

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Технология машиностроения»

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Методические указания**  
к выполнению практических работ  
по дисциплинам «Материаловедение»  
и «Материаловедение и технология  
конструкционных материалов»  
для студентов Политехнического института  
и Института ядерной энергии и промышленности  
дневной и заочной форм обучения

Севастополь  
СевГУ  
2022

УДК 669.018.29(076.5)  
ББК 34.43я73  
М34

**Р е ц е н з е н т :**

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

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

**М34    Материаловедение. Технология конструкционных материалов** : методические указания к выполнению практических работ по дисциплинам «Материаловедение» и «Материаловедение и технология конструкционных материалов» для студентов Политехнического института и Института ядерной энергии и промышленности дневной и заочной форм обучения / Севастопольский государственный университет, Политехнический институт, кафедра «Технология машиностроения» ; сост.: Л. Б. Шрон, Э. С. Гордеева, А. Г. Колесов. – Севастополь : СевГУ, 2022. – 74 с. – Текст : электронный.

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

УДК 669.018.29(076.5)  
ББК 34.43я73

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

© ФГАОУ ВО «Севастопольский  
государственный университет», 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 1. Практическая работа 1 | 4  |
| 2. Практическая работа 2 | 6  |
| 3. Практическая работа 3 | 8  |
| 4. Практическая работа 4 | 10 |
| 5. Практическая работа 5 | 14 |
| 6. Практическая работа 6 | 22 |
| 7. Практическая работа 7 | 31 |
| 8. Практическая работа 8 | 36 |
| 9. Практическая работа 9 | 41 |
| Библиографический список | 46 |
| Приложение А             | 47 |
| Приложение Б             | 51 |
| Приложение В             | 54 |
| Приложение Г             | 56 |
| Приложение Д             | 58 |
| Приложение Е             | 60 |
| Приложение Ж             | 63 |
| Приложение И             | 68 |
| Приложение К             | 70 |

## Практическая работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ И СРАВНЕНИЕ ТВЕРДОСТИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепление теоретического материала по методам определения твердости. Получение навыков работы со справочными таблицами определения и сравнения твердости.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Под твердостью металла понимают сопротивление, оказываемое материалом при вдавливании в него более твердого тела. Вдавливаемый предмет при использовании прибора-твердомера называется индентором.

Наибольшее распространение получили статические методы испытания. К ним относятся методы Бринелля, Роквелла и Виккерса.

Число твердости по Бринеллю определяется как отношение нагрузки  $P$ , передаваемой через шарик на образец, к площади отпечатка, полученного от внедрения индентора:

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

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

По методу Бринелля, применяя индентор из закаленной стали, можно измерять твердость пластмасс, цветных и черных металлов и сплавов в пределах от 8 до 450 единиц HB.

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

Твердость вычисляется, как безразмерная величина по формуле:

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

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

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

Испытание на твердость по методу Виккерса производят вдавливанием в испытуемый образец четырехгранной алмазной пирамиды с углом при вершине  $136^\circ$ , под действием нагрузок 10, 30, 50, 100, 200, 300, 500, 1000 и 1200Н.

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

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

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

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

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Изучить приведенный теоретический раздел.

3.2. Выбрать и записать вариант индивидуального задания в таблицы 1, используя таблицы А1.

3.3. Определить метод измерения твердости, вид индентора и описать предлагаемые методы.

3.4. Сравнить предложенные изделия по твердости, используя таблицу перевода твердостей А2. Сделать выводы.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика твердости различных изделий

| Вариант задания | Наименование изделия | Обозначение твердости | Метод измерения | Вид индентора |
|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------|---------------|
|                 |                      |                       |                 |               |

3.5. Сделать выводы по работе.

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Наименование работы.

4.2. Цель работы.

4.3. Вариант индивидуального задания.

4.4. Таблица 1 – Сравнительная характеристика твердости различных изделий.

4.5. Выводы по работе.

### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Что такое твердость?

5.2. Какой индентор используется на приборе Бринеля?

5.3. Как обозначается твердость по методу Бринеля?

5.4. Какой индентор используется на приборе Роквелла?

5.5. Как обозначается твердость по методу Роквелла?

5.6. Какой индентор используется на приборе Виккерса?

5.7. Как обозначается твердость по методу Виккерса?

## Практическая работа № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Расчет характеристик основных механических материалов (прочности и пластичности).
2. По диаграмме растяжения рассчитать все характеристики прочности.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

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

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

Любая механическая нагрузка, действующая на материал, вызывает в нем напряжение  $\sigma$ , которое вычисляется по формуле

$$\sigma = P / F, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где  $P$  – действующая нагрузка, Н;  $F$  – площадь сечения образца, мм<sup>2</sup>.

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

$$\sigma_B = P_B / F_0$$

По результатам таких испытаний вычисляют также характеристики и пластичности:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%, \quad (2)$$

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

#### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Изучить приведенный теоретический раздел.
- 3.2. Выбрать и записать вариант индивидуального задания в таблицы 1, используя таблицы Б1.
- 3.3. Рассчитать предел прочности и относительное удлинение по формулам 1 и 2 теоретического раздела. Результаты занести в таблицу 1.
- 3.4. Сравнить механические характеристики прочности и пластичности предложенных материалов.
- 3.5. По диаграмме растяжения, выданной преподавателем, определить величину прочностных характеристик ( $\sigma_{пр}$ ;  $\sigma_{0,05}$ ;  $\sigma_{0,2}$ ;  $\sigma_B$ ).

Таблица 1 – Результаты расчета прочности и пластичности

| №<br>вар | Материал | Параметры образцов      |               |               | $R_B$ ,<br>Н | $\sigma_B$ ,<br>МПа | $\delta$ , % |
|----------|----------|-------------------------|---------------|---------------|--------------|---------------------|--------------|
|          |          | $F_0$ , мм <sup>2</sup> | $L_0$ ,<br>мм | $L_K$ ,<br>мм |              |                     |              |
|          |          |                         |               |               |              |                     |              |
|          |          |                         |               |               |              |                     |              |
|          |          |                         |               |               |              |                     |              |
|          |          |                         |               |               |              |                     |              |

3.6. Сделать выводы по работе.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Наименование работы.

4.2. Цель работы.

4.3. Вариант индивидуального задания.

4.4. Таблица 1 – Результаты расчета прочности и пластичности.

4.5. Расчет предела пропорциональности, упругости, текучести. По диаграмме растяжения.

4.6. Выводы по работе.

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Дайте определение статической прочности.

5.2. Что такое пластичность?

5.3. Назовите характеристики прочности, дайте определения и приведите их размерность.

5.4. Назовите характеристики пластичности и приведите их размерности.

## Практическая работа № 3

# ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ И НАГРЕВА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение влияния пластической деформации и нагрева на структуру и свойства металлов. Определение температуры рекристаллизационного отжига.

### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

При деформации металла в холодном состоянии образуется наклеп – упрочнение металла, которое объясняется увеличением числа дефектов кристаллического строения (дислокаций, межузельных атомов). Также при наклепе изменяется структура зерен в поверхностном слое с равноосной на текстуру.

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

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

Температура начала рекристаллизации находится в определенной зависимости от температуры плавления материала. Это минимальная температура, при которой происходит зарождение новых равноосных зерен на границе текстуры:

$$T_{\text{рек}} = \alpha \cdot T_{\text{пл}}, \text{ } ^\circ\text{K} \quad (1)$$

где  $T_{\text{рек}}$  – абсолютная температура рекристаллизации,  $^\circ\text{K}$

$T_{\text{пл}}$  – абсолютная температура плавления материала,  $^\circ\text{K}$

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий чистоту металла;

$\alpha = (0,1 \dots 0,4)$  – для чистых металлов (для технически чистых металлов  $\alpha = 0,4$ ),

$\alpha = (0,6 \dots 0,8)$  – для сплавов

$$t_{\text{р.о.}} = (T_{\text{рек}} - 273) + (100 \dots 150) \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{р.о.}}$  – оптимальная температура рекристаллизационного отжига,  $^\circ\text{C}$ ;

$T_{\text{рек}}$  – абсолютная температура рекристаллизации, выраженная в  $^\circ\text{K}$ .

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Изучить приведенный теоретический раздел.

3.2. Выбрать и записать вариант индивидуального задания, используя таблицу В1.

3.3. Рассчитать температуру рекристаллизации предложенных материалов по формуле 1.

3.4. Определить температуру рекристаллизационного отжига по формуле 2.

3.5. По заданным температурам деформации определить будет ли возникать наклеп при такой температуре?

3.5. Построить график рекристаллизационного отжига с обозначением зеренной структуры.

#### **4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

4.1. Наименование работы.

4.2. Цель работы.

4.3. Вариант индивидуального задания.

4.4. Расчет температуры рекристаллизации.

4.5. Расчет температуры рекристаллизационного отжига.

4.6. Графики рекристаллизационного отжига предложенных материалов с обозначением температур и зеренных структур.

4.7. Заключение о возникновении наклепа в деформируемых при заданной температуре материалах.

4.8. Выводы по работе.

#### **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

5.1. Что такое наклеп?

5.2. Как меняется зеренная структура при наклепе?

5.3. Как восстановить структуру и свойства, которые металл имел до возникновения наклепа?

5.4. Что такое температура рекристаллизации?

5.5. Какое практическое значение имеет температура рекристаллизации?

5.6. Как определяется температура рекристаллизации?

5.7. Как определить температуру рекристаллизационного отжига?

5.8. Происходит ли упрочнение металла при горячей пластической деформации?

5.9. При какой температуре осуществляется горячая пластическая деформация?

5.10. Назовите недостатки наклепанного металла.

## Практическая работа № 4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СООТНОШЕНИЯ ФАЗ В СПЛАВЕ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучение диаграммы состояния «Железо – карбид железа».

1.2. Приобретение практических навыков в определении фазового состава и соотношения фаз в сплаве по правилу отрезков.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

В зависимости от температуры и содержания углерода, железоуглеродистые сплавы образуют следующие фазы и структурные составляющие:

1. Жидкая фаза – жидкий раствор углерода в железе.

2. Твердые фазы:

2.1. Феррит (Ф) - твёрдый раствор углерода в  $\alpha$ -железе. Он имеет ОЦК решётку. Максимальная растворимость углерода при 727 °С составляет 0,02 %, при комнатной температуре – 0,006 %, обладает самой низкой прочностью из всех фаз и структурных составляющих, но очень пластичен и вязок (HB80,  $\sigma_B = 250$  МПа;  $\delta = 50$  %;  $\psi = 80$  %)

2.2. Аустенит (А) – твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе. Он имеет ГЦК – решётку. Максимальная растворимость углерода при  $t = 1147$  °С составляет 2,14 %; он более твердый и прочный по сравнению с ферритом (HB160;  $\sigma_B = 700$  МПа,  $\delta = 40 \dots 50$  %).

2.3. Цементит (Ц) – химическое соединение  $Fe_3C$  – карбид железа. В нём содержится 6,67 % углерода. Цементит обладает высокой твёрдостью HB $\geq$ 800, очень низкой пластичностью, хрупкостью.

В зависимости от условий существования различают цементит первичный Ц<sub>1</sub>, который образуется из жидкости при затвердевании расплава; вторичный Ц<sub>2</sub> – образуется при распаде аустенита; третичный Ц<sub>3</sub> – образуется при выделении углерода из феррита.

2.4. Перлит (П) - механическая смесь (эвтектоид) феррита (88%) и цементита (12%), содержащая 0,8 % углерода; образуется при 727 °С в результате распада аустенита в процессе его охлаждения. Он обладает высокой прочностью по сравнению с аустенитом и ферритом (HB160...200,  $\sigma_B = 800$  МПа;  $\delta = 15$  %).

2.5. Ледебурит (Л) – механическая смесь (эвтектика) аустенита и цементита, образуется из жидкого расплава при  $t = 1147$  °С при содержании углерода 4,3 %. Очень твердый и хрупкий (HB600...700). Так, как при температуре ниже 727 °С аустенит превращается в перлит, то ледебурит при таких температурах (<727 °С) состоит из перлита и цементита.

Феррит, аустенит, цементит называются равновесными фазами железо – углеродистых сплавов. В то же время феррит, аустенит, цементит, перлит, ледебурит являются структурными составляющими.

Диаграмма состояния « Железо – карбид железа» построена в координатах температура – содержание углерода. Она представляет собой графическое изображение состояния сплавов.

Механические свойства сплава зависят от его состава и строения. Зная структуру сплава при комнатной температуре и свойства структурных составляющих, можно судить о свойствах сплава.

На рисунке 1 приложения В представлена диаграмма «Железо – карбид железа».

### **КРАТКИЙ АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ « ЖЕЛЕЗО – КАРБИД ЖЕЛЕЗА» Основные линии фазовых превращений**

1. Линия ACD – линия ликвидус. Выше нее сплавы находятся в жидком состоянии.

2. Линия ACF – линия солидус. Выше нее сплавы находятся в жидкотвердом состоянии, ниже – в твердом.

3. Линия ECF – ледебуритная эвтектическая линия.

4. Линия PSK – перлитная эвтектоидная линия.

5. Линия ES – линия переменной растворимости углерода в аустените.

6. линия PQ – линия переменной растворимости углерода в феррите.

7. Линия GS и линия PG – линии начала и конца превращения аустенита в феррит соответственно.

### **Основные фазовые области**

На диаграмме различают однофазные и двухфазные области.

1. Однофазные области:

- жидкий раствор углерода в железе – выше линии ликвидус.
- аустенитная область (А) – область, заключенная между точками А,Е,С,Г;
- Ферритная область (Ф) – область, заключенная между точками QPG.

2. Двухфазные области:

2.1. Жидко – твёрдая область:

- жидкость + аустенит – область, заключенная между точками А, С, Е;
- жидкость + цементит – область, заключенная между точками С, Д, F.

2.2. Феррит + аустенит – область, заключенная между точками Р, S, G.

2.3. Цементит + аустенит – область, заключенная между точками F, Е, S, К.

2.4. Феррит + цементит – область, заключенная между точками К, S, Р, Q, L.

### **Правило отрезков**

Это правило справедливо для любой двухфазной области диаграммы. Оно разбивается на два подправила – правило каноды и правило рычага.

Правило каноды позволяет определить фазовый состав сплава, т.е. содержание углерода в каждой фазе.

Правило рычага позволяет определить соотношение фаз в сплаве, количество в процентном отношении каждой фазы.

### Правило каноды

Для определения состава фаз на диаграмме «Железо – карбид железа» необходимо сделать следующие построения:

1. На оси концентраций углерода найти точку с заданной концентрацией углерода. Из этой точки восстановить перпендикуляр.
2. На оси температур найти точку с заданной температурой. Через эту точку провести каноду – линию, параллельную оси концентраций углерода.
3. Найти точку пересечения каноды с перпендикуляром и определить какие фазы содержит сплав в этой точке.
4. Найти точки пересечения каноды с линиями диаграммы, в исследуемой двухфазной области.
5. Опустить перпендикуляры из этих точек на ось концентраций углерода. Количество углерода в этих точках соответствует количеству углерода в фазах.

### Правило рычага

Для определения соотношения фаз необходимо выполнить следующее:

1. Рассмотреть отрезки, образовавшиеся от пересечения каноды с линиями диаграммы в исследуемой двухфазной области и перпендикуляром.
2. Определить длины этих отрезков.
3. Найти соотношение фаз в сплаве – соотношение длин отрезков.

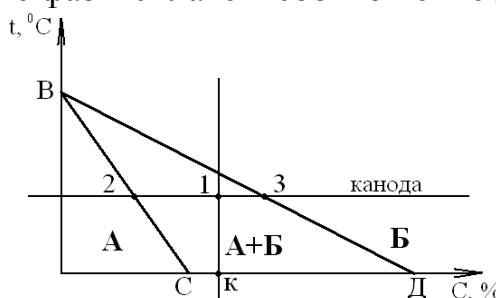


Рисунок 1 – Пример нахождения соотношения фаз в сплаве

Ниже линии ВС находится область с фазой А, выше линии ВД находится область с фазой В.

Для сплава с содержанием углерода, соответствующим точке К, длина отрезка 1-2 соответствует количеству фазы В, длина отрезка 1-3 соответствует количеству фазы А.

Соотношение фаз:

$$\text{Фаза В} / \text{Фаза А} = \text{Длина отрезка 1-2} / \text{Длина отрезка 1-3}.$$

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Выписать индивидуальное задание, используя таблицу Г1. Вариант задания соответствует порядковому номеру студента в групповом журнале.

3.2. Вычертить диаграмму «Железо – карбид железа» и проанализировать ее.

3.3. Для сплава с заданным содержанием углерода описать превращения, происходящие при охлаждении сплава от расплавленного состояния до комнатной температуры.

3.4. Определить какую микроструктуру и фазы имеет сплав при заданной температуре. Дать характеристику этих фаз. Указать, как такой сплав называется.

3.5. По правилу каноны определить количество углерода в каждой фазе при заданной температуре.

3.6. По правилу рычага определить соотношение этих фаз при заданной температуре.

3.7. Сделать вывод по изменению фазового состава и соотношения фаз при комнатной и заданной температурах.

#### **4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

4.1. Наименование работы.

4.2. Цель работы.

4.3. Вариант индивидуального задания.

4.4. Диаграмма состояния «Железо – карбид железа» и ее анализ.

4.5. Описание превращений в сплаве, происходящих при охлаждении сплава от температуры плавления до комнатной температуры.

4.6. Описание микроструктуры и фаз сплава при заданной температуре и их характеристика.

4.7. Расчет количества углерода в каждой фазе при заданной температуре по правилу каноны.

4.8. Расчет соотношения фаз сплава при заданной температуре по правилу рычага.

4.9. Вывод по работе.

#### **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

5.1. Практическое значение диаграммы «Железо – карбид железа».

5.2. Что такое критические точки диаграммы?

5.3. Что такое фаза?

5.4. Назовите однофазные области диаграммы.

5.5. Назовите двухфазные области диаграммы.

5.6. Назовите твердые фазы железоуглеродистых сплавов.

5.7. Дайте определение феррита.

5.8. Дайте определение аустенита.

5.9. Дайте определение цементита.

5.10. Дайте определение перлита.

5.11. Дайте определение ледебурита.

5.12. Какие фазы содержит сплав с содержанием углерода 0,5 % при комнатной температуре?

5.13. Какие фазы содержит сплав с содержанием углерода 0,5 % при температуре 750 °С?

5.14. Какие фазы содержит сплав с содержанием углерода 2,5 % при комнатной температуре?

## Практическая работа № 5

### КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ И ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с маркировкой черных металлов и твердых сплавов, их составом, назначением и свойствами.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Конструкционными называются материалы, предназначенные для изготовления деталей машин, конструкций и сооружений.

Инструментальными называются материалы, обладающие высокой твердостью, прочностью и износостойкостью и, применяемые для изготовления различного инструмента.

Требования, предъявляемые к инструментальным материалам, зависят от вида изготавливаемых из них инструментов: режущие, ударно-штамповые или измерительные.

#### 2.1. МАРКИРОВКА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Таблица 1 – Идентификаторы легирующих элементов

| Буквенное обозначение | Легирующий элемент | Буквенное обозначение | Легирующий элемент       |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1                     | 2                  | 3                     | 4                        |
| А*                    | N –азот            | Н                     | Ni – никель              |
| Б                     | Nb –ниобий         | Р                     | В – бор                  |
| В                     | W – вольфрам       | С*                    | Si–кремний,<br>Pb-свинец |
| Г                     | Mn – марганец      | Т                     | Ti – титан               |
| Д                     | Cu – медь          | Ф                     | V – ванадий              |
| Е                     | Se – селен         | Х                     | Cr – хром                |
| К                     | Co – кобальт       | Ц                     | Zr – цирконий            |
| Л*                    | Li – литий         | Ч                     | редкоземельные           |
| М                     | Mo – молибден      | Ю                     | Al – алюминий            |

Примечания: \* буква А и Л обозначают азот и литий соответственно, если они стоят в середине буквенного обозначения марки; буква С обозначает свинец, если это сталь автоматная

##### 2.1.1. Конструкционные углеродистые стали

##### Стали обыкновенного качества (ГОСТ 380-94)

Маркируют сочетанием букв «Ст» и цифрой (от 0 до 6), показывающей номер марки стали в ГОСТе, чем выше номер, тем в стали больше углерода. Например: Ст1, Ст3

Эти стали поставляются по трем группам:

- группа А. Ст0...Ст6 – поставляются потребителю по механическим свойствам.

- группа Б. Ст1...Ст6 – поставляется потребителю по химическому составу.
- группа В. Ст2...Ст6 – поставляется потребителю по химическому составу и механическим свойствам.

Стали групп Б и В имеют в начале марки буквы Б или В, указывающие на их принадлежность к этим группам. Группа А в обозначении марки не указывается.

Степень раскисления обозначается добавлением в конце марки индексов: полуспокойных – «пс», кипящих – «кп». Если индекса нет – сталь спокойная. Например: Ст3сп, БСт2пс, ВСт3кп.

### **Качественные стали (ГОСТ 1050-88)**

Эти стали маркируются двузначными числами, обозначающими среднее содержание углерода в сотых долях процента. Например, сталь 10 содержит в среднем 0,1% углерода, сталь 45 – 0,45 % углерода, сталь 08 – 0,08 % углерода и т.п. Спокойные стали маркируют без индекса, полуспокойные и кипящие с индексами «пс» и «кп» соответственно.

### **Высококачественные стали (ГОСТ 1050-88)**

Маркируются также, как качественная, но в конце марки ставится буква А. Например: 20А.

### **Особовысококачественные стали (ГОСТ 1050-88)**

Особовысококачественные маркируются аналогично качественным, но в конце марки через тире могут стоять следующие буквы: Ш – получена электрошлаковым переплавом. Например 40-Ш.

СШ – обработана синтетическим шлаком. Например 40-СШ.

ЭЛ – получена электронно-лучевым переплавом. Например 45-ЭЛ.

ВД – получена вакуумно-дуговым переплавом. Например 50-ВД.

## **2.1.2. Конструкционные легированные стали**

(ГОСТ 4543-71)

Разрабатываются на базе углеродистых конструкционных сталей введением в состав легирующих компонентов, обеспечивающих специфические эксплуатационные свойства.

В связи с этим легированные конструкционные стали маркируются как и углеродистые двузначным числом в начале марки, которое обозначает среднее содержание углерода в сотых долях процента, далее стоят буквы, указывающие на легирующие компоненты. После каждой буквы стоит цифра, указывающая на количество данного легирующего элемента. Если после буквы нет цифры, то среднее количество этого элемента составляет около 1%. Легирующие элементы обозначаются буквами русского алфавита. Идентификаторы легирующих элементов указаны в таблице 1.

В начале марок легированных сталей может стоять 0 или 00. Один ноль показывает, что углерода в марке содержится не более 0,08%, а два ноля – не более 0,04%. Например 0X18H11, 00X18H10.

Легированные стали могут быть качественными, высококачественными и особовысококачественными.

Буква А, стоящая в конце марки обозначает, что сталь высококачественная.

Все высоколегированные конструкционные стали ( $\geq 10\%$  легирующих элементов) являются высококачественными, буква А в конце марки не ставится.

В особовысококачественных сталях в конце марки через тире могут стоять буквы -Ш, -ЭШ, -ВД, -ЭЛ.

### 2.1.3. Стали с особой маркировкой

**Шарикоподшипниковые стали** (ГОСТ 801-78). В начале марки стоит буква Ш, указывающая на то, что сталь шарикоподшипниковая. Углерода в этих сталях около 1 %. Основным легирующим элементом является хром. Его количество указывается цифрой, стоящей после буквы Х в десятых долях процента. Качество этих сталей не ниже высокого. Например ШХ15 – шарикоподшипниковая сталь, содержащая около 1 % углерода и 1,5 % хрома, высококачественная. ШХ15СГ-Ш – шарикоподшипниковая сталь, содержащая около 1 % углерода, 1,5 % хрома, 1 % кремния, 1 % марганца, особовысококачественная (электрошлаковый переплав).

**Автоматные** (ГОСТ1414-75). В начале марки стоит буква А, указывающая на то, что сталь автоматная. Цифра в маркировке автоматной стали указывает на среднее содержание углерода в сотых долях процента.

Автоматные стали могут быть сернистые, свинцовосодержащие, селеносодержащие и кальцийсодержащие.

В сернистых сталях повышено содержание серы (0,08 – 0,3%). Для устранения красноломкости в этих сталях увеличено количество марганца (0,7 – 1,55%). Например: А12, А20, А30.

Свинцовосодержащие стали подразделяют на углеродистые с повышенным содержанием серы (АС14, АС35Г2); и легированные назоуглеродистые (АС12ХН, АС20ХГНМ) и среднеуглеродистые (АС30ХМ, АС38ХГМ). Буква С в маркировке обозначает свинец (0,15 – 0,35%).

Селеносодержащие подразделяют на углеродистые (А35Е, А45Е) и хромистую (А40ХЕ). Буква Е обозначает селен (0,4 – 0,1%).

Кальцийсодержащие содержат от 0,002 до 0,008% кальция, а также имеют добавки свинца и телура. Эти стали маркируются АЦ20, АЦ30. Буква Ц обозначает кальций.

## 2.2. МАРКИРОВКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

### 2.2.1. Углеродистые инструментальные стали.

Эти стали относятся к группе сталей, не обладающих теплостойкостью. Они сохраняют свои свойства до температуры 250 °С.

Маркировка стали начинается с буквы У с последующими цифрами от 7 до 14, которые показывают среднее содержание углерода в десятых долях процента. Например: У10:  $\approx 1\%C$ ; У8:  $\approx 0,8\%C$ .

Инструментальных сталей обыкновенного качества не бывает.

В высококачественных сталях в конце марки ставят букву А. Например: У10А, У7А- высококачественные.

В особовысококачественных сталях в конце марки стоят буквы: СШ (обработаны синтетическим шлаком), Ш (электрошлаковый переплав), ЭЛ (электронно-лучевой переплав), ВД (вакуумно-дуговой переплав) и др. Например: У12-Ш, У7-ВД.

### **2.2.2. Легированные инструментальные стали**

Эти стали относятся к группе не теплостойких или полутеплостойких. Они сохраняют свои свойства до температуры 250 °С и 450 °С соответственно.

В марке этих сталей в начале может стоять однозначное число (либо оно может отсутствовать). Число показывает среднее содержание углерода в десятых долях процента (если число отсутствует, то среднее содержание углерода составляет  $\approx 1$  %). Легирующие элементы в маркировке стали обозначаются буквами русского алфавита (маркировка стран СНГ), а среднее количество легирующего элемента указывается цифрой, стоящей после соответствующей буквы, если цифры нет, то среднее содержание легирующего элемента не превышает 1 – 1,5 %. Идентификаторы легирующих элементов указано в таблице 1.

Все легированные инструментальные стали являются высококачественными, в конце марки буква А не ставится. Например: 6ХС, ХВГ, Х, 9ХС.

В особовысококачественных сталях в конце марки через тире стоят буквы СШ, Ш, ЭЛ, ВД. Например: 6ХС-Ш.

### **2.2.3. Быстрорежущие стали**

Эти стали относятся к группе теплостойких, сохраняющих свои свойства до температуры 650 °С.

Марка этих сталей начинается с буквы Р (rapid – от французского - быстрый).

Далее стоит цифра, указывающая на среднее процентное содержание основного легирующего компонента – вольфрама.

Базовый состав быстрорежущих сталей содержат 2 - 4% хрома, 1,5 % ванадия – в маркировке не указываются.

Углерода в этих сталях 0,8 - 0,88 %.

Например: Р18 – 18% вольфрама; 2 - 4 % хрома; до 1,5% ванадия; 0,8-0,88% углерода.

Быстрорежущие стали могут быть легированы молибденом, кобальтом.

Например: Р6М6 -6% вольфрама; 5% молибдена; С-0,8-0,88%; до 4% хрома; до 1,5 % ванадия;

Р6М5К5 - 6% вольфрама; 5% молибдена; 5% - кобальта; С-0,8-0,88%; до 4% хрома; до 1,5 % ванадия;

В быстрорежущих сталях с повышенным содержанием углерода марка начинается с двузначного числа, показывающего среднее содержание углерода в десятых долях процента. Например: 10Р6М4К2 - 1 % углерода; 6 % вольфрама; 4 % молибдена; 2 % - кобальта; до 4 % хрома; до 1,5 % ванадия.

Быстрорежущие стали могут быть высококачественными и особо высококачественными. В высококачественных сталях в конце марки буква А не ставится. В особо высококачественных сталях в конце марки через тире стоят буквы: СШ, Ш, ЭЛ, ВД, МП. Например: Р6М5-Ш, Р6М5К5-ЭЛ.

## **2.3. ТВЕРДЫЕ СПЛАВЫ**

Твердые сплавы изготавливают методом порошковой металлургии на основе карбидов различных металлов. Основными из них являются карбиды вольфрама, титана, тантала, сцементированных небольшим количеством кобальта. Эти карбиды обладают высокой твердостью, износостойкостью. Инструменты, оснащенные твердым сплавом, хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой и материалом заготовки, они относятся к группе теплостойких материалов и не теряют своих режущих свойств при температуре нагрева до 750 - 1100 °С. Их применяют для изготовления режущих частей таких инструментов как резцы, фрезы, сверла, зенкеры, развертки и др.

В зависимости от химического состава металлокерамические твердые сплавы разделяют на три основные группы: однокарбидные, двухкарбидные и трехкарбидные.

### **2.3.1. Однокарбидные твердые сплавы**

Сплавы группы ВК – вольфрамокобальтовые, такие как: ВК3, ВК4, ВК6, ВК8, ВК10 и др. В марке сплавов цифра показывает процентное содержание кобальта. Остальное составляет карбид вольфрама.

Для обозначения зернистости в конце марки ставится:

- буква М для мелкозернистой структуры (размеры карбидов от 0,5 до 1,5 мкм)
- буквы ОМ указывают на особомелкозернистую структуру
- буква В после цифры указывает на крупнозернистую структуру (размеры карбидов от 3 до 5 мкм).

Например: сплав ВК8М содержит 8 % кобальта и 92 % карбида вольфрама. Структура сплава мелкозернистая.

### **2.3.2. Двухкарбидные твердые сплавы.**

Сплавы группы ТК – титановольфрамокобальтовые, такие как: Т30К4, Т15К6, Т14К8, Т5К10, Т5К12 и др. В марке цифра после буквы К показывает процентное содержание кобальта, а после буквы Т – процентное содержание карбидов титана. Остальное составляет карбид вольфрама.

Например: сплав Т15К6В содержит 6 % кобальта, 15 % карбида титана, остальное составляет карбид вольфрама. Структура сплава крупнозернистая.

### **2.3.3. Трехкарбидные твердые сплавы**

Сплавы группы ТТК – титанотанталовольфрамокобальтовые, такие как: ТТ7К12, ТТ8К6, ТТ10К8, ТТ20К9 и др.. В марке цифра после буквы К показывает процентное содержание кобальта, а после букв ТТ – процентное содержание карбидов титана и карбидов тантала. Остальное составляет карбид вольфрама.

Например: сплав ТТ7К12 содержит 12 % кобальта, 7 % карбидов титана и тантала, остальное составляет карбиды вольфрама.

## 2.4. МАРКИРОВКА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЧУГУНОВ

### 2.4.1. Обычный серый чугун (ГОСТ 1412-85)

Маркировка начинается с букв СЧ, что означает «серый чугун», далее ставится цифра, означающая предел прочности чугуна при растяжении (МПа). Например: СЧ 30 обычный серый чугун,  $\sigma_b = 30 \text{ кгс/мм}^2 = 300 \text{ МПа}$ . (В литературе встречается маркировка по старому ГОСТу, например, СЧ 30-15 -  $\sigma_b = 30 \text{ кгс/мм}^2 = 300 \text{ МПа}$  - предел прочности чугуна при растяжении;  $\sigma_{изг} = 15 \text{ кгс/мм}^2 = 150 \text{ МПа}$  - предел прочности при изгибе).

### 2.4.2. Ковкий чугун (ГОСТ 1215-85)

Маркировка начинается с букв КЧ, что означает «ковкий чугун», далее ставится группа цифр через тире. Первая группа цифр означает предел прочности чугуна при растяжении (МПа), а вторая – относительное удлинение (%). Например: КЧ 37-12 ковкий чугун  $\sigma_b = 37 \text{ кгс/мм}^2 = 370 \text{ МПа}$ ,  $\delta = 12 \%$ .

### 2.4.3. Высокопрочный чугун (ГОСТ 7293-85)

Маркировка начинается с букв ВЧ, что означает «высокопрочный чугун», далее ставится цифра, означающая предел прочности чугуна при растяжении (МПа). Например: ВЧ 70 высокопрочный чугун,  $\sigma_b = 70 \text{ кгс/мм}^2 = 700 \text{ МПа}$ . (В литературе встречается маркировка по старому ГОСТу, например, ВЧ 70-2 -  $\sigma_b = 70 \text{ кгс/мм}^2 = 700 \text{ МПа}$  предел прочности чугуна при растяжении;  $\delta = 2 \%$  - относительное удлинение).

### 2.4.4. Антифрикционные чугуны (ГОСТ 1585-85)

Антифрикционные свойства определяются соотношением феррита, перлита, и графита. В этих чугунах имеются добавки хрома, меди и титана.

Маркировка начинается с букв АЧ, что означает «антифрикционный чугун», далее могут стоять буквы С – серый чугун, К – ковкий чугун и В – высокопрочный чугун. Цифра, стоящая после букв, указывает на порядковый номер чугуна в Государственном стандарте. Например: АЧС-1 – антифрикционный серый чугун, АЧК-2 – антифрикционный ковкий чугун, АЧВ-1 – антифрикционный высокопрочный чугун.

### 2.4.5. Легированные чугуны (ГОСТ 7769-82)

Легированные чугуны – это чугуны, в которых введены специальные элементы, например, хром, ванадий, молибден, никель, титан и т.д. Легирующие элементы повышают прочность, твердость, износостойкость, жаростойкость, коррозионную стойкость и др. свойства.

Легирующие элементы в чугунах обозначаются так же, как в маркировке сталей (смотри таблицу 1). Маркировка этих чугунов начинается с трехзначного числа, указывающего на среднее содержание углерода в сотых долях процента, далее ставят буквы и цифры, обозначающие легирующие элементы и их

среднее содержание в процентах. Например: чугун марки 230Х13Н3 содержит С – 2,3%, Cr – 13%, Ni – 3%.

В некоторых марках содержание углерода не указывается. Например: чугун марки ЧХ32 содержит 32 % хрома, чугун марки ЧН15Д7 содержит 15 % никеля, 7% меди. Среднее содержание углерода в этих чугунах 2 – 4 %.

В конце марки может стоять буква «Ш», что означает, что чугун имеет шаровидную форму графита. Например: 230Х13Н3Ш – 2,3 % С, Cr – 13 %, Ni – 3 %, Ш – с шаровидным графитом.

В начале марки могут стоять буквы ЖЧ или ИЧ, что означает жаропрочный и износостойкий чугун соответственно.

Например: ЖЧ230Н15Д7Х2. Жаропрочный чугун, 2,3% С, 15% Ni, 7% Cu, 2% Cr.

ИЧ250Х13М. Износостойкий чугун, 2,5 % С, 13% Cr, 1% Mo.

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

3.1. Выписать индивидуальное задание, используя таблицу Д1. Вариант задания соответствует порядковому номеру студента в групповом журнале.

3.2. Расшифровать марки материалов, предложенных в индивидуальном задании по следующему плану.

3.2.1. Для сталей

- назначение
- % углерода
- % легирующих элементов (если такие есть)
- качество

3.2.2. Для чугунов

- название чугуна
- что обозначают цифры и буквы в маркировке

3.2.3. Для твердых сплавов

- название сплава
- химический состав сплава

### **4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

4.1. Наименование работы

4.2. Цель работы

4.3. Расшифровка марок материалов.

### **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

5.1. Что такое сталь?

5.2. Как маркируются стали обыкновенного качества?

5.3. Что обозначает буква А в начале марки стали?

5.4. Что обозначает буква А в конце марки стали?

5.5. Как определить содержание углерода в легированной конструкционной стали?

- 5.6. Как определить содержание углерода в легированной инструментальной стали?
- 5.7. Как маркируются углеродистые инструментальные стали?
- 5.8. Какой основной легирующий элемент в быстрорежущей стали?
- 5.9. Как маркируются чугуны?
- 5.10. Что означает первая группа цифр в маркировке чугунов?
- 5.11. Что означает вторая группа цифр в маркировке чугунов?
- 5.12. Как маркируются твердые сплавы?

## Практическая работа № 6

### ИЗУЧЕНИЕ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ИХ СПЛАВОВ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомится с маркировкой конструкционных материалов на основе цветных металлов, их составом, свойствами и назначением. Получить навыки обоснованного выбора материала для изготовления различных деталей.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Наибольшее применение в промышленности в качестве конструкционных материалов из цветных сплавов нашли: медь, алюминий, магний, титан и сплавы на их основе.

Классификацию цветных металлов и их сплавов, как правило, производят по:

1. Способу изготовления из них заготовок и деталей

1.1. Деформируемые, предназначенные для получения полуфабрикатов (листов, плит, прутков, труб, профилей и т.д.), а также поковок и штамповок путем прокатки, прессования,ковки и штамповки.

1.2. Литейные, предназначенные для фасонного литья.

1.3. Порошковые, получаемые методом порошковой металлургии.

2. Способности упрочняться термической обработкой.

2.1. Упрочняемые термической обработкой.

2.2. Не упрочняемые термической обработкой.

##### 2.1. МЕДЬ И ЕЕ СПЛАВЫ

Медь (ГОСТ 859-2001) электропроводна, теплопроводна, коррозионно-стойкая, пластична. Имеет: плотность  $\rho = 8,95 \text{ г/см}^3$ ;  $t_{\text{пл}} = 1083^\circ\text{C}$ ; предел прочности  $\sigma_B = 160 \dots 450 \text{ МПа}$ ; относительное удлинение  $\delta = 25 \dots 45\%$ .

Марки: М4, М3, М2, М1, М0, М00, М000 (содержание составляет более 99% и по мере уменьшения номера чистота меди возрастает).

М4  $\geq 99,0\% \text{ Cu}$

М3  $\geq 99,5\% \text{ Cu}$

М2  $\geq 99,7\% \text{ Cu}$

М1  $\geq 99,9\% \text{ Cu}$

М0  $\geq 99,95\% \text{ Cu}$

М00  $\geq 99,99\% \text{ Cu}$

Таблица 1 – Идентификаторы легирующих элементов в медных сплавах

|             |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Элемент     | Al | Fe | Mn | Si | Pb | Sn | Ni | Ti |
| Обозначение | A  | Ж  | Мц | K  | C  | O  | H  | T  |
| Элемент     | Sb | Ag | Cd | Mg | Zr | Be | P  | Zn |
| Обозначение | Cy | Ср | Кд | Мг | Цр | Б  | Ф  | Ц  |

**2.1.1. Латунь - сплавы меди с цинком (до 45% Zn), а также с другими элементами:** кремнием, свинцом, марганцем, железом, никелем и др.

#### **Маркировка латуней**

Простые латуни маркируются буквой Л, далее стоит цифра, указывающая содержание меди.

Например: Л90 (латунь, содержащая 90% Cu, остальное Zn).

Сложные латуни маркируются буквой Л, далее стоят буквы, обозначающие легирующие элементы. Эти элементы обозначаются в марках начальными буквами русского алфавита, с которого начинается название легирующего элемента. Идентификаторы легирующих элементов приведены в таблице 1. Первая двузначная цифра, стоящая после букв, указывает на содержание меди, следующие цифры после тире указывают на содержание легирующих элементов в той же последовательности, в которой стоят буквы, обозначающие этот элемент.

Например: ЛАЖ60-2-1 (латунь, содержащая 60% Cu, 2% Al, 1% Fe, остальное Zn)

В маркировке литейных латуней, содержащих повышенное содержание цинка и легирующих элементов количество цинка и легирующих элементов указано сразу после буквы, обозначающей легирующий элемент.

Например: ЛЦ25С2 – латунь, содержащая 25 % цинка, 2 % свинца, остальное медь.

**2.1.2. Бронзы – сплавы меди с различными химическими элементами,** цинк может входит в их состав, но не как основной легирующий элемент (в небольшом количестве).

#### **Маркировка бронз**

Маркируются буквами Бр, далее идут буквы, указывающие на легирующие элементы в порядке убывания их численного количества. После букв стоят цифры, показывающие на содержание легирующих элементов в том же порядке, в котором они указаны в маркировке.

Например: БрАЖН 10-4-4 (бронза алюминиевая содержит 10 % Al, 4 % Fe, 4% Ni, остальное – Cu)

В маркировке литейных бронз количество легирующих элементов может быть указано сразу после буквы, обозначающей легирующий элемент.

Например: БрОЗЦ12С5 – бронза, содержащая 3 % олова, 12 % цинка, 5 % свинца, остальное медь; БрА10Ж4Н4Л – бронза литейная, содержащая 10 % алюминия, 4 % железа, 4 % никеля, остальное медь.

## 2.2. АЛЮМИНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ

Алюминий – металл серебристого цвета, легкий,  $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$ ,  $t_{\text{пл}} = 660^\circ\text{C}$ , с низкой прочностью, с высокой пластичностью –  $\delta = 70 \%$ , хорошо обрабатывается давлением, обладает высокой тепло и электропроводностью, коррозионной стойкостью в атмосфере и морской воде, относительно хорошо сваривается, обработка резанием затруднена.

Маркируется: Буквой А в начале маркировки, цифра, стоящая после буквы показывает процент алюминия сверх 99 %.

Например:

Технически чистый: А0 – 99,0% Al

А6 – 99,6% Al

А7 – 99,7% Al

Высокой чистоты: А95 – 99,95% Al

А96 – 99,96% Al

А97 – 99,97% Al

Химически чистый: А99 – 99,99% Al

**2.2.1. Деформируемые алюминиевые сплавы (ГОСТ 4784-97) делятся на две группы:** упрочняемые термообработкой и не упрочняемые.

**Упрочняемые термообработкой.** К этим сплавам относятся дуралюмины, высокопрочные, ковочные, жаропрочные сплавы и др.

**Дуралюмины** – это сплавы алюминия с медью (до 5,7%), магнием и марганцем.

Основные свойства: высокая прочность  $\sigma_B = 400 \text{ МПа}$ , высокая пластичность, хорошая обрабатываемость давлением и резанием, плохо свариваются, низкая коррозионная стойкость. Маркируются буквой Д, что обозначает дуралюмин, цифра стоящая после буквы, указывает на номер сплава в ГОСТе.

Например: Д1, Д16, Д20

**Высокопрочные алюминиевые сплавы** – сплавы алюминия могут содержать до 2 % меди, до 2,5 % магния, до 7 % цинка.

Основные свойства: самая высокая прочность из всех деформируемых алюминиевых сплавов  $\sigma_B = 700 \text{ МПа}$ , высокая удельная прочность, высокая пластичность. Маркируется буквой В, последующие цифры указывают на процентное содержание алюминия, недостающее до 100% количество приходится на медь, магний и цинк.

Например В95 содержит 95 % алюминия, остальное медь, магний, цинк.

**Ковочные алюминиевые сплавы** – сплавы алюминия с  $\approx 3 \%$  меди,  $\approx 0,6 \%$  магния,  $\approx 0,7 \%$  марганца,  $\approx 1,6 \%$  кремния.

Основные свойства: такие же, как и дуралюминов, но они имеют повышенную пластичность.

Маркируются буквами АК, цифра, стоящая после букв указывает на номер в ГОСТе.

Например: АК6, АК8.

**Жаропрочные алюминиевые сплавы** – сплавы алюминия с  $\approx 1,5$  % железа,  $\approx 1,5$  % никеля,  $\approx 2,5$  % меди,  $\approx 1,8$  % магния.

Основные свойства – повышенная прочность при нагреве до  $300^{\circ}\text{C}$  в течение 100 часов,  $\sigma_{100} = 450$  МПа, но пластичность меньше, чем у дуралюмина.

Маркируются буквами АК, цифра стоящая после букв (меньше 6) указывает на номер в ГОСТе.

Например: АК2, АК4.

**Не упрочняемые термообработкой.** К этим сплавам относятся алюминий-во-марганцевые и алюминий-во-магниевые сплавы.

**Алюминий-во-марганцевые** сплавы обладают следующими свойствами: высокой удельной прочностью и коррозионной стойкостью на воздухе; самой низкой прочностью при растяжении среди алюминиевых сплавов, высокой технологической пластичностью и свариваемостью.

Маркируются буквами АМц, далее могут стоять следующие буквы: М - мягкий после отжига, П - полунагартованный, Н - нагартованный (наклепанный).

Например: АМц, АМцМ, АМцН.

**Алюминий-во-магниевые** сплавы обладают более высокой прочностью, повышенной вибрационной устойчивостью и усталостной прочностью, хорошей свариваемостью.

Маркируются буквами АМг, цифра, стоящая после букв указывает на номер в ГОСТе.

Например: АМг5, АМг6

### 2.2.2. Литейные алюминиевые сплавы (ГОСТ 2685-97)

Литейные алюминиевые сплавы – это сплавы алюминия с кремнием (9...13%). Такие сплавы называются силуминами.

Основные свойства: высокая жидкотекучесть; низкая прочность и пластичность, поэтому изделия из них получают литьем; плохо свариваются.

Простые силумины легированы только кремнием, сложные легированы другими элементами, например, медью.

Маркируются буквами АЛ, цифра, стоящая после букв указывает на номер в ГОСТе.

Например: АЛ2, АЛ4, АЛ7.

### 2.2.3. Порошковые алюминиевые сплавы

Эти сплавы получают методом порошковой металлургии (прессование и спекание порошков)

**Спеченный алюминиевый порошок (ТУ 1-9-71-71).**

Эти сплавы содержат 6...23%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (корунд), которые обладают очень высокой твердостью.

Основные свойства: повышенная жаропрочность  $\sigma_{100} = 80...120$  МПа (работают при  $t \leq 500$  °С); повышенная износостойкость; повышенная удельная прочность; коррозионностойкие.

Маркируются буквами САП, цифра, стоящая после букв указывает на порядковый номер сплава.

Например: САП1, САП3.

**Спеченный алюминиевый сплав (ОСТ 190204-75).**

Эти сплавы содержат порошки Al, Si, Ti, Ni, которые путем сплавления получить невозможно.

Основные свойства: высокая прочность  $\sigma_B \leq 800$  МПа; повышенная жаропрочность (работают при  $t \leq 500$  °С); высокая износостойкость; обладают малым или заданным коэффициентом теплового расширения, электросопротивления.

Маркируются буквами САС, цифра, стоящая после букв указывает на порядковый номер сплава (чем выше №, тем выше свойства)

Например: САС1, САС2, САС3.

**2.3. МАГНИЙ И ЕГО СПЛАВЫ**

Магний – металл серебристо-серого цвета, очень легкий, имеет самую низкую плотность  $\rho = 1,74$  г/см<sup>3</sup>, легкоплавок ( $t_{пл} = 651$  °С), низкая прочность  $\sigma_B = 115$  МПа, пластичность  $\delta = 8$  %, легко окисляется и восстанавливается на воздухе, с выделением большого количества тепла.

Маркируется буквами Мг, цифра, стоящая далее указывает на процентное содержание магния (сверх 99 %).

Например: Мг90 – 99,90% Mg

Мг95 – 99,95% Mg

Мг96 – 99,96% Mg

Как конструкционный материал чистый магний не используется, а используются сплавы на его основе.

**Сплавы на основе магния**

В состав магниевых сплавов чаще вводят алюминий, цинк, марганец, цирконий, редкоземельные элементы.

Алюминий и цинк в количестве 5 – 7 % повышает механические свойства магния. Марганец улучшает коррозионную стойкость. Цирконий измельчает зерно и повышает прочность и пластичность. Редкоземельные металлы, торий и кальций увеличивают жаропрочность магниевых сплавов.

Магниевые сплавы, как и алюминиевые, могут быть упрочнены закалкой без полиморфных превращений и старением.

Магниевые сплавы хорошо поглощают вибрации, что важно для авиации, транспорта и машиностроения. Эти сплавы обладают хорошей обрабатываемо-

стью резанием. Магниевые сплавы немагнитны и не дают искры при ударах и трении. Они в горячем состоянии хорошо прессуются, куются и прокатываются. Применяются в виде поковок, штамповок, листов, профилей, прутков, труб и т.д.

### **2.3.1. Деформируемые магниевые сплавы**

(ГОСТ 14957-76)

Эти сплавы поставляются в виде листов, полосы профилей, прутков и поковок. Их целесообразно применять для конструкций, кратковременно работающих при повышенных температурах. Это объясняется тем, что их теплоемкость в 2,5 раза выше, чем у стали. Они могут поглотить много тепла, не перегреваясь.

Маркируются буквами МА, цифры, стоящие после букв указывают на номер в ГОСТе. В начале марки может стоять буква В, что означает высокопрочный.

Например: МА5, МА1, ВМ65-1

Они бывают невысокой прочности (МА1), средней прочности (МА8, МА9), высокопрочные (МА2-1, МА5), жаропрочные (МА11)

### **2.3.2. Литейные магниевые сплавы (ГОСТ 2856-79)**

Эти сплавы предназначены для изготовления деталей методом фасонного литья. При плавке и литье применяются специальные присадки для предотвращения возгорания сплава (плавка под флюсом, введение защитных присадок в формовочную и стержневую смесь) для исключения загорания металла в форме.

Маркируются буквами МЛ, цифры, стоящие после букв, указывают на номер в ГОСТе. В начале марки может стоять буква В, что означает высокопрочный.

Например: МЛ3, МЛ5 ВМЛ-1

## **2.4. ТИТАН И ЕГО СПЛАВЫ**

Титан – металл серебристо-белого цвета, малой плотности -  $\rho = 4,5 \text{ г/см}^3$ , прочность -  $\sigma_B = 200 \dots 380 \text{ МПа}$ , пластичный -  $\delta = 20 \dots 30\%$ , температура плавления  $t_{пл} = 1668^\circ\text{C}$ , немагнитен, коррозионностойкий в пресной и морской воде, во многих кислотах. По своим антикоррозионным свойствам превосходит другие цветные металлы и легированные стали, удовлетворительно обрабатывается давлением, трудно обрабатывается резанием, обладает низкой электропроводностью, малочувствителен к хрупким разрушениям, сохраняет свои свойства при нагреве до температуры  $400^\circ\text{C}$ .

Технический титан маркируется: ВТ1-0 (99,48% Ti), ВТ1-00 (99,53% Ti), ВТ1-1 (99,44% Ti).

ВТ - разработчик «ВИАМ» (Всероссийский НИИ авиационных материалов). Цифры, стоящие после букв, указывают на порядковый номер в ГОСТе.

Чем больше нулей, тем выше чистота титана. Чем больше примесей, тем выше прочность и ниже пластичность.

### Сплавы на основе титана

Титановые сплавы обычно легируют: Fe, Al, Mn, Cr, Sn, V, Si – все эти элементы повышают прочность сплавов, но одновременно снижают пластичность и вязкость. Жаропрочность повышают Al, Zr, Mo, а коррозионную стойкость в растворах кислот – Zr, Mo, Nb, Ta.

Промышленные титановые сплавы по сравнению с техническим титаном имеют при достаточно хорошей пластичности, высокой коррозионной стойкости и малой плотности более высокую прочность при комнатной и повышенной температурах.

#### Титановые сплавы маркируются:

ВТ – «ВИАМ» (Всероссийский НИИ авиационных сплавов)

ОТ – опытный титановый сплав

ПТ – «Прометей» разработчик ЦНИИ КМ «Прометей» г. С. Петербург.

Цифры, стоящие после букв, указывают на порядковый номер сплава в ГОСТе.

В конце маркировки могут стоять буквы:

У – улучшенный.

М – модифицированный.

И – специального назначения.

Л – литейный сплав.

В – сплав, где марганец заменен эквивалентным количеством ванадия.

Например: ВТ5, ВТ5-1, ВТ14, ОТ6, ПТ7М., ВТ6Л.

### 2.5. БАББИТЫ

Баббиты – это антифрикционные сплавы, которые применяют для заливки вкладышей подшипников скольжения. Эти сплавы должны иметь достаточную твердость, сравнительно легко деформироваться под влиянием местных напряжений, удерживать смазочный материал на поверхности, иметь малый коэффициент трения между валом и подшипником. Кроме того, температура плавления этих сплавов не должна быть высокой, и сплавы должны обладать хорошей теплопроводностью и устойчивостью к коррозии.

Для обеспечения данных свойств, структура этих сплавов должна состоять из мягкой и пластичной основы и включений более твердых частиц.

Наиболее широко применяют сплавы на оловянной и свинцовой основе (ГОСТ 1320-74)

**Оловянные баббиты** обладают хорошей прирабатываемостью к валу и износостойкостью. Они маркируются буквой Б. Далее стоят цифры, указывающие на среднее процентное содержание в сплаве олова. Например: Б88 и Б83.

**Свинцовые баббиты** имеют более низкую износостойкость (при повышенных давлениях), более хрупкие, чем оловянные.

Свинцовые баббиты также, как и оловянные, маркируются буквой Б. Далее могут стоять буквы Н и С, обозначающие легирующие элементы никель (0,1 – 0,5%) и сурьму соответственно. Например: БН, БС6, Б16. Цифры в маркировке этих баббитов обозначают среднее процентное содержание олова.

**Свинцово-кальциевые баббиты (ГОСТ 1209-78)** в своем составе имеют небольшое количество кальция (0,3 – 1%), который повышает антифрикционные свойства. Они маркируются буквами БК. Далее могут стоять цифры, которые указывают на среднее процентное содержание олова. Например БК, БК2.

Если в маркировке этих баббитов дополнительно стоят буквы А и Ш, это означает, что в сплавы введены алюминий и мышьяк, повышающие антифрикционные и механические свойства сплавов. Например: БКА, БК2Ш.

## 2.6. ПРИПОИ

Припой – это сплавы, используемые при пайке металлов высокой проводимости. Различают припой двух типов: для низкотемпературной пайки, имеющие температуру плавления до 400 °С и для высокотемпературной пайки с более высокой температурой плавления. Для получения хорошего соединения припой должен иметь более низкую температуру плавления, чем металл, подвергающийся пайке. В расплавленном состоянии припой должен хорошо смачивать поверхности. Температурные коэффициенты линейного расширения металла и припоя должны быть близки.

Для этих целей используют припой на основе Sn (олово), Pb (свинец), Zn (цинк), Ag (серебро), имеющих хорошую электрическую проводимость.

Для низкотемпературной пайки применяют оловянно-свинцовые и оловянно-цинковые припои (ГОСТ 21931-76).

Для высокотемпературной пайки используют медь, медно-цинковые припои (ГОСТ 21737-78), медно-фосфорные припои и припои, содержащие серебро.

Маркировка припоев начинается с русской буквы П, затем следуют буквы русского алфавита, показывающие основные компоненты припоя. Цифра, стоящая после букв, показывает среднее количественное содержание основного компонента в процентах.

Например: ПОС-50 – припой оловянно-свинцовый, содержащий 50 % олова, остальное – свинец;

ПОЦ-70 – припой оловянно-цинковый, содержащий 70 % олова, остальное – цинк

ПСр-61 – припой на основе серебра, содержащий 61 % серебра, остальное – медь или медь с цинком.

В медно-цинковых и медно-фосфористых припоях цифры указывают на среднее процентное содержание меди и фосфора.

Например: ПМЦ-48 – припой медно-цинковый, содержащий 48 % меди, остальное – цинк;

ПМФ7 – припой медно-фосфористый, содержащий 7 % фосфора, остальное – медь.

## 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Выписать индивидуальные задания 1 и 2 по таблицам Е1, Е2 приложения Д.

3.2. Расшифровать предложенные в таблице Е1 марки материала.

3.3. Расшифровать три марки материала, предложенные для заданной детали и описать их свойства (таблица Е2).

3.2. Из трех предложенных марок материала для заданной детали выбрать одну. Обосновать выбор.

#### **4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

4.1. Наименование работы

4.2. Цель работы

4.3. Расшифровка марок материала из таблицы Е1

4.4. Расшифровка трех марок материала из таблицы Е2 с описанием их свойств.

4.5. Обоснование выбора необходимой марки материала для заданной детали.

#### **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

5.1. Как маркируется чистая медь?

5.2. Что такое бронза и принцип ее маркировки?

5.3. Что такое латунь и принцип ее маркировки?

5.4. Как определить чистоту алюминия по его маркировке?

5.5. Что обозначает цифра в маркировке алюминиевых деформируемых и литейных сплавов?

5.6. Что такое баббит и как он маркируется?

5.7. Что обозначают цифры в маркировке титановых сплавов?

5.8. Каков принцип маркировки магниевых сплавов?

5.9. На какой основе изготавливают припои?

5.10. Как маркируются припои?

## Практическая работа № 7

### РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ТЕРМИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ СТАЛИ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобрести навыки назначения режимов термической обработки для заготовок и готовых изделий.

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Термическая обработка является важной операцией на различных этапах технологического цикла изготовления многих деталей. Сочетанием химического состава (марки) стали и выбором необходимого способа термической обработки можно достичь наиболее высоких механических свойств деталей и машин.

Термическая обработка состоит из трех циклов: нагрев материала до расчетной температуры, выдержка при этой температуре и охлаждение с заданной скоростью. Различают 4 основных вида термической обработки:

- отжиг;
- нормализацию;
- закалку;
- отпуск.

Отжиг и нормализация относятся к предварительной термообработке, которая используется для заготовок. Закалка и последующий отпуск относятся к окончательной термообработке, которая используется для готовых изделий.

**Отжиг** заключается в нагреве стали до расчетных температур, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении вместе с печью.

Различают следующие виды отжига: полный, неполный, изотермический.

После отжига углеродистой стали образуются структуры, указанные на диаграмме состояния «железо – цементит». После отжига сталь обладает низкой твердостью и прочностью при высокой пластичности. Фазовая перекристаллизация, происходящая при отжиге, измельчает зерно стали и устраняет различные структурные дефекты.

Отжиг в промышленности в большинстве случаев является предварительной термической обработкой. Отжигу подвергают отливки, поковки, прокат для улучшения обрабатываемости резанием.

**Полный отжиг** заключается в нагреве доэвтектоидной стали на  $(30 - 50)^\circ\text{C}$  выше точки  $A_{C3}$ , выдержке при этой температуре для полного прогрева и завершения фазовых превращений в объеме металла и последующем медленном охлаждении. При этом происходит полная фазовая перекристаллизация стали.

При нагреве до температуры выше точки  $A_{C3}$  на  $(30 - 50)^\circ\text{C}$  образуется аустенит, характеризующийся мелким зерном, и поэтому при охлаждении возникает мелкозернистая структура, обеспечивающая высокую вязкость и пластичность.

Полному отжигу обычно подвергают сортовой прокат, поковки и фасонные отливки из доэвтектоидных сталей.

Для заэвтектоидных сталей полный отжиг на производят, т.к. после него цементит ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) выпадает на границах зерен пластинчатого перлита в виде сетки, что охрупчивает сталь.

**Неполный отжиг** отличается от полного тем, что сталь нагревают до более низкой температуры (немного выше точки  $A_{C1}$ ).

Для доэвтектоидных сталей неполный отжиг иногда применяют для повышения обрабатываемости резанием. Однако при неполном отжиге происходит частичная перекристаллизация стали только вследствие превращения перлит – аустенит. Феррит не подвергается перекристаллизации, образуется разноструктурная структура: зерна перлита мелкие, а феррита – крупные. В связи с этим неполный отжиг доэвтектоидных сталей применяют в том случае, если исходная заготовка не имеет очень крупного зерна.

Для заэвтектоидных сталей применяют только неполный отжиг. В этих сталях нагрев несколько выше точки  $A_{C1}$  (обычно на  $(10 - 30)^\circ\text{C}$ ) вызывает практически полную фазовую перекристаллизацию стали и позволяет получить зернистую структуру перлита вместо пластинчатой. Такой отжиг называют сфероидизацией или **отжигом на зернистый перлит**.

Охлаждение при сфероидизации медленное. Оно должно обеспечить распад аустенита на феррито-карбидную структуру, сфероидизацию и коагуляцию образовавшихся карбидов, при охлаждении с печью до  $620 - 680^\circ\text{C}$ , дальнейшее охлаждение до комнатной температуры происходит на воздухе.

Сталь со структурой зернистого перлита имеет более низкую твердость, чем со структурой пластинчатого перлита, поэтому обрабатывается резанием лучше.

Отжигу на зернистый перлит подвергают заготовки из инструментальных и подшипниковых сталей.

**Изотермический отжиг.** В этом случае сталь нагревают, как и для полного отжига, и сравнительно быстро охлаждают (переносом в другую печь) до температуры ниже точки  $A_{C1}$  (обычно  $\approx 650^\circ\text{C}$ ) и назначают изотермическую выдержку для полного распада аустенита, после чего следует охлаждение на воздухе.

Преимущество изотермического отжига заключается в уменьшении длительности процесса и получении более однородной структуры.

Изотермический отжиг улучшает обрабатываемость резанием, чистоту поверхности и уменьшает деформацию при последующей термической и химико-термической обработке.

Этот вид отжига используют для поковок и других заготовок небольших размеров.

**Нормализация** заключается в нагреве доэвтектоидной стали до температуры, превышающей точку  $A_{C3}$  на  $50^\circ\text{C}$ , а заэвтектоидной стали выше  $A_{Cm}$  также на  $50^\circ\text{C}$  (до полной аустенизации), непродолжительной выдержке для прогрева стали и завершения фазовых превращений и охлаждении на воздухе. Нормализация вызывает полную фазовую перекристаллизацию стали и устраняет крупнозернистую структуру, полученную при литье, прокатке, ковке или штамповке.

Назначение нормализации различно в зависимости от состава стали. Для низкоуглеродистых сталей нормализацию применяют вместо отжига для ускорения процесса.

Для заготовок из среднеуглеродистых сталей нормализацией заменяют более дорогую термообработку – улучшение (закалка + высокий отпуск). По сравнению с отожженной сталью нормализованная сталь имеет более высокую твердость, а по сравнению с улучшенной меньшую пластичность и ударную вязкость.

Для заэвтектоидных сталей нормализацию проводят для устранения цементитной сетки, образовавшейся при медленном охлаждении.

**Закалка** – это вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали выше критической точки ( $A_{C3}$  для доэвтектоидных и  $A_{C1}$  для заэвтектоидных сталей) на  $(30 - 50) ^\circ\text{C}$ , выдержке при этой температуре и последующем охлаждении со скоростью равной или больше критической. Критическую скорость закалки обеспечивает охлаждающая среда вода (для углеродистых сталей) или масло (для легированных сталей). Основной структурой закаленной стали является мартенсит закалки, который образуется из аустенита при охлаждении с критической скоростью закалки. Мартенсит закалки – это пересыщенный твердый раствор углерода в Fe- $\alpha$ . Закалка, при которой в результате нагрева образуется только аустенит, называется **полной закалкой**.

Доэвтектоидные стали с исходной структурой феррит+ перлит при нагреве приобретают аустенитную структуру, которая при последующем охлаждении со скоростью, равной или выше критической превращается в мартенсит закалки.

Заэвтектоидные стали с исходной структурой перлит + цементит нагревают несколько выше  $A_{C1}$  на  $(10 - 20 ^\circ\text{C})$ . При таком нагреве образуется структура аустенит + цементит. После охлаждения структура закаленной стали состоит из мартенсита закалки и нерастворившихся карбидов (цементита). Закалка, при которой при нагреве стали образуется наряду с аустенитом феррит (в доэвтектоидных сталях) или цементит (в заэвтектоидных сталях) называется **неполной закалкой**.

Таким образом, для доэвтектоидных сталей производится полная закалка, а для заэвтектоидных – неполная закалка.

В углеродистых сталях, которые содержат углерода более 0,6 %, весь аустенит, который образовался при нагреве, при последующем охлаждении со скоростью, равной или больше критической, не превратится в мартенсит закалки, так как температура конца мартенситного превращения в этих сталях ниже комнатной температуры. Часть аустенита остается не превращенной в мартенсит. Такой аустенит называется остаточным аустенитом. Поэтому структура заэвтектоидной стали после закалки будет состоять из мартенсита закалки, цементита и остаточного аустенита.

**Отпуск** – это вид термической обработки, который заключается в нагреве закаленной стали ниже критической точки  $A_{C1}$ , выдержке при этой температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью (углеродистые стали охлаждают на воздухе). Отпуск является окончательной операцией термиче-

ской обработки, проводится после закалки для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств и снятия закалочных напряжений.

В зависимости от температуры отпуска различают низкий, средний и высокий отпуск.

**Низкий отпуск** проводится при температуре 150 – 200 °С. При этом виде отпуска снижаются внутренние напряжения, повышается прочность и немного улучшается вязкость стали. Структура стали после низкого отпуска называется мартенситом отпуска. Твердость после этого вида отпуска HRC 58 – 63. При этом виде отпуска твердость наибольшая из всех видов отпуска. Низкому отпуску подвергается режущий и измерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей.

**Средний отпуск** проводится при температуре 350 – 500 °С. Такой вид отпуска обеспечивает стали высокий предел упругости, предел выносливости и релаксационную стойкость. Структура носит название троостит отпуска. Твердость после среднего отпуска HRC 40 – 50. Такому отпуску подвергают пружины, рессоры, штампы.

**Высокий отпуск** проводится при температуре 500 – 650 °С. Высокий отпуск создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали. Структура носит название сорбит отпуска. Твердость после высокого отпуска HRC 35 - 25.

Закалка в сочетании с высоким отпуском называется **термическим улучшением**. Улучшение в значительной степени повышает конструкционную прочность стали, уменьшая чувствительность к концентраторам напряжений, снижая температуру верхнего и нижнего порога хладноломкости стали. Такому отпуску подвергаются различные конструкционные детали – валы, шестерни и т. д.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 3.1. Изучить приведенный теоретический раздел.
- 3.2. Выбрать вариант индивидуального задания из таблицы И1.
- 3.3. Решить предложенные задачи (с графиками термической обработки).
- 3.4. Сделать выводы по работе.

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Наименование работы
- 4.2. Цель работы
- 4.2. Решение задач (с графиками термической обработки)
- 4.3. Выводы по работе.

### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Какие виды термической обработки относятся к предварительной?
- 5.2. Какие виды термической обработки относятся к окончательной?
- 5.3. Назовите цели и задачи предварительной термообработки.
- 5.4. Назовите цели и задачи окончательной термообработки.
- 5.5. Как назначается режим отжига и нормализации для доэвтектоидных сталей?

5.6. Как назначается режим отжига и нормализации для заэвтектоидных сталей?

5.7. Какая структура и при каких условиях образуется при закалке стали?

5.8. Как назначается режим закалки для доэвтектоидных, эвтектоидных и заэвтектоидных сталей?

5.9. Назовите цели и задачи отпуска стали.

5.10. Разновидности отпуска, его режимы.

5.11. Структуры и свойства, характерные для каждого вида отпуска.

## Практическая работа № 8 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Приобрести навыки в теоретическом определении критических точек инструментальных сталей и назначении режимов термической обработки инструмента.

### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Термическая обработка является важной операцией на различных этапах технологического цикла изготовления инструмента. Сочетанием химического состава (марки) стали и выбором необходимого способа термической обработки можно достичь наиболее высоких механических свойств инструмента.

Термическая обработка состоит из трех циклов: нагрев материала до расчетной температуры, выдержка при этой температуре и охлаждение с заданной скоростью. В качестве упрочняющей термической обработки для инструмента используется закалка с последующим отпуском.

**Закалка** – это вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали выше критической точки ( $A_{C3}$  для доэвтектоидных и  $A_{C1}$  для заэвтектоидных сталей) на  $(30 - 50)^\circ\text{C}$ , выдержке при этой температуре и последующем охлаждении со скоростью равной или больше критической.

Критические точки стали – это температуры, при которых происходят фазовые и микроструктурные превращения. Доэвтектоидные стали имеют две критические точки  $A_{C1}$  и  $A_{C3}$ , заэвтектоидные  $A_{C1}$  и  $A_{Cm}$ .

Критические точки  $A_{C3}$  и  $A_{C1}$  определяют по диаграмме «Железо-углерод» для углеродистых сталей и рассчитывают с помощью регрессионных уравнений (1 и 2) для легированных сталей.

$$A_1 = 727 - 13\text{Mn} + (9 + 15\text{Xc})\text{Si} + (-17 - 5\text{Xc})\text{Ni} + (22 - 5\text{Xc})\text{Cr} + (3,5 + 22\text{Xc})\text{X}_{\text{Mo}}, \quad (1)$$

$$A_3 = 727 + 229\text{Xc} + (-13 - 30\text{Xc})\text{Mn} + (9 + 66\text{Xc})\text{Si} + (-17 - 22\text{Xc})\text{Ni} + (22 - 70\text{Xc})\text{Cr} + (3,5 + 52\text{Xc})\text{X}_{\text{Mo}}, \quad (2)$$

Критическую скорость закалки обеспечивает охлаждающая среда вода (для углеродистых сталей) или масло (для легированных сталей). Основной структурой закаленной стали является мартенсит закалки, который образуется из аустенита при охлаждении с критической скоростью закалки. Мартенсит закалки – это пересыщенный твердый раствор углерода в Fe- $\alpha$ .

Превращение аустенита в мартенсит совершается с большой скоростью, но не сразу по всему объему. Поэтому, чтобы весь аустенит превратился в мартенсит, требуется некоторое время. Температура начала и конца превращения зависит от содержания углерода и легирующих элементов в стали. Для каждой марки стали превращение начинается всегда при одной и той же температуре (точка  $M_H$ ) и заканчивается при другой постоянной температуре (точка  $M_K$ ).

Точки начала превращения ( $M_H$ ) и конца превращения ( $M_K$ ) аустенита в мартенсит определяются по уравнениям (3, 4).

$$M_H = 539 - 423 (0,8 - X_c) - 30,4Mn - 17,7Ni - 12,1Cr - 7,5X_{Mo}, \quad (3)$$

$$M_K = M_H - 215, \quad (4)$$

$$X_c = |0,8 - C|, \quad (5)$$

$$X_{Mo} = \begin{cases} (Mo - 0,08)^{0,5}, & \text{если } Mo > 0,09\%, \\ \frac{10}{9} Mo, & \text{если } Mo < 0,09\% \end{cases} \quad (6)$$

где - Mn, C, Si, Ni, Cr, Mo,  $X_c$ ,  $X_{Mo}$  - средняя концентрация элементов в стали, % (по массе.).

Для определения общего времени нагрева инструмента под закалку ( $t_0$ ) определяется по формуле (7, 8).

$$t_0 = t_H + t_3 \text{ (мин)} \quad (7)$$

где  $t_0$  – общее время нагрева, мин;

$t_H$  – время нагрева до заданной температуры, мин.;

$$t_H = 0,1 \times D \times k_1 \times k_2 \times k_3, \quad (8)$$

где  $D$  – размерная характеристика изделия (минимальный размер максимального сечения), мм;

$k_1$  – коэффициент среды: для газа (воздуха) – 2; соли – 1; металла – 0,5;

$k_2$  – коэффициент формы: для шара – 1; цилиндра – 2; параллелепипеда – 2,5; пластины – 4);

$k_3$  – коэффициент равномерности нагрева: всесторонний нагрев – 1; односторонний – 4).

$t_3 = 1$  мин. – для углеродистой стали и 2 мин. – для легированной стали.

Окончательной операцией термической обработки является отпуск. Он проводится после закалки для обеспечения требуемого уровня эксплуатационных свойств и снятия закалочных напряжений.

В зависимости от температуры отпуска различают низкий, средний и высокий отпуск.

**Низкий отпуск** проводится при температуре 150 – 200 °С. При этом виде отпуска снижаются внутренние напряжения, повышается прочность и немного улучшается вязкость стали. Структура стали после низкого отпуска называется мартенситом отпуска. Твердость после этого вида отпуска HRC 58 – 63. При этом виде отпуска твердость наибольшая из всех видов отпуска. Низкому отпуску подвергается режущий и измерительный инструмент из углеродистых и низколегированных сталей.

**Средний отпуск** проводится при температуре 350 – 500 °С. Такой вид отпуска обеспечивает стали высокий предел упругости, предел выносливости и релаксационную стойкость. Структура носит название троостит отпуска. Твер-

дость после среднего отпуска HRC 40 – 50. Такому отпуску подвергают пружины, рессоры, ударный штамповый инструмент холодного деформирования.

**Высокий отпуск** проводится при температуре 500 – 650 °С. Высокий отпуск создает наилучшее соотношение прочности и вязкости стали. Структура носит название сорбит отпуска. Твердость после высокого отпуска HRC 35 - 25.

Закалка в сочетании с высоким отпуском называется **термическим улучшением**. Улучшение в значительной степени повышает конструкционную прочность стали, уменьшая чувствительность к концентраторам напряжений, снижая температуру верхнего и нижнего порога хладноломкости стали. Такому отпуску подвергаются молотовые штампы и прессовый инструмент, работающие при больших удельных давлениях и высоких температурах.

Продолжительность выдержки при отпуске устанавливают с таким расчетом, чтобы обеспечить стабильность свойств стали. При низком отпуске инструментов продолжительность его, чаще всего, составляет 0,5 – 2 часа в зависимости от сечения инструмента. Продолжительность отпуска увеличивается до 10 – 15 часов, если температура низкого отпуска не превышает 100 - 120 °С. В этом случае, например, когда падение твердости не желательно, такой продолжительный отпуск позволяет исключить объемные изменения в процессе эксплуатации инструмента. Продолжительность среднего и высокого отпуска обычно составляет от 1 до 2 часов для инструмента небольшого сечения и от 3 до 8 часов инструмента большой массы.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Изучить теоретический раздел настоящей практической работы.

3.2. Выбрать вариант индивидуального задания по таблице К1 (приложение И).

3.3. Для заданной марки стали выписать химический состав по таблице К2 приложения А.

3.4. Рассчитать критические точки  $A_{C1}$ ,  $A_{C3}$ ,  $M_N$ ,  $M_K$  по регрессионным уравнениям 1,2,3,4,5,6. Результаты занести в таблицу 3.2.

3.5. Назначить режим упрочняющей термической обработки инструмента. Результаты занести в таблицу 3.2.

3.6. Назначить температуру нагрева стали под закалку и отпуск в зависимости от рассчитанных критических точек. Результаты занести в таблицу 3.2.

3.7. Выбрать охлаждающую среду. Результаты занести в таблицу 3.2.

3.8. Рассчитать общее время нагрева инструмента по уравнениям 7,8. Результаты занести в таблицу 3.2.

3.9. Определить микроструктуру стали после закалки и отпуска. Результаты занести в таблицу 3.2.

3.10. Построить графики термической обработки заданного инструмента в координатах «Температура- время нагрева» с указанием исходной структуры стали, структуры при нагреве и после охлаждения.

3.11. Охарактеризовать свойства инструмента после проведенной термической обработки.

Таблица 3.2 – Режим термической обработки инструмента или детали исследуемой марки стали

| Объект исследования               |          | Инструмент |
|-----------------------------------|----------|------------|
| Критические точки                 | $A_{C1}$ |            |
|                                   | $A_{C3}$ |            |
|                                   | $M_H$    |            |
|                                   | $M_K$    |            |
| Вид термообработки:               |          |            |
| - нагрев под закалку, $^{\circ}C$ |          |            |
| - нагрев под отпуск $^{\circ}C$   |          |            |
| Время нагрева под закалку, мин    |          |            |
| Охлаждающая среда:                |          |            |
| - закалка                         |          |            |
| - отпуск                          |          |            |
| Микроструктура:                   |          |            |
| - закалка                         |          |            |
| - отпуск                          |          |            |

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Наименование работы.

4.2. Цель работы.

4.3. Химический состав заданной марки стали.

4.3. Таблица 2 - Режим термической обработки инструмента или детали исследуемой марки стали.

4.4. Графики термической обработки заданного инструмента в координатах «Температура - время нагрева» с указанием исходной структуры стали, структуры при нагреве и после охлаждения.

4.5. Описание окончательных свойств заданного инструмента.

4.6. Выводы по работе.

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

5.1. Что такое критические точки и каково их практическое значение?

5.2. В чем заключается режим окончательной термической обработки инструмента?

5.3. Как выбирается температура нагрева стали под закалку?

5.4. Для какой цели проводится расчет критических точек  $M_H$  и  $M_K$ ?

5.5. Какова структура стали после закалики?

5.6. Что такое отпуск?

5.7. Какие виды отпуска существуют?

5.8. Какова структура и свойства стали после различных видов отпуска?

5.9. От чего зависит время нагрева стали до заданной температуры под закалку?

5.10. Как определить общее время нагрева инструмента под закалку?

## Практическая работа № 9

### КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с маркировкой порошковых материалов, их составом, способами получения, назначением и свойствами

#### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Порошковой металлургией называют отрасль промышленности, занимающаяся производством металлических порошков, а также изделий из них.

Основными задачами порошковой металлургии является:

- получение порошков и изделий из порошков из стандартных конструкционных материалов с существенно лучшими механическими и служебными свойствами;

- получение материалов и изделий с особым составом, структурой и свойствами, которые недостижимы другими методами производства. Такими материалами являются композиционные материалы (композиты). Они отличаются свойствами, которыми не может обладать ни один из компонентов сплава, взятый в отдельности.

Конструкционные детали, изготовленные из порошковых конструкционных материалов, имеют минимальную стоимость и трудоемкость (почти отсутствуют отходы).

#### Технология порошковой металлургии

Технологический процесс изготовления изделий состоит из следующих этапов:

1. Производство порошков. Порошки обычно получают на специализированных производствах механическими и физико-химическими методами. Метод получения порошков определяет их свойства и форму.

2. Подготовка шихты – сортировка по фракциям и тщательное перемешивание порошков.

Процесс подготовки включает в себя:

- сушку (если повышенная влажность);
- отжиг применяют с целью повышения пластичности порошков и их пресуемости. Нагрев осуществляется в защитной атмосфере при температуре  $(0,4 - 0,6) \cdot T_{пл} (^{\circ}K)$  металла порошка, или наименее тугоплавкого основного компонента смеси порошков

- рассев (классификацию) по фракциям для более оптимальной плотности при формовании;

- развес и смешивание для создания равномерного распределения различных порошков.

Полученные смеси обычно необходимо использовать в течение нескольких часов.

3. Формование (прессование в металлических пресс-формах, помещаемых в механические или гидравлические прессы.

Технологический процесс получения прессовки достаточно прост:

- дозируют порцию смеси,
- засыпают в пресс-форму,
- уплотняют до требуемой плотности,
- затем прессовку выталкивают из открытой пресс-формы и укладывают на специальные поддоны для последующего спекания.

Полученные прессовки имеют малую прочность, и поэтому с ними необходимо обращаться достаточно осторожно.

Сложность пресс-форм определяется группой сложности порошковых изделий по форме. Таких групп сложности существует семь (от простых к сложным).

#### 4. Спекание

Спекание обычно производится в специальных печах с нейтральной или восстановительной атмосферой, либо в вакууме при температурах, составляющих 70 - 90 % от температуры плавления основного компонента. В процессе спекания:

- восстанавливаются и диссоциируют окисные пленки,
- удаляются пары и газы,
- устраняются дефекты кристаллических решеток металлических порошков,
- происходит рекристаллизация частиц порошка,
- диффундируют атомы между соседними частицами, способствуя созданию металлических связей и многое другое.

5. Дополнительная обработка (пропитка деталей смазкой, термическая обработка, химико-термическая обработка и т.д.).

Размеры частиц порошка обычно составляют 0,1мкм - 0,1мм. Более крупные называют гранулами, более мелкие – пудрой.

В зависимости от пористости детали из порошковых материалов делятся на пористые с плотностью  $(6,0 - 6,8) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$  и плотные с плотностью  $(7,2 - 7,7) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Чем выше требования по прочности к изделию, тем меньше должна быть пористость. Пористые детали делятся на 4 группы пористости:

С увеличением плотности (уменьшением пористости) одновременно возрастает пластичность и ударная вязкость. Изменяя пористость, можно регулировать плотность и механические свойства, подбирать материалы с заданным уровнем свойств, для конкретных условий работы детали (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика порошковых конструкционных сталей и изделий из них

| Группа деталей по степени нагруженности | Группа плотности | Пористость, % | $\sigma_B$ , % от $\sigma_B$ беспористых | $\delta$ и КСЧ, % от беспористых сталей |
|-----------------------------------------|------------------|---------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Малонагруженные                         | 1                | 25-16         | 30-46                                    | 25-35                                   |
| Умеренно нагруженные                    | 2                | 15-10         | 45-65                                    | 35-60                                   |
| Средненагруженные                       | 3                | 9-2           | 65-95                                    | 60-90                                   |
| Тяжело нагруженные                      | 4                | $\leq 2$      | 96-100                                   | 90-100                                  |

### Дозировка порошка

Расчет навески, дозирование и засыпка порции порошка в матрицу пресс-формы занимают важное место в процессе получения прессовки. Правильность выбора навески порошка - одно из основных условий изготовления изделия заданных размеров и формы. Общепринятой является расчетная формула (1) для величины навески:

$$Q = \gamma_{\hat{e}} \cdot V(1 - \hat{I}/100) \hat{E}_1 \cdot \hat{E}_2, \text{ кг} \quad (1)$$

где  $Q$  – навеска порошка, кг;  $\gamma_k$  – плотность беспористого (компактного) материала, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – объем изделия после спекания м<sup>3</sup>,  $I$  – фактическая пористость спеченного изделия, %;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий потери порошка при прессовании и зависящий от точности изготовления детали прессформы и равный 1,005 – 1,01;  $K_2$  – коэффициент, учитывающий потерю массы прессовкой при спекании в результате восстановления оксидов и удаления примесей, и смазки и равный 1,01 – 1,03.

При прессовании смесей разнородных компонентов их плотность  $\gamma_k$  определяют по правилу аддитивности, по формуле 2

$$\gamma_k = \frac{100}{a_1 / \gamma_1 + a_2 / \gamma_2 + a_3 / \gamma_3 + \dots + a_n / \gamma_n}, \text{ кг/м}^3 \quad (2)$$

где  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \dots \gamma_n$  – плотности отдельных компонентов, кг/м<sup>3</sup>;  $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$  – содержание отдельных компонентов в смеси, % (по массе).

Дозирование осуществляют по массе или объемным способом в зависимости от типа прессового оборудования и проводят вручную или посредством автоматических дозаторов.

### Цветные порошковые материалы

По химическому составу порошковые цветные металлы и их сплавы могут быть идентичны компактным, но известны материалы, производство которых возможно только методами порошковой металлургии.

Различают:

- по плотности,

- составу,
- структуре
- способу производства.

Они могут быть пористыми или беспористыми. Изделия из них получают холодным прессованием и спеканием, горячим прессованием или горячей штамповкой.

### Маркировка

#### Конструкционные материалы на основе железа:

Маркируются буквами ПК, что означает порошковый конструкционный материал, далее следует цифра, показывающая среднее содержание углерода в сотых долях процента (если углерода 1 %, то цифра не ставится), остальные буквы в марке указывают на содержание легирующих компонентов (см. табл.1), а цифры после букв показывают на массовую долю этих компонентов. Через дефис в конце марки стоит число, указывающее на плотность материала  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>).

Например: ПК40Н2Д2-6,4 - П – порошковый материал, К – конструкционный, 40 – среднее содержание углерода в сотых долях процента (0,4%), Н2 – Ni -2%, Д2 – Cu -25, 6,8 – плотность  $\rho = 6,8$  г/см<sup>3</sup>.

Таблица 1 – Обозначения легирующих компонентов

| Обозначение         | Д  | Х  | Ф | К | М  | Г  | Т  | Н  |
|---------------------|----|----|---|---|----|----|----|----|
| Легирующий элемент. | Cu | Cr | P | S | Mo | Mn | Ti | Ni |

#### Конструкционные материалы на основе цветных металлов:

Их изготавливают из порошков цветных металлов Al, Mg, Be, Cu, Ni, бронз, латуней и др.

Маркируются в зависимости от основы сплава: АЛ - алюминиевый; Бр – бронза, Б – бериллий, Л – латунь, В - вольфрам, Г - марганец, Д - медь, Ж - железо, М - молибден, Мг - магний, Н - никель, О - олово, П - фосфор, С - кремний, Св - свинец, Ср - серебро, Т - титан, Ф - ванадий, Х - хром, Ц - цинк, Цр - цирконий. Второй буквенный индекс П - порошковый, затем указывается состав сплава (Д-Св, Ж-Fe, Г-Мп, Мц – Mg и др.), а число после дефиса – пористость материала в %.

Например: АЛПМг6Г4 -4 – АЛ – алюминиевый сплав, П – порошковый, Mg -6% , Мп -4%, группа пористости 4.

БрПО -4 - Бр – бронза, П – порошковая, Sn – 1%, 4 – группа пористости.

ЛП58Г2-2 – Л – латунь, П – порошковая, Cu - 58%, Мп - 2%, 2 – группа пористости.

#### Антифрикционные конструкционные материалы

Эти материалы применяют для изготовления подшипников скольжения, уплотнений и т.д. Основа этих материалов медь или железо. В своем составе имеют вещества типа твердых смазок (графит, сульфиды и т.д.).

Основные свойства этих материалов:

1. Низкий коэффициент трения;
2. Хорошая износостойкость;

3. Способность мягко прирабатываться к валу и выдерживать большие нагрузки.

Вкладыши подшипников, изготовленные из порошковых композиционных материалов на основе железа, бронзы или меди с добавлением графита, имеют срок службы в 3 – 7 раз больше по сравнению с традиционными баббитами.

Антифрикционные сплавы на основе железа маркируются буквами ПА, что означает порошковый антифрикционный. После дефиса указывают на основу сплава (Ж – железо, Бр – бронза), за основной следуют буквы, обозначающие легирующие элементы, входящие в состав сплава. Цифры, стоящие после букв показывают среднее содержание этих элементов.

Например: ПА-ЖГр3М15 – П – порошковый, А – антифрикционный, Ж – основа – железо, 3% графита, 15% молибдена.

Таблица 2 – Обозначения легирующих компонентов

| Обозначение        | Ж  | Д  | О  | Г  | Х  | Н  | Ф | Б | К | Мс | Цс | Л   | М  |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|---|---|---|----|----|-----|----|
| Легирующий элемент | Fe | Cu | Sn | Mn | Cr | Ni | P | B | S | *  | ** | *** | Mo |

\*- десульфид молибдена; \*\* - сернистый цинк \*\*\* - латунь

ПА-БрГр2 - П – порошковый, А – антифрикционный, Бр – основа бронза, 2% графита.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Выписать индивидуальное задание, используя таблицы 1 – 6 (Приложение Ж). Вариант задания соответствует порядковому номеру студента в групповом журнале.

3.2. Расшифровать марки материалов, предложенных в индивидуальном задании.

3.3. Перечислить этапы технологического процесса получения порошковых материалов.

3.4. Рассчитать навеску предложенного изделия из заданной марки материала по формулам 1 и 2. Исходные данные для расчета в таблице 5.

3.5. Сделать вывод по работе

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Наименование работы.

4.2. Цель работы.

4.3. Индивидуальное задание.

4.4. Расшифровка марок материалов.

4.5. Описание способа получения заданной марки материала.

4.6. Расчет навески порошка предложенного изделия.

4.7. Вывод по работе.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Что такое порошковый материал?
- 5.2. Как маркируются порошковые материалы на основе железа?
- 5.3. Что обозначает буква П в начале марки?
- 5.4. Что обозначает буква К после буквы П?
- 5.5. Как определить содержание углерода в порошковой конструкционной стали?
- 5.6. Что обозначает число, стоящее через дефис в конце марки?
- 5.7. На что влияет пористость материала?
- 5.8. Как маркируются порошковые материалы на основе цветных сплавов?
- 5.9. Как маркируются антифрикционные порошковые материалы?
- 5.10. Перечислите последовательность технологических операций получения порошковых материалов.
- 5.11. Какие этапы включает в себя процесс подготовки порошков?
- 5.12. Перечислите методы формования порошков.
- 5.13. Как проводится процесс спекания порошков?
- 5.14. Какая дополнительная обработка применяется для порошковых материалов?
- 5.15. Какие бывают группы пористости порошковых материалов?

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сапунов, С.В. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.В. Сапунов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 208 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/56171>.  
Загл. с экрана.
2. Материаловедение: Учебное пособие для вузов / Л.В. Тарасенко, С.А. Пахомова, М.В. Унчикова, С.А. Герасимов; Под ред. Л.В. Тарасенко. - М.: НИЦ Инфра-М, 2012. - 475 с.. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-004868-0 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/257400>
3. Земсков, Ю.П. Материаловедение [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю.П. Земсков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 188 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/113910>.  
Загл. с крана.
4. Богодухов, С.И. Курс материаловедения в вопросах и ответах [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.И. Богодухов, А.В. Синюхин, Е.С. Козик. — Электрон. дан. — Москва : Машиностроение, 2014. — 352 с.  
—Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/63212>. — Загл. с экрана.
5. Материаловедение для транспортного машиностроения [Электронный ресурс] : учебное пособие / Э.Р. Галимов [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2013. — 448 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/30195>. — Загл. с экрана.
6. Алексеев, Г.В. Виртуальный лабораторный практикум по курсу «Материаловедение» [Электронный ресурс] : учебное пособие / Г.В. Алексеев, И.И. Бриденко, С.А. Вологжанина. — Электрон. дан. — Санкт- Петербург : Лань, 2013. — 208 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/47615>.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А** - Справочные материалы к практической работе 1.

Таблица А1 – Индивидуальное задание для определения метода измерения твердости

| № вар. | Наименование изделия           | Твердость |
|--------|--------------------------------|-----------|
| 1      | 2                              | 4         |
| 1      | Кусачки                        | HV 800    |
|        | Винт червячной пары            | HRC 50    |
|        | Толкатель грузового автомобиля | HRC 60    |
|        | Втулка нефтяного насоса        | HV 780    |
| 2      | Гайка нажимного винта          | HB 200    |
|        | Развертка                      | HRC 61    |
|        | Втулка                         | HRB 80    |
|        | Гидроцилиндр                   | HB 265    |
| 3      | Хвостовик сверла               | HRC 50    |
|        | Гребной винт                   | HB 100    |
|        | Хирургический инструмент       | HRC 50    |
|        | Фланец                         | HB 110    |
| 4      | Крышка редуктора               | HB 210    |
|        | Втулка                         | HRB 89    |
|        | Рессора                        | HB 400    |
|        | Резец                          | HRC 63    |
| 5      | Штуцер гидросистемы            | HB 680    |
|        | Зубчатое колесо                | HRC 56    |
|        | Измерительная скоба            | HRA 55    |
|        | Заготовка под вал              | HRB 85    |
| 6      | Коленчатый вал дизеля          | HV 600    |
|        | Корпус редуктора               | HB 240    |
|        | Штамп для холодной штамповки   | HRC 60    |
|        | Валок прокатного стана         | HB 450    |
| 7      | Палец рулевого управления      | HRA 55    |
|        | Заготовка под втулку           | HRB 87    |
|        | Муфта                          | HB 260    |
|        | Резец                          | HRC 50    |
| 8      | Шарик подшипника               | HRC 65    |
|        | Кулачки                        | HB 370    |
|        | Заготовка под плунжер          | HRB 80    |
|        | Шестерня                       | HV 250    |
| 9      | Шпиндель станка                | HV 750    |
|        | Фреза                          | HRC 55    |
|        | Кольцо подшипника              | HRC 61    |
|        | Муфта                          | HB 269    |

Продолжение таблицы А1

| 1  | 2                            | 3      |
|----|------------------------------|--------|
| 10 | Шестерня автомобиля          | HRC 59 |
|    | Коленчатый вал автомобиля    | HB 220 |
|    | Заготовка под инструмент     | HRB 95 |
| 11 | Шейка коленвала              | HV 650 |
|    | Капир-шаблон                 | HV 750 |
|    | Зубчатое колесо              | HRC 58 |
| 12 | Кольцо подшипника            | HRC 61 |
|    | Муфта                        | HB 269 |
|    | Рессора                      | HB 400 |
| 13 | Резец                        | HRC 63 |
|    | Пресс-форма                  | HV 800 |
|    | Зубчатое колесо              | HRC 45 |
| 14 | Хирургический инструмент     | HRC 50 |
|    | Фланец                       | HB 110 |
|    | Измерительная скоба          | HRA 45 |
| 15 | Заготовка под шестерню       | HRB 95 |
|    | Муфта                        | HB 260 |
|    | Резец                        | HRC 50 |
| 16 | Гибочный штамп               | HV 700 |
|    | Сверло                       | HRC 55 |
|    | Шестерня                     | HRC 45 |
| 17 | Заготовка под вал            | HB 385 |
|    | Кусачки                      | HV 800 |
|    | Винт червячной пары          | HRC 50 |
| 18 | Рессора автомобиля           | HRC 40 |
|    | Отливка зубчатого колеса     | HRA 80 |
|    | Гайка нажимного винта        | HB 250 |
| 19 | Развертка                    | HRC 58 |
|    | Заготовка под плунжер        | HRB 80 |
|    | Шестерня                     | HV 250 |
| 20 | Пружина                      | HB 300 |
|    | Метчик                       | HRC 60 |
|    | Кольцо подшипника            | HRC 61 |
| 21 | Муфта                        | HB 269 |
|    | Палец рулевого управления    | HRA 55 |
|    | Заготовка под шток           | HRB 98 |
| 22 | Штамп для холодной штамповки | HRC 60 |
|    | Валок прокатного стана       | HB 450 |
|    | Капир-шаблон                 | HV 700 |
| 23 | Зубчатое колесо              | HRC 48 |

Окончание таблицы А1

| 1  | 2                                                         | 3                 |
|----|-----------------------------------------------------------|-------------------|
| 20 | Измерительная скоба<br>Заготовка под вал                  | HRA 55<br>HRB 85  |
|    | Шестерня автомобиля<br>Коленчатый вал автомобиля          | HRC 48<br>HB 3000 |
| 21 | Толкатель грузового автомобиля<br>Втулка нефтяного насоса | HRC 60<br>HV 780  |
|    | Палец рулевого управления<br>Заготовка под втулку         | HRA 50<br>HRB 90  |
| 22 | Коленчатый вал судна<br>Фреза                             | HV 800<br>HRC 58  |
|    | Измерительный инструмент<br>Заготовка под шестерню        | HRA 58<br>HRB 95  |
| 23 | Гибочный штамп<br>Резец                                   | HV 700<br>HRC 55  |
|    | Рессора автомобиля<br>Отливка зубчатого колеса            | HRC 45<br>HRA 80  |
| 24 | Пресс-форма<br>Зубчатое колесо                            | HV 800<br>HRC 45  |
|    | Калибр-пробка<br>Заготовка под корпус                     | HRA 60<br>HRB 90  |
| 25 | Втулка<br>Гидроцилиндр                                    | HRB 80<br>HB 265  |
|    | Рессора автомобиля<br>Отливка зубчатого колеса            | HRC 45<br>HRA 70  |
| 26 | Гибочный штамп<br>Сверло                                  | HV 700<br>HRC 55  |
|    | Измерительная скоба<br>Заготовка под вал                  | HRA 55<br>HRB 85  |
| 27 | Измерительная скоба<br>Заготовка под вал                  | HRA 55<br>HRB 95  |
|    | Капир-шаблон<br>Зубчатое колесо                           | HV 600<br>HRC 40  |
| 28 | Рессора<br>Резец                                          | HB 300<br>HRC 60  |
|    | Кусачки<br>Винт червячной пары                            | HV 500<br>HRC 40  |

Таблица А2 – Соотношение чисел твердости различных методов измерения

| HV  | HRC  | HRA  | HