате термической обработки. Для изменения свойств необходимо, чтобы в сплаве произошли остаточные структурные изменения, которые обусловлены фазовыми превращениями.

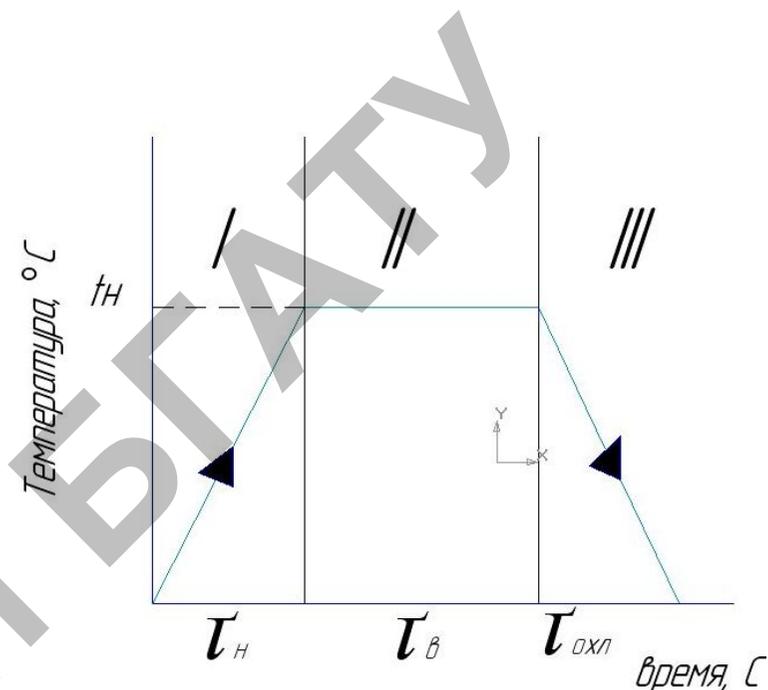


Рис. 6. Схема технологического процесса термической обработки:  
I – первый этап (нагрев); II – второй этап (выдержка); III – третий этап (охлаждение)

*Первый этап* любого вида ТО – нагрев стали. Выбор температуры нагрева углеродистых сталей определяется диаграммой состояния «железо – цементит» (рис. 7). В большинстве случаев термическая обработка стали начинается с получения структуры аустенита.

*Вторым этапом* ТО является выдержка. Продолжительность выдержки при заданной температуре нагрева определяется скоростью фазовых превращений, происходящих в металле, требованиями к объемному или поверхностному упрочнению изделия. Выдержка необходима для выравнивания температуры по объему деталей и завершения фазовых превращений.

*Третий этап* ТО – охлаждение, характеризующееся скоростью и способом охлаждения аустенита, которые, главным образом, и определяют свойства стали после термической обработки. Охлаждение аустенита с различной скоростью приводит к получению различных структур, что и позволяет выбрать вид ТО стали. Скорость и режим охлаждения для получения необходимых свойств определяются диаграммами изотермического распада переохлажденного аустенита.

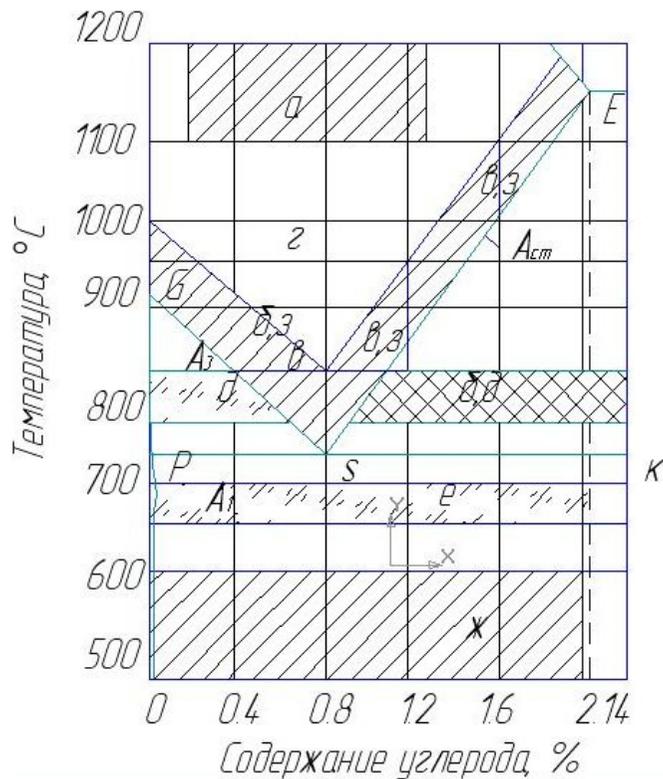


Рис. 7. Температуры нагрева для различных видов термической обработки:

- a* – диффузионный отжиг; *б* – закалка; *в* – нормализация для устранения цементитной сетки; *г* – цементация; *д* – неполный отжиг;
- е* – рекристаллизационный отжиг; *ж* – низкий отжиг; *з* – полный отжиг

Основными видами ТО, различно изменяющими структуру и свойства стали и назначаемые в зависимости от требований, предъявляемых к заготовкам и готовым изделиям, являются отжиг, закалка и отпуск.

### Закалка сталей. Способы закалки

**Отжиг** – операция термической обработки, при которой доэвтектоидные стали нагревают выше критической точки  $A_{c3}$  (линия  $GS$  на диаграмме  $Fe - Fe_3C$ ) на  $30-50^\circ C$ ; эвтектоидные и заэвтекто-

идные стали выше  $A_{c1}$  (линия  $PSK$ ) на  $30-50^\circ C$ , выдерживают при этой температуре и медленно охлаждают вместе с печью.

**Закалка** – операция термической обработки, при которой доэвтектоидные стали нагревают выше критической точки  $A_{c3}$  (линия  $GS$  на диаграмме  $Fe - Fe_3C$ ) на  $30-50^\circ C$ ; эвтектоидные и заэвтектоидные стали выше  $A_{c1}$  (линия  $PSK$ ) на  $30-50^\circ C$ , выдерживают при этой температуре и охлаждают со скоростью выше критической (рис. 8). В результате образуется структура – мартенсит ( $M$ ) + аустенит ( $A$ ) ост.

**Цель закалки** – получение высокой твердости детали с образованием неравновесной структуры (мартенсит). Закалка не является окончательной операцией термической обработки.

**Критическая скорость закалки** – наименьшая скорость охлаждения, при которой образуется структура мартенсит.

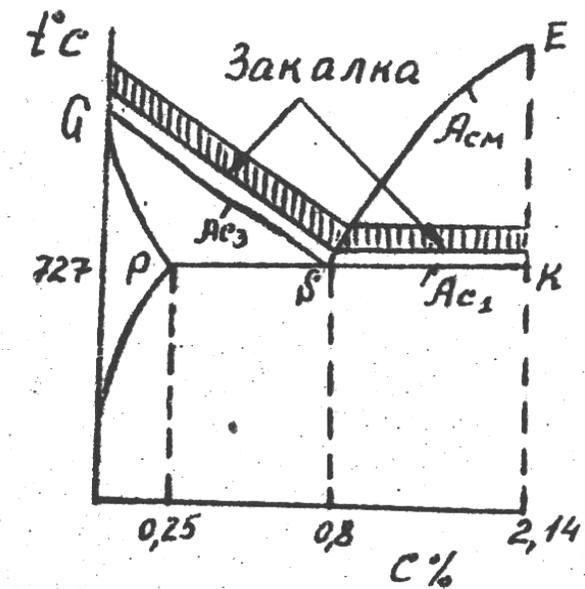


Рис. 8. Температурные интервалы нагрева стали под закалку

Способы закалки представлены на рисунке 9:

- непрерывная – в одном охладителе;

- прерывистая – в двух охладителях (вода, масло);
- ступенчатая – охлаждают до температуры выше начала мартенситного превращения и выдерживают до начала распада аустенита, далее масло, воздух;
- изотермическая – соляная ванна, выдержка до полного распада аустенита, чаще всего для получения структуры бейнита;
- закалка с самоотпуском.

Закалка не является окончательной операцией термической обработки; после закалки всегда проводится отпуск стали

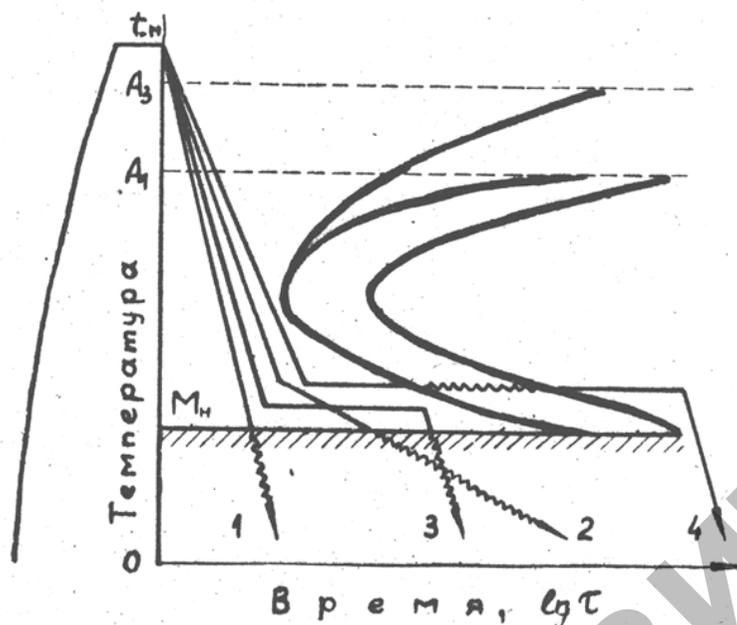


Рис. 9. Способы закалки:

- 1 – непрерывная (в одном охладителе); 2 – прерывистая (в двух охладителях);  
3 – ступенчатая; 4 – изотермическая

### Отпуск сталей, его виды и применение

Отпуск является обязательной операцией термической обработки после закалки.

**Отпуск стали** – операция термической обработки, при которой закаленную сталь нагревают ниже критической точки  $A_{C1}$ , выдерживают при этой температуре, затем охлаждают чаще всего на воздухе.

**Цель отпуска** – снятие напряжений и получение необходимых механических свойств сталей. Существует 3 вида отпуска.

**Низкий отпуск** – нагрев закаленной стали до температур 150–200 °С, структура – мартенсит отпуска. Целью низкого отпуска является придание деталям *высокой твердости и износостойкости*. Применяется для изготовления режущего и штампового инструмента, деталей, работающих на истирание.

**Средний отпуск** – нагрев закаленной стали до температур 350–500 °С, структура – троостит отпуска. Целью среднего отпуска является придание деталям *максимальных упругих свойств*. Применяется для деталей, требующих максимальной упругости: пружины и рессоры.

**Высокий отпуск** – нагрев закаленной стали до температур 500–650 °С, структура – сорбит отпуска. Целью высокого отпуска является придание деталям наилучшего сочетания *прочности и ударной вязкости*. Используется для изготовления деталей, работающих при ударных и знакопеременных нагрузках: рычаги, шатуны, коленчатые валы и др. Сочетание – *закалка + высокий отпуск* называется улучшением.

### Поверхностная закалка сталей

**Поверхностная закалка** – процесс кратковременного нагрева поверхностных слоев детали до температуры закалки с последующим их быстрым охлаждением со скоростью выше критической.

Поверхностная закалка сталей применяется для деталей, требующих высокой твердости и износостойкости поверхности при сохранении вязкой и достаточно прочной сердцевины, например, шестерни, поршневые пальцы, распределительные валы (кулачки), валы, втулки и т. д.

При поверхностной закалке деталь нагревают с перепадом температур по ее сечению так, чтобы поверхностный слой был нагрет до температуры закалки, а сердцевина ниже температуры закалки, с выдержкой и последующим охлаждением со скоростью выше

критической. Нагрев при этом всегда проводится с большой скоростью. Для поверхностной закалки применяют среднеуглеродистые стали (0,4–0,5 % C).

Способы поверхностной закалки: 1) индукционная закалка (ТВЧ); 2) с газопламенным нагревом; 3) в среде электролита; 4) лазерная закалка.

Самым распространенным способом поверхностной закалки является индукционная закалка (ТВЧ). Детали помещают в магнитное поле токов высокой частоты (в индуктор). В результате в детали индуцируются токи той же частоты. Частота тока может быть от 2 500 Гц до 100 000 Гц. Срабатывает поверхностный эффект, ток течет, в основном, по поверхности детали. При дальнейшем охлаждении со скоростью выше критической закалке подвергается только поверхностный слой. Сердцевина остается вязкой.

### *Химико-термическая обработка, ее виды*

**Химико-термическая обработка** (ХТО) – насыщение поверхностей стальной детали каким-либо элементом с целью получения высокой твердости, износостойкости, в ряде случаев коррозионной стойкости и т. д., при сохранении вязкой и пластичной сердцевины. При ХТО изменяется химический состав, структура и свойства стали.

Сущность ХТО заключается в диффузионном насыщении стали неметаллами (углерод, азот, бор) или металлами (алюминий, хром, цинк и др.) в активной насыщающей среде при осуществлении следующих этапов:

- 1) получение насыщаемого элемента в атомарном состоянии – **диссоциация**;
- 2) поглощение насыщающего элемента поверхностью детали – **адсорбция**;
- 3) перемещение насыщающего элемента вглубь – **диффузия**.

**Цементация** – насыщение низкоуглеродистых сталей (0,1–0,25 % C) углеродом. Деталь помещают в среду, богатую углеродом, выдерживают при температурах 900–930 °С в течение длительного времени. Существует цементация в газовой и твердой насыщающей среде (карбюризаторе).

При газовой цементации скорость насыщения составляет 0,2 мм в час, при цементации в твердом карбюризаторе – 0,1 мм в час. После цементации всегда проводят закалку и низкий отпуск.

Назначение цементации и последующей термической обработки – придание поверхностным слоям стальных изделий высокой контактной твердости и износостойкости при сохранении вязкой сердцевины, например, поршневым пальцам, шестерням, кулачкам и т. д.

**Азотирование** – насыщение поверхности детали азотом. Азотирование проводят для получения высокой твердости, износостойкости, коррозионной стойкости детали при сохранении вязкой сердцевины. Применяют легированные стали со средним содержанием углерода (например, 35ХМЮА, 38ХМЮА). Азотирование проводится при температуре 500–580 °С. Процесс длительный. Промышленный способ – газовое азотирование. В настоящее время применяют азотирование «в тлеющем разряде». Азотирование окончательный процесс термообработки. Перед азотированием проводят закалку и высокий отпуск (улучшение).

**Цианирование** – одновременное насыщение поверхности стали углеродом и азотом в жидких средах.

**Нитроцементация** – одновременное насыщение поверхности стали углеродом и азотом в газовой среде (температура 800–880 °С) часто заменяет процесс цементации.

## **5. Инструментальные материалы и цветные металлы**

**Инструментальные материалы** подразделяют на инструментальные стали, твердые сплавы и сверхтвердые материалы.

Наиболее обширный и важный в практическом отношении класс составляют *инструментальные стали* (> 90 %). Инструментальные стали, имеющие высокие твердость, износостойкость и прочность, применяются для изготовления режущего и измерительного инструмента, штампов холодного и горячего деформирования, а также ряда деталей точных механизмов (пружин, шестерен) различной формы и размеров.

Для лучшей ориентации при выборе сталей проводят их классификацию по 2 основным признакам – назначению и свойствам. Они предназначены для изготовления инструментов четырех основных типов:

- 1) режущих (У8, У12, Х, 9ХС, Р12, Р9, Р6М5 и др.);

- 2) измерительных (У8, У12, Х, ХГ, ХВГ, Х12М1 и др.);
- 3) штампов холодного деформирования (У8, У12, 9ХС, и др.);
- 4) штампов горячего деформирования (5ХНМ, 5Х4С, 7Х3 и др.).

Номенклатура и условия работы инструментов каждого типа отличаются большим разнообразием (более десяти тысяч типоразмеров).

Правильный выбор марки стали и режима термической обработки осуществляется исходя из условий работы инструмента и предъявляемых к нему требований. В зависимости от условий эксплуатации рабочая часть инструментов может нагреваться (до 500–700 °С – у режущих инструментов, до 800 °С – у штампов). Характерным для них (особенно режущих и штамповых) является возникновение высоких контактных давлений на рабочей кромке, вызывающих ее изнашивание. Чтобы инструмент не терял при этом работоспособность, у него не должны меняться структура и свойства.

Способность инструментального материала (стали) сохранять при повышенных температурах эксплуатационные свойства (высокие твердость, прочность и износостойкость) называется **теплостойкостью**.

Необходимый уровень основных служебных свойств (теплостойкость, износостойкость, прочность и вязкость) для инструмента каждого типа различен. Причем требуемое сочетание отдельных свойств материала (например, высокой твердости и ударной вязкости) во многих случаях трудно обеспечить. Предпочтение отдается одному или нескольким свойствам, которые в наибольшей степени отвечают за работоспособность инструментов данного типа.

**Твердые сплавы** представляют полученные методами порошковой металлургии спеченные материалы из порошков карбидов вольфрама и титана (90–95 %) на металлическом связующем (обычно это кобальт), с очень высокой твердостью 88–92 HRA или 72–80 HRC. Изделия из них нельзя подвергать никакой механической обработке, кроме шлифования.

Твердыми сплавами оснащают инструмент для скоростного резания металлов. Рабочая температура резания при этом составляет 800–1000 °С (для инструментальной быстрорежущей стали не больше 700 °С). Теплостойкость твердых сплавов различных марок составляет ~ 800–900 °С, что позволяет повысить скорость резания в 2–10 раз.

Твердые сплавы значительно превосходят быстрорежущие стали по твердости (у последних – 65–69 HRC), но уступают по прочности. Наряду с высокой твердостью твердый сплав обладает повышенной хрупкостью и малой прочностью на изгиб и растяжение. При работе с ударами и толчками он выкрашивается и имеет малую стойкость.

В зависимости от структуры и состава карбидных фаз твердые сплавы подразделяют на три группы.

1. Однокарбидные сплавы состоят из карбида вольфрама и связующего металла кобальта – группа ВК. Подразделяются на марки ВК3, ВК6, ВК8, ВК10, различающиеся содержанием кобальта (в сплаве ВК3 – 3 % кобальта, остальное карбид вольфрама и т. д.). Чем больше кобальта в сплаве, тем он менее тверд и размягчается при более низкой температуре (до 800 °С), но менее хрупок. Применяются для обработки хрупких материалов: стекло, фарфор, чугуны.

2. Двухкарбидные сплавы состоят из карбида титана + карбида вольфрама связующего металла кобальта – группа ТК. Типичный представитель – Т15К6, где 15 % карбида титана, 6 % кобальта и остальное – карбид вольфрама. При спекании вследствие процессов диффузии и растворения вольфрама и углерода в карбиде титана структура состоит более чем на 50 % из карбида титана. Они более теплостойки до температур 900–1000 °С. Применяются для черновой обработки сталей.

3. Трехкарбидные сплавы состоят из карбида титана и карбида тантала, связующего металла кобальта, остальное – карбид вольфрама – группа ТТК. Это сплавы ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ20К9. Например, в сплаве ТТ8К6 по 8 % карбида титана и тантала, 6 % кобальта, остальное – карбид вольфрама. При таком количестве карбида титана в исходной шихте в нем полностью растворен вольфрам. Карбид титана отличается от карбида вольфрама не только большей твердостью, но и повышенной хрупкостью. Применяются для обработки горных пород, при бурении нефтяных скважин.

На основе титана разработаны новые твердые сплавы, не содержащие дорогого вольфрама, у которых карбид вольфрама заменен карбидом или карбонитридом титана, а в качестве связки используют железо, молибден и другие металлы – ТМ1, ТМ2, ТМ3 (92 HRA). Они отличаются высокой окалинотойкостью, малым коэффициентом трения и применяются для получистовой обработки резанием конструкционных углеродистых и низколегированных сталей.

**Сверхтвердые материалы** – алмаз, кубический нитрид бора применяют для оснащения вставками лезвийных инструментов (резцы, сверла, торцовые фрезы). Такие инструменты используют для чистовой размерной обработки при высоких скоростях резания (100–200 м/мин).

Первое место среди сверхтвердых материалов принадлежит алмазу, твердость которого в 6 раз выше твердости карбида вольфрама и в 8 раз – твердости быстрорежущей стали. Наиболее широко применяют синтетические алмазы, которые имеют поликристаллическое строение и отличаются меньшей хрупкостью и стоимостью. Алмаз теплостоек до температуры 800 °С, но обладает хорошей теплопроводностью, снижающей разогрев режущей кромки при высоких скоростях резания.

Недостаток алмаза – высокая адгезия к железу, что является причиной его низкой износостойкости при точении сталей и чугунов. Алмазным инструментом обрабатывают цветные металлы и сплавы, обеспечивая при этом низкую шероховатость поверхности.

Большой универсальностью обладают инструменты из поликристаллического нитрида бора с кубической решеткой – **кубического нитрида бора** (КНБ), получаемого синтезом нитрида бора при высоких давлениях и температурах. В зависимости от технологии получения КНБ выпускают под названиями (торговыми марками) – эльбор, эльбор-Р, борозон. По твердости КНБ не уступает алмазу (0,9 твердости алмаза), но превосходит его по теплостойкости (1200–1400 °С) и химической инертности. Отсутствие у КНБ химического сродства к железу позволяет эффективно использовать его для обработки трудно обрабатываемых сталей, в том числе и закаленных.

К **цветным металлам** относят металлы, кроме железа и его сплавов, имеющие характерную окраску. В промышленности используются алюминий, медь, магний, олово, свинец, титан, цинк и другие металлы, а также сплавы на их основе. Цветным металлам и сплавам присущи особые физические, химические, технологические свойства. Среди цветных металлов широкое распространение получили медь, алюминий и их сплавы.

**Медь** обладает высокой электро- и теплопроводностью, коррозионной стойкостью, является одним из основных материалов в электротехнике, приборостроении, судостроении и др. Основные медные сплавы – латуни и бронзы.

**Латуни** – сплавы меди с цинком. Обозначаются латуни буквой «Л» и цифрой, указывающей содержание меди в процентах, остальное – цинк. Применяют деформируемые латуни с содержанием цинка до 45 %, т. к. при дальнейшем его увеличении прочность сплавов уменьшается, а хрупкость увеличивается. Например, Л96 содержит 96% *Cu* и 4 % *Zn*. Латунь может быть легирована различными элементами. В этом случае после буквы «Л» ставят их условное обозначение: С – свинец; О – олово; Ж – железо; А – алюминий; К – кремний, Мц – марганец; Н – никель. Числа после букв показывают: первое – содержание меди, последующие – содержание соответствующих элементов в процентах. Например, ЛАН 59-3-2 содержит 59 % *Cu*, 3 % *Al*, 2 % *Ni*, остальное – *Zn*.

В маркировке литейных латуней после буквы «Л» идет обозначение легирующего элемента и число, указывающее его содержание в сплаве в процентах. Например, латунь ЛЦ23А6Ж3Мц2 содержит 23 % *Zn*, 6 % *Al*, 3 % *Fe*, 2 % *Mn*, остальное – *Cu*.

Латуни используются в металлургической промышленности для изготовления прутков, труб, листов, лент, деталей в различных отраслях машиностроения: подшипников, втулок, вкладышей, зубчатых колес и т. д.

**Бронзы** – сплавы меди с оловом, алюминием, бериллием, свинцом, железом и другими элементами, кроме цинка. Цинк может входить в состав бронзы при наличии других легирующих элементов. Различают оловянистые, алюминиевые, бериллиевые, свинцовистые и другие виды бронз.

Бронзы бывают деформируемыми и литейными. Бронзы, содержащие до 5–6 % олова относятся к деформируемым, с более высоким содержанием олова являются литейными. Бронзы маркируются буквами «Бр», далее буквами, обозначающими легирующие элементы, а затем числами, указывающими их содержание в процентах. Обозначение элементов то же, что и в латунях. Дополнительно: Ф – фосфор; Х – хром; Б – бериллий, Цр – цирконий. Маркировка литейных бронз производится аналогично маркировке литейных латуней. Например, БрОФб,5-0,4 содержит 6,5 % *Sn*, 0,4 % *P*, остальное – *Cu*; БрОЦС 3-12-5 содержит 3 % *Sn*, 12 % *Zn*, 5 % *Pb*, остальное – *Cu*.

Бронза используется в качестве материала пружин, мембран, контактов, лент, антифрикционных деталей, вкладышей, втулок, червячных пар, шестерен.

**Алюминий** – самый распространенный металл в природе. Обладает высокой тепло- и электропроводностью, коррозионной стойкостью во многих средах, малой плотностью ( $2,7 \text{ г/см}^3$ ). Является основой многих легких сплавов. В промышленности используется для получения проводов линий электропередач, фольги для конденсаторов и т. д.

По способу изготовления изделий и технологическим свойствам алюминиевые сплавы делятся на три группы:

1) **деформируемые** – для получения полуфабрикатов методом пластической деформации (листы, ленты, проволока, трубы), а также поковок и штамповок;

2) **литейные** – для получения заготовок методами литья (картеры и блоки автотракторных двигателей, поршни, корпусные детали и т. п.);

3) **спеченные** – для получения изделий методами порошковой металлургии (фильтры, втулки, диски и т. п.).

Деформируемые алюминиевые сплавы характеризуются хорошей пластичностью в холодном и горячем состоянии, свариваемостью и обрабатываемостью резанием. Они подразделяются на *упрочняемые* и *неупрочняемые* термической обработкой.

Деформируемые сплавы, *неупрочняемые* термической обработкой, используются в отожженном, либо в наклепанном состояниях. К ним относят двойные сплавы «алюминий – магний» (2–7%) – магналии и системы «алюминий – марганец» (1–1,6% марганца).

Деформируемые магналии АМг, АМгб имеют высокую коррозионную стойкость, хорошо свариваются, применяются для сварных емкостей, в судостроении. Алюминиево-марганцевые сплавы АМц в отожженном состоянии имеют высокую пластичность, но малую прочность ( $\sigma_b = 110\text{--}120 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 20\text{--}25 \%$ ). Они применяются для изготовления деталей, работающих в агрессивных средах.

К деформируемым сплавам, *упрочняемым* термообработкой, относят сложные алюминиевые сплавы на основе тройных и более многокомпонентных систем:

- **дюралюмины** – сплавы системы «алюминий – медь – магний» с добавкой марганца – Д1, Д16 повышенной прочности; Д19, ВД17 – повышенной жаропрочности; Д18 и В65 – заклепочные;

- **ковочные** сплавы системы «алюминий – магний – кремний» – АВ, АК6, АК8 и системы «алюминий – медь – магний» с добавками никеля и железа – АК4-1, АК6;

- **жаропрочные** сплавы системы «алюминий – медь – марганец» – Д20, Д21;

- **высокопрочные** сплавы системы «алюминий – цинк – магний – медь» марок В95 – общего назначения, В94 – заклепочные. Данные сплавы упрочняются термической обработкой (закалкой) с последующим искусственным или естественным старением.

К литейным алюминиевым сплавам (5 основных групп) относятся сплавы с элементами, которые образуют с алюминием легкоплавкие эвтектики, имеющие высокие литейные свойства.

**1 группа.** Системы «алюминий – кремний» – **силумины** АК9, АК12, (9–13 % кремния). Их состав близок к эвтектическому –  $\approx 11,5 \%$  Si. Они характеризуются большой жидкотекучестью и малой усадкой. Для повышения прочности и пластичности (измельчения структуры) такие силумины модифицируют, вводя в расплав добавки натрия (0,05–0,08 %) или другого модификатора, механические свойства силуминов повышаются ( $\sigma_b = 170\text{--}250 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 3\text{--}5 \%$ ).

**2 группа.** Сложные силумины систем «алюминий – кремний – магний», «алюминий – кремний – медь», «алюминий – кремний – магний – медь» (АК5М2, АК6М2, АК9М2 и др.). Для повышения механических и технологических свойств силумины легируют магнием, марганцем, медью и подвергают дополнительной термической обработке.

**3 группа.** Сплавы, содержащие более 4 % меди, с ограниченной растворимостью меди в алюминии, со структурой  $\alpha$ -твердого раствора и вторичной фазы  $\text{Cu}_2\text{Al}$ , например, сложнoleгированный сплав АМ5. По жаропрочности они превосходят все литейные сплавы. Из них отливают мелкие детали, работающие при повышенных температурах (250–300 °С).

**4 группа.** Сплавы системы «алюминий–магний» – литейные *магналии* (АМг5К, АМг5Мц, АМг10 и др.) характеризуются хорошими литейными свойствами, повышенной пластичностью, минимальной плотностью ( $2,58 \text{ г/см}^3$ ), высокой коррозионной стойкостью.

**5 группа.** К системам алюминий – другие элементы относят *жаропрочные* литейные сплавы АК12ММгН, АК12М2МгН и др. (всего 11 сплавов). Из них изготавливают поршни, головки цилиндров и другие детали, которые эксплуатируются при температурах до 250–300 °С.

В машиностроении для изготовления подшипников скольжения широкое применение получили *антифрикционные материалы*, имеющие гетерогенную структуру, состоящую из мягкой и пластичной основы с твердыми включениями. *Антифрикционные (подшипниковые) сплавы* – сплавы на основе алюминия, меди, свинца, олова.

Требования к антифрикционным сплавам. Они должны: 1) иметь достаточную твердость; 2) быть пластичными; 3) удерживать смазку; 4) иметь малый коэффициент трения; 5) обладать хорошей теплопроводностью; 6) иметь невысокую температуру плавления; 7) обладать устойчивостью против коррозии.

Из подшипниковых сплавов применяют баббиты систем Pb – Sb, Sb – Sn, Pb – Sn – Sb, а также сплавы на основе цинка (с добавками меди и алюминия) и алюминия (с добавками меди, никеля, сурьмы).

**Баббиты** – антифрикционные сплавы на оловянной и свинцовой основах. Они обладают хорошими антифрикционными свойствами, хорошо прирабатываются, но имеют низкое сопротивление усталости. Распространенными баббитами на основе олова являются сплавы Б88, Б83. Применяются в подшипниках турбонасосов, тяжело нагруженных машин. Свинцовые баббиты Б16, БН, БС6 используются в машинах средней нагруженности.

Алюминиевые подшипниковые сплавы системы Al – Sn по сравнению с оловянными и свинцовыми баббитами обладают более высокими свойствами (низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью), но менее технологичны. Данные сплавы используются в тяжело нагруженных скоростных подшипниках автомобильных и тракторных двигателей.

## ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

### Тема 1. Механические свойства металлов и сплавов

**1. Способность материала сопротивляться разрушению при статическом нагружении называется:**

- 1) ударной вязкостью;
- 2) пластичностью;
- 3) износостойкостью;
- 4) прочностью.

**2. Пластическая деформация это:**

- 1) деформация, которая исчезает после снятия нагрузки;
- 2) необратимое изменение деформированного тела;
- 3) изменение размеров нагруженного тела;
- 4) работа, затраченная на разрушение образца материала.

**3. Относительное удлинение материала при разрыве является характеристикой:**

- 1) прочности;
- 2) износостойкости;
- 3) выносливости;
- 4) пластичности.

**4. Способность материала получать остаточную деформацию без разрушения называется:**

- 1) пластичностью;
- 2) прочностью;
- 3) твердостью;
- 4) выносливостью.

**5. Для испытания на разрыв используют образец:**

- 1) в виде куба;
- 2) в виде прутка квадратного сечения с надрезом;

- 3) в виде шайбы;
- 4) цилиндрической формы с утолщениями (головками) на концах.

**6. Прочность материала выражается:**

- 1) в процентах;
- 2) в Дж/м<sup>2</sup> (кгс·м/см<sup>2</sup>);
- 3) в МПа (кгс/мм<sup>2</sup>);
- 4) это безразмерная величина.

**7. Для определения ударной вязкости используют образец:**

- 1) в виде прутка прямоугольного сечения с надрезом;
- 2) цилиндрический образец с утолщениями на концах;
- 3) в виде куба;
- 4) в виде плоской полосы.

**8. С помощью маятникового копра определяют:**

- 1) твердость по Роквеллу;
- 2) ударную вязкость;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) относительное удлинение при разрыве.

**9. Ударная вязкости имеет размерность:**

- 1) МПа (кг/мм<sup>2</sup>);
- 2) проценты, %;
- 3) Дж/м<sup>2</sup>;
- 4) является безразмерной величиной.

**10. Сущность измерения твердости по методу Роквелла состоит во внедрении в образец:**

- 1) алмазной пирамиды;
- 2) алмазного конуса или закаленного стального шарика;
- 3) закаленного стального шарика;
- 4) ничего не внедряется.

**11. Измерение твердости по методу Бринелля производится вдавливанием в образец:**

- 1) алмазного конуса или закаленного стального шарика;
- 2) алмазной пирамиды;
- 3) закаленного стального или твердосплавного шарика;
- 4) ничего не вдавливаются.

**12. Условия испытания при измерении твердости по методу Бринелля:**

- 1) нагрузка, время приложения нагрузки;
- 2) диаметр шарика, нагрузка, время приложения нагрузки;
- 3) диаметр отпечатка;
- 4) время приложения нагрузки.

**13. При измерении твердости по методу Бринелля используют шарик диаметром, мм:**

- 1) 0,5; 3,0; 7,0;
- 2) 2,5; 5,0; 10,0;
- 3) 1,5; 3,0; 6,0;
- 4) 1,0; 4,0; 8,0.

**14. Зависимость между пределом прочности и твердостью Бринелля:**

- 1) прямолинейная;
- 2) криволинейная;
- 3) параболическая;
- 4) не существует.

**15. Твердость, измеренная по методу Роквелла конусом, обозначается:**

- 1) HB;
- 2) HV;
- 3) HRB;
- 4) HRC.

**16. При измерении твердости по методу Роквелла к образцу прикладывается:**

- 1) предварительная нагрузка;
- 2) предварительная и основная нагрузки;
- 3) основная нагрузка;
- 4) ничего не прикладывается.

**17. HRC обозначает твердость, определенную методом:**

- 1) Бринелля;
- 2) Виккерса;
- 3) Роквелла;
- 4) такого обозначения твердости нет.

**18. Твердость по Бринеллю обозначается:**

- 1) KCV;
- 2) HB;
- 3)  $\Psi$ ;
- 4)  $\sigma_B$ .

**19. На чертеже детали указано выражение 90 HRB, обозначающее:**

- 1) относительное сужение материала при растяжении;
- 2) ударную вязкость;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) твердость по Роквеллу с индентором стальным шариком.

**20. На чертеже детали указано 55 HRC, обозначающее:**

- 1) твердость по Виккерсу;
- 2) ударную вязкость;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) твердость по Роквеллу с индентором - алмазным конусом.

**21. На чертеже детали указано выражение 302 HB, обозначающее:**

- 1) предел прочности;
- 2) ударную вязкость;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) твердость по Роквеллу с индентором – стальным шариком.

**22. На чертеже детали указано значение 85 HRA, обозначающее:**

- 1) ударную вязкость;
- 2) твердость по Роквеллу, измеренную алмазным конусом;
- 3) твердость по Бринеллю;
- 4) твердость по Роквеллу с индентором - стальным шариком.

**23. При определении твердости измеряют диаметр отпечатка по методу:**

- 1) Бринелля;
- 2) Виккерса;
- 3) Роквелла с алмазным конусом;
- 4) Роквелла с шариком.

**24. Твердость по Роквеллу измеряется:**

- 1) в %;
- 2) в МПа ( $\text{кгс}/\text{мм}^2$ );
- 3) в  $\text{Дж}/\text{м}^2$ ;
- 4) твердость по Роквеллу – безразмерная величина.

**25. Три шкалы для определения твердости металлов используются по методу:**

- 1) Бринелля;
- 2) Виккерса;
- 3) Роквелла;
- 4) не используются.

**26. Мера измерения твердости по Бринеллю:**

- 1) глубина отпечатка, мм;
- 2) диаметр отпечатка, мм;
- 3) прикладываемая нагрузка, кг;
- 4) величина отскока, мм.

**27. Мера измерения твердости по Роквеллу:**

- 1) диаметр отпечатка, мм;
- 2) глубина отпечатка, мм;
- 3) прикладываемая нагрузка, кг;
- 4) величина отскока, мм.

**28. Для измерения твердости по Роквеллу используется алмазный конус:**

- 1) при измерении мягких материалов;
- 2) при измерении твердых материалов;
- 3) во всех случаях;
- 4) при измерении твердости по Роквеллу алмазный конус не применяется.

29. Неразрушающим видом контроля является следующий метод испытания:

- 1) измерение прочности;
- 2) измерение ударной вязкости;
- 3) измерение пластичности;
- 4) измерение твердости.

## Тема 2. Железоуглеродистые сплавы

1. Ферритом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе;
- 3) химическое соединение ( $\text{Fe}_3\text{C}$ );
- 4) эвтектическая смесь аустенита с цементитом.

2. Аустенитом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе;
- 3) химическое соединение ( $\text{Fe}_3\text{C}$ );
- 4) эвтектоидная смесь феррита с цементитом.

3. Цементитом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе;
- 3) химическое соединение ( $\text{Fe}_3\text{C}$ );
- 4) эвтектоидная смесь феррита и цементита.

4. Перлитом называется:

- 1) твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе;
- 2) твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе;
- 3) химическое соединение ( $\text{Fe}_3\text{C}$ );
- 4) эвтектоидная смесь феррита и цементита.

5. Линия ликвидус диаграммы состояния сплавов «железо – цементит» (рис. 1) обозначена буквами:

- 1)  $ABCD$ ;
- 2)  $AHIECF$ ;
- 3)  $PSK$ ;
- 4)  $ECF$ .

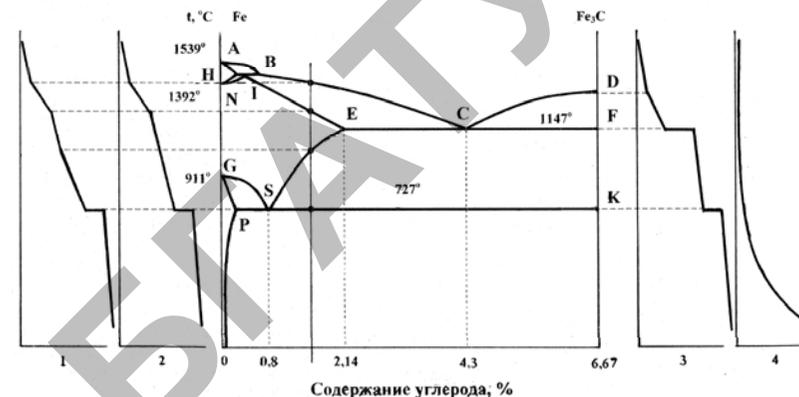


Рис. 1. Диаграмма состояния сплавов системы «железо – цементит»

6. Линия солидус диаграммы состояния сплавов «железо – цементит» (рис. 1) обозначена буквами:

- 1)  $PSK$ ;
- 2)  $EC$ ;
- 3)  $ECF$ ;
- 4)  $AHIECF$ .

7. Линия перлитного превращения (рис. 1) обозначена:

- 1)  $GS$ ;
- 2)  $PSK$ ;
- 3)  $ES$ ;
- 4)  $ECF$ .

8. Предельная концентрация углерода в аустените составляет (в %):

- 1) 0,02 %;
- 2) 0,8 %;
- 3) 2,14 %;
- 4) 4,3 %.

9. Содержание углерода в ледебурите составляет (в %):

- 1) 0,05 %;
- 2) 0,8 %;
- 3) 2,14 %;
- 4) 4,3 %.

**10. Эвтектоид образуется при температуре:**

- 1) 1539 °С;
- 2) 1147 °С;
- 3) 727 °С;
- 4) эвтектоид образуется в интервале температур.

**11. Линия эвтектического превращения (рис. 1):**

- 1) *ABCD*;
- 2) *ECF*;
- 3) *PSK*;
- 4) *ES*.

**12. Эвтектика образуется при температуре:**

- 1) 727 °С;
- 2) 1147 °С;
- 3) 1539 °С;
- 4) 910 °С.

**13. Сталь с 1,0 % C при температуре 1400 °С состоит из:**

- 1) цементита + жидкого сплава;
- 2) аустенита + феррита;
- 3) перлита + цементита вторичного;
- 4) аустенита + жидкого сплава.

**14. Критические точки  $A_{C3}$  соответствуют линии диаграммы состояния сплавов «железо – цементит»:**

- 1) *PS*;
- 2) *SE*;
- 3) *GS*;
- 4) *ECF*.

**15. По линии *SE* диаграммы состояния сплавов «железо – цементит» при охлаждении происходит превращение в сплавах:**

- 1) выделение избыточного феррита;
- 2) образование перлита;
- 3) образование ледебурита;
- 4) кристаллизация вторичного цементита.

**16. Ледебурит при температуре 1000 °С представляет собой:**

- 1) механическую смесь феррита с цементитом;
- 2) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе;
- 3) химическое соединение  $Fe_3C$ ;
- 4) механическую смесь аустенита с цементитом.

**17. В сплаве с 2,8 % углерода в интервале температур 1300 – 1200 °С при охлаждении происходит:**

- 1) образование эвтектики – ледебурита;
- 2) кристаллизация жидкого сплава в виде цементита;
- 3) кристаллизация жидкого сплава в виде аустенита;
- 4) образование эвтектоида – перлита.

**18. По линии *GS* диаграммы состояния сплавов «железо – цементит», при охлаждении происходит превращение в сплавах:**

- 1) кристаллизация из аустенита феррита;
- 2) перитектическое;
- 3) эвтектическое;
- 4) кристаллизация из аустенита вторичного цементита.

**19. По линии *CD* диаграммы состояния сплавов «железо – цементит», при охлаждении происходит превращение в сплавах:**

- 1) кристаллизация жидкого сплава в виде аустенита;
- 2) кристаллизация жидкого сплава в виде цементита первичного;
- 3) кристаллизация жидкого сплава в виде феррита;
- 4) кристаллизация из аустенита вторичного цементита.

**20. По линии эвтектоидного превращения при охлаждении происходит:**

- 1) окончание кристаллизации жидкого расплава;
- 2) превращение аустенита в перлит;
- 3) превращение перлита в аустенит;
- 4) выделение вторичного цементита.

**21. Третичный цементит образуется:**

- 1) при кристаллизации жидкого сплава;
- 2) при понижении растворимости углерода в феррите;
- 3) при понижении растворимости углерода в аустените;
- 4) при аллотропическом (полиморфном) превращении  $\gamma$ -же-леза в  $\alpha$ -железо.

**22. Тип кристаллической решетки  $\alpha$ -железа:**

- 1) объемно-центрированная кубическая;
- 2) гранецентрированная кубическая;
- 3) гексагональная;
- 4) тетрагональная.

**23. Тип кристаллической решетки  $\gamma$ -железа:**

- 1) объемно-центрированная кубическая;
- 2) гранецентрированная кубическая;
- 3) гексагональная;
- 4) тетрагональная.

**24. Максимальная растворимость углерода в  $\alpha$ -железе:**

- 1) 0,02 %;
- 2) 0,8 %;
- 3) 2,14 %;
- 4) 6,67 %.

**25. Максимальная растворимость углерода в  $\gamma$ -железе:**

- 1) 0,1 %;
- 2) 0,8 %;
- 3) 2,14 %;
- 4) 4,3 %.

**26. Содержание углерода в перлите составляет:**

- 1) 0,006 %;
- 2) 0,8 %;
- 3) 4,3 %;
- 4) 6,67 %.

**27. Содержание углерода в цементите составляет:**

- 1) 0,5 %;
- 2) 1,8 %;
- 3) 2,14 %;
- 4) 6,67 %.

**28. Температура плавления чистого железа:**

- 1) 768 °C;
- 2) 910 °C;
- 3) 1401 °C;
- 4) 1539 °C.

**29. В перлите содержится:**

- 1) одна фаза;
- 2) две фазы;
- 3) три фазы;
- 4) четыре фазы.

**30. Структура перлита образуется при температуре:**

- 1) 727 °C;
- 2) 910 °C;
- 3) 1147 °C;
- 4) 1539 °C.

**Тема 3. Стали и чугуны**

**1. Структура доэвтектоидной стали состоит из:**

- 1) цементита;
- 2) феррита и перлита;
- 3) перлита и цементита;
- 4) перлита.

**2. Структура эвтектоидной стали состоит из:**

- 1) феррита и цементита;
- 2) феррита и перлита;
- 3) перлита и цементита;
- 4) перлита.

**3. Структура заэвтектоидной стали состоит из:**

- 1) феррита и перлита;
- 2) феррита и цементита;
- 3) перлита и цементита;
- 4) перлита.

**4. Структуру феррит + перлит могут иметь следующие сплавы:**

- 1) доэвтектоидные стали;
- 2) заэвтектоидные стали;
- 3) доэвтектические чугуны;
- 4) эвтектоидные стали.

**5. Сера оказывает следующее влияние на свойства стали:**

- 1) увеличивает хрупкость;
- 2) вызывает красноломкость;
- 3) вызывает хладноломкость;
- 4) повышает пластичность.

**6. Фосфор оказывает следующее влияние на свойства стали:**

- 1) увеличивает хрупкость;
- 2) вызывает красноломкость;
- 3) вызывает хладноломкость;
- 4) повышает твердость.

**7. Полностью раскисленной является сталь:**

- 1) СтЗпс;
- 2) Ст6сп;
- 3) Ст1кп;
- 4) среди перечисленных такой нет.

**8. 1,2 % углерода может иметь следующий материал:**

- 1) сталь обыкновенного качества;
- 2) качественная конструкционная сталь;
- 3) углеродистая инструментальная сталь;
- 4) ковкий чугун.

**9. Углеродистой инструментальной сталью является:**

- 1) У10;
- 2) 65;
- 3) 12Х18Н10Т;
- 4) Р9.

**10. Маркировка материала СтЗпс принадлежит:**

- 1) качественной конструкционной стали;
- 2) качественной инструментальной стали;
- 3) стали обыкновенного качества;
- 4) легированной стали.

**11. Углеродистой качественной конструкционной сталью является:**

- 1) У12;

- 2) 30Х13;
- 3) 45;
- 4) Ст2кп.

**12. Углеродистая качественная конструкционная сталь 45 является:**

- 1) заэвтектоидной;
- 2) эвтектоидной;
- 3) доэвтектоидной;
- 4) не относится ни к одному из перечисленных видов.

**13. Углеродистая инструментальная сталь У11А является:**

- 1) заэвтектоидной;
- 2) эвтектоидной;
- 3) доэвтектоидной;
- 4) не относится ни к одному из перечисленных видов.

**14. Углеродистой конструкционной сталью обыкновенного качества является:**

- 1) У7;
- 2) 30Х13;
- 3) 45;
- 4) Ст5.

**15. Легированной конструкционной сталью является:**

- 1) 40Х;
- 2) У8А;
- 3) А12;
- 4) Р18.

**16. Структура серого чугуна на ферритной основе состоит из:**

- 1) феррита и графита пластинчатого;
- 2) перлита и графита пластинчатого;
- 3) феррита, перлита и графита пластинчатого;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.

**17. Структура ковкого чугуна на ферритной основе состоит из:**

- 1) феррита и графита пластинчатого;
- 2) перлита и графита шаровидного;
- 3) феррита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита хлопьевидного.

**18. Структура белого доэвтектического чугуна состоит из:**

- 1) ледебурита;
- 2) ледебурита и цементита первичного;
- 3) ледебурита, перлита и цементита вторичного;
- 4) феррита и графита пластинчатого.

**19. Структура серого чугуна на перлитной основе состоит из:**

- 1) феррита и графита шаровидного;
- 2) перлита и графита пластинчатого;
- 3) феррита, перлита и графита пластинчатого;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.

**20. Структура белого заэвтектического чугуна состоит из:**

- 1) ледебурита;
- 2) ледебурита и цементита первичного;
- 3) ледебурита, перлита и цементита вторичного;
- 4) феррита и графита хлопьевидного.

**21. Структура высокопрочного чугуна на ферритной основе состоит из:**

- 1) феррита и графита шаровидного;
- 2) перлита и графита шаровидного;
- 3) феррита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита пластинчатого.

**22. Структура высокопрочного чугуна на перлитной основе состоит из:**

- 1) феррита и графита шаровидного;
- 2) перлита и графита шаровидного;
- 3) перлита и графита хлопьевидного;
- 4) перлита, феррита и графита хлопьевидного.

**23. Белые чугуны получают:**

- 1) при быстром охлаждении в металлической изложнице;
- 2) при медленном охлаждении в земляной форме;
- 3) путем отжига белого чугуна;
- 4) модифицированием жидкого чугуна магнием.

**24. Ковкие чугуны получают:**

- 1) при быстром охлаждении в металлической изложнице;
- 2) при медленном охлаждении в земляной форме;
- 3) путем отжига из белого чугуна;
- 4) модифицированием жидкого чугуна магнием.

**25. Серый чугун с пластинчатым графитом получают:**

- 1) при быстром охлаждении в металлической форме;
- 2) отжигом белого чугуна;
- 3) при медленном охлаждении в земляной форме;
- 4) модифицированием жидкого чугуна магнием.

**26. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом формируется:**

- 1) при быстром охлаждении в металлической форме;
- 2) при медленном охлаждении в земляной форме;
- 3) при отжиге деталей, изготовленных из белого чугуна;
- 4) путем модифицирования жидкого серого чугуна магнием.

**27. Форма графита в высокопрочном чугуне:**

- 1) пластинчатая;
- 2) шаровидная;
- 3) хлопьевидная;
- 4) графит отсутствует.

**28. Форма графита в сером чугуне:**

- 1) пластинчатая;
- 2) глобулярная;
- 3) хлопьевидная;
- 4) графит отсутствует.

**29. Первое число марки ковкого чугуна КЧ30-6 обозначает:**

- 1) предел прочности при растяжении, кгс/мм<sup>2</sup>;
- 2) предел прочности при изгибе, кгс/см<sup>2</sup>;
- 3) относительное удлинение, %;
- 4) относительное сужение, %.

**30. Число марки высокопрочного чугуна ВЧ60 обозначает:**

- 1) предел прочности при растяжении, кгс/мм<sup>2</sup>;
- 2) предел прочности при изгибе, кгс/мм<sup>2</sup>;
- 3) относительное удлинение, %;
- 4) относительное сужение, %.

**31. Число марки серого чугуна СЧ20 обозначает:**

- 1) предел прочности при растяжении, кгс/мм<sup>2</sup>;
- 2) предел прочности при изгибе, кгс/мм<sup>2</sup>;
- 3) относительное удлинение, %;
- 4) относительное сужение, %.

**32. Относительное удлинение 8 % при разрыве имеет следующий материал:**

- 1) КЧ338;
- 2) ВК8;
- 3) Сталь 08;
- 4) Сталь У8.

#### Тема 4. Термическая обработка сталей

**1. Трооститом называют:**

- 1) тонкодисперсную механическую смесь феррита с цементитом;
- 2) твердый пересыщенный раствор углерода в  $\alpha$ -железе;
- 3) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе;
- 4) химическое соединение углерода с железом.

**2. Мартенситом называют:**

- 1) механическую смесь феррита с цементитом;
- 2) перенасыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе;
- 3) твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе;
- 4) химическое соединение железа с углеродом.

**3. Наиболее твердой является структура:**

- 1) троостит;
- 2) феррит;
- 3) сорбит;
- 4) мартенсит.

**4. Наиболее хрупкой является структура:**

- 1) сорбит;
- 2) троостит;
- 3) перлит;
- 4) мартенсит.

**5. Структурой бездиффузионного превращения аустенита является:**

- 1) цементит;
- 2) троостит;
- 3) мартенсит;
- 4) сорбит.

**6. Меньшую по сравнению с сорбитом твердость имеет структура:**

- 1) мартенсит;
- 2) цементит;
- 3) троостит;
- 4) перлит.

**7. Наименьшая скорость охлаждения при термической обработке может быть получена:**

- 1) на воздухе;
- 2) вместе с печью;
- 3) в воде;
- 4) в масле.

**8. При закалке углеродистой стали используют воду в качестве охлаждающей среды для получения следующей структуры:**

- 1) цементита;
- 2) сорбита;
- 3) троостита;
- 4) мартенсита.

**9. Критическая скорость закалки это:**

- 1) наименьшая скорость получения мартенсита;
- 2) скорость, при которой образуется сорбит;
- 3) характеристика охлаждающей среды;
- 4) наибольшая из возможных скоростей охлаждения.

**10. Нагрев стали на 30–50 °С выше температуры  $A_{C3}$  с последующим охлаждением на воздухе соответствует:**

- 1) заалке;
- 2) нормализации;
- 3) отпуску;
- 4) диффузионному отжигу.

**11. Неполная заалка представляет:**

- 1) нагрев стали выше линии *GS* диаграммы, выдержка и быстрое охлаждение;
- 2) нагрев стали выше линии *PSK*, выдержка и быстрое охлаждение;
- 3) нагрев стали выше линии *GSE* диаграммы, выдержка и быстрое охлаждение;
- 4) заалка только поверхности детали.

**12. Отпуском называют:**

- 1) нагрев стали выше линии *GSK* с быстрым охлаждением;
- 2) нагрев закаленной стали до температур ниже линии *PSK* с последующим охлаждением;
- 3) нагрев стали выше линии *GSK* с медленным охлаждением;
- 4) нагрев закаленной стали выше линии *GSE* с медленным охлаждением.

**13. Нагрев заэвтектоидной стали выше линии *PSK* на 30–50 °С, выдержка с последующим охлаждением в воде соответствует:**

- 1) полной заалке;
- 2) нормализации;
- 3) отжигу;
- 4) неполной заалке.

**14. Нагрев заэвтектоидной стали выше линии *SE* на 30– 50 °С, выдержка с последующим охлаждением на воздухе соответствует:**

- 1) полной заалке;
- 2) нормализации;
- 3) отжигу;
- 4) неполной заалке.

**15. Сталь У13, нагретая до температуры 650 °С и охлажденная в масле, будет иметь структуру:**

- 1) мартенсит + цементит вторичный;
- 2) троостит;
- 3) перлит + цементит вторичный;
- 4) сорбит.

**16. Температура нагрева полной заалки стали 40 составляет:**

- 1) 650 °С;
- 2) 750 °С;
- 3) 850 °С;
- 4) 1050 °С.

**17. Температура заалки стали У11 составляет:**

- 1) 1147 °С;
- 2) 910 °С;
- 3) 780 °С;
- 4) 560 °С.

**18. Температура среднего отпуска стали составляет:**

- 1) 910 °С;
- 2) 780 °С;
- 3) 600 °С;
- 4) 400 °С.

**19. Сталь У12 после заалки имеет структуру:**

- 1) перлит + цементит вторичный;
- 2) мартенсит + феррит;
- 3) мартенсит;
- 4) мартенсит + цементит вторичный.

**20. Сталь 50 после полной заалки имеет твердость:**

- 1) 35 HRC;
- 2) 16 HRC
- 3) 55 HRC;
- 4) 10 HRC.

**21. Сталь У10 после нормализации имеет структуру:**

- 1) феррит + перлит;
- 2) мартенсит + цементит вторичный;

- 3) мартенсит + феррит;
- 4) перлит + цементит вторичный.

**22. Сталь 45 после закалки и среднего отпуска имеет структуру:**

- 1) сорбит отпуска;
- 2) мартенсит отпуска;
- 3) троостит отпуска;
- 4) мартенсит отпуска + цементит вторичный.

**23. Сталь У8 после закалки и высокого отпуска имеет структуру:**

- 1) мартенсит отпуска;
- 2) сорбит отпуска;
- 3) троостит отпуска;
- 4) мартенсит отпуска + цементит вторичный.

**24. Закаленная сталь У10 после низкого отпуска имеет твердость:**

- 1) 10 HRC;
- 2) 60 HRC;
- 3) 42 HRC;
- 4) 33 HRC.

**25. Сталь У12 после закалки и низкого отпуска имеет структуру:**

- 1) мартенсит отпуска;
- 2) мартенсит отпуска + цементит;
- 3) сорбит отпуска;
- 4) троостит отпуска.

**26. После закалки напильника из стали У11 проводят:**

- 1) отжиг;
- 2) высокий отпуск;
- 3) низкий отпуск;
- 4) нормализацию.

**27. Закалку со средним отпуском проводят:**

- 1) сверла;
- 2) метчика;
- 3) пружины;
- 4) напильника.

**28. Сорбитную структуру имеет:**

- 1) шестерня коробки передач;
- 2) лист рессоры;
- 3) шатун;
- 4) крестовина карданного вала.

**29. Процесс цементации заключается:**

- 1) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 3) в насыщении поверхностного слоя углеродом с бором;
- 4) в насыщении поверхностного слоя углеродом и азотом.

**30. Цементации подвергают сталь:**

- 1) 60;
- 2) У10;
- 3) 20;
- 4) 40Х13.

**31. После цементации проводится термическая обработка:**

- 1) закалка + низкий отпуск;
- 2) неполная закалка;
- 3) отжиг;
- 4) нормализация.

**32. Температура цементации стали равна:**

- 1) 210 °С;
- 2) 727 °С;
- 3) 1147 °С;
- 4) 920 °С.

**33. Структура стали после цементации и закалки представляет:**

- 1) на поверхности – цементит, в сердцевине феррит и аустенит;
- 2) на поверхности – мартенсит, в сердцевине – феррит и перлит;
- 3) на поверхности – перлит и цементит, в сердцевине – мартенсит;
- 4) на поверхности – аустенит, в сердцевине – перлит.

**34. Процесс нитроцементации заключается:**

- 1) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом в жидкой среде;

- 3) в насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом в газовой среде;
- 4) в насыщении поверхностного слоя углеродом.

**35. Процесс азотирования заключается:**

- 1) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя азотом;
- 3) в насыщении поверхностного слоя бором;
- 4) в насыщении поверхностного слоя азотом и углеродом.

**36. Азотирование проводится при температуре:**

- 1) 550 °С;
- 2) 727 °С;
- 3) 910 °С;
- 4) 1400 °С.

**37. Диффузионная металлизация стали заключается:**

- 1) в насыщении поверхностного слоя углеродом;
- 2) в насыщении поверхностного слоя стали различными газами;
- 3) в насыщении поверхностного слоя стали различными металлами;
- 4) в насыщении поверхностного слоя стали окислами металлов.

**38. Поверхностный слой стали при индукционном нагреве представляет:**

- 1) аустенит;
- 2) цементит и перлит;
- 3) перлит;
- 4) феррит и перлит.

**39. Для поверхностной закалки применяют сталь:**

- 1) 10;
- 2) 45;
- 3) У11;
- 4) Ст6сп.

**40. Индукционная закалка проводится:**

- 1) нагревом токами высокой частоты;
- 2) нагревом токами промышленной частоты;

- 3) нагревом в среде электролита;
- 4) нагревом в расплавах металлов.

## Тема 5. Инструментальные материалы и цветные металлы

**1. К инструментальным материалам относят:**

- 1) твердые сплавы;
- 2) стали специального назначения;
- 3) конструкционные качественные стали;
- 4) белые чугуны.

**2. Твердые сплавы получают:**

- 1) методами литья;
- 2) методами порошковой металлургии;
- 3) обработкой резанием;
- 4) методами сварки.

**3. Инструментальной штамповой сталью является:**

- 1) У12;
- 2) 30Х13;
- 3) 5ХНМ;
- 4) Ст2кп.

**4. Инструментальной быстрорежущей сталью является:**

- 1) У10;
- 2) 65Г;
- 3) 12Х18Н10Т;
- 4) Р18.

**5. Укажите марку инструментальной быстрорежущей стали:**

- 1) У13А;
- 2) 5ХНВ;
- 3) 1Х18Н10;
- 4) Р9М5.

**6. Быстрорежущие стали после закалки подвергают:**

- 1) нормализации;
- 2) отжигу;

- 3) многократному отпуску;
- 4) улучшению.

**7. Быстрорежущая инструментальная сталь обозначается:**

- 1) P6M5K5;
- 2) 65Г;
- 3) 12X18H10T;
- 4) У9А.

**8. Наибольшей теплостойкостью обладают:**

- 1) твердые сплавы;
- 2) инструментальные стали;
- 3) сверхтвердые материалы;
- 4) стали специального назначения.

**9. Измерительный инструмент изготавливают из стали:**

- 1) P9M4;
- 2) 65Г;
- 3) ХВГ;
- 4) 18ХГТ.

**10. К низколегированным инструментальным сталям относят:**

- 1) P6M5;
- 2) 65Г;
- 3) 12X18H10T;
- 4) 9ХС.

**11. Твердые однокарбидные сплавы обозначают:**

- 1) P6M5;
- 2) BK3;
- 3) T15K6;
- 4) 18ХГТ.

**12. Твердые металлокерамические сплавы применяют:**

- 1) для измерительного инструмента;
- 2) для холодной штамповки;
- 3) для черновой обработки резанием;
- 4) для штампов горячего деформирования.

**13. К сверхтвердым материалам относятся:**

- 1) высокопрочный чугуи;
- 2) двухкарбидный твердый сплав;
- 3) быстрорежущая сталь;
- 4) эльбор.

**14. Силумин маркируют:**

- 1) БрАЖ9-4;
- 2) Л90;
- 3) КЧ37-12;
- 4) АК12.

**15. Дюралюмин маркируют:**

- 1) Л80;
- 2) Д16;
- 3) Т15К6;
- 4) СЧ30.

**16. В бронзе БрОЦС3-12-5 содержание меди составляет:**

- 1) 3 %;
- 2) 5 %;
- 3) 12 %;
- 4) 80 %.

**17. 30 % цинка содержится в сплавах:**

- 1) БрОЗЦ12С5;
- 2) Л70;
- 3) ЛС 59 - 1;
- 4) БрС30.

**18. Латунью является сплав меди с:**

- 1) железом;
- 2) свинцом;
- 3) оловом;
- 4) цинком.

**19. Сплав Б83 является:**

- 1) бронзой с 83 % олова;
- 2) баббитом с 17 % олова;
- 3) бронзой с 83 % меди;
- 4) баббитом с 83 % олова.

**20. Подшипники скольжения изготавливают из сплава:**

- 1) БрБ2;
- 2) Б83;
- 3) Л68;
- 4) АК12.

**21. Для получения литых деталей применяют сплав:**

- 1) АК9;
- 2) ВК6;
- 3) Д16;
- 4) БрС30.

**22. Сплавом алюминия с кремнием является:**

- 1) бронза;
- 2) латунь;
- 3) силумин;
- 4) дюралюмин.

**23. Сплав меди с цинком называется:**

- 1) бронза;
- 2) латунь;
- 3) дуралюмин;
- 4) силумин.

**24. Сплав меди с оловом называется:**

- 1) бронза;
- 2) латунь;
- 3) дюралюмин;
- 4) силумин.

**25. Алюминий имеет следующую кристаллическую решетку:**

- 1) объемно-центрированную кубическую;
- 2) тетрагональную;
- 3) гранецентрированную;
- 4) гексагональную.

**26. Медь имеет следующую кристаллическую решетку:**

- 1) объемно-центрированную кубическую;
- 2) гранецентрированную;
- 3) гексагональную;
- 4) тетрагональную.

**27. Температура плавления алюминия равна:**

- 1) 1083 °С;
- 2) 660 °С;
- 3) 419 °С;
- 4) 232 °С.

**28. Температура плавления меди равна:**

- 1) 1083 °С;
- 2) 660 °С;
- 3) 419 °С;
- 4) 232 °С.

**29. В сплаве БрАЖ 9-4 содержание меди составляет:**

- 1) 4 %;
- 2) 13 %;
- 3) 9 %;
- 4) 87 %.

**30. Структура антифрикционных подшипниковых сплавов:**

- 1) пластичная;
- 2) твердая;
- 3) мягкая основа с твердыми включениями;
- 4) вязкая.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Учебное издание позволяет студентам заочной формы обучения самостоятельно и в короткие сроки освоить основы материаловедения.

Изучение раздела «Материаловедение» с использованием приведенных в пособии базового материала и тестовых заданий дает возможность студентам агротехнических специальностей осуществлять индивидуальную подготовку к сдаче зачетов и экзаменов и будет полезным при выборе необходимых конструкционных и инструментальных материалов для изготовления различных деталей сельскохозяйственной техники.

## ЛИТЕРАТУРА

---

1. *Андрушевич, А. А.* Материаловедение: учебно-методический комплекс / А. А. Андрушевич, Т. К. Романова. – Минск : БГАТУ, 2008. – 192 с.
2. *Андрушевич, А. А.* Материаловедение : лабораторный практикум / А. А. Андрушевич [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2009. – 180 с.
3. *Арзамасов, Б. Н.* Материаловедение : учебник для вузов / Б. Н. Арзамасов [и др.]; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина. – Изд. 8-е, стереотип. – Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 648 с.
4. *Арзамасов, В. Б.* Материаловедение : учебник для вузов / В. Б. Арзамасов, А. А. Черепакин. – Москва : Издательство «Экзамен», 2009. – 350 с.
5. *Гуляев, А. П.* Металловедение : учебник для вузов / А. П. Гуляев. – Изд. 6-е, перераб. и доп. – Москва : Металлургия, 1986. – 544 с.
6. *Евстратова, Н. Н.* Материаловедение : учебное пособие / Н. Н. Евстратова, В. Т. Компанец, В. А. Сухарникова. – Ростов н/Д : Феникс, 2006. – 268 с.
7. *Капцевич, В. М.* Материаловедение и технология конструкционных материалов : методические указания к лабораторным работам для студентов заочной формы обучения / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2008. – 105 с.
8. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение : учебник для вузов / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1990. – 528 с.
9. *Ржевская, С. В.* Материаловедение : учебник для вузов / С. В. Ржевская. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – Москва : Логос, 2004. – 424 с.
10. *Фетисов, Г. П.* Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов / Г. П. Фетисов [и др.]. – М. : Высшая школа, 2005. – 861 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

*Пособие*

Составители:

**Андрушевич** Андрей Александрович,  
**Романова** Татьяна Константиновна,  
**Корнеева** Валерия Константиновна,  
**Капцевич** Вячеслав Михайлович

Ответственный за выпуск *В. М. Капцевич*  
Редактор *Н. А. Антипович*  
Компьютерная верстка *А. И. Стебули*

Подписано в печать 05.08.2011 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 3,95. Уч.-изд. л. 3,09. Тираж 150 экз. Заказ 735.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
ЛИ № 02330/0552984 от 14.04.2010.  
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.  
Пр. Независимости, 99–2, 220023, Минск.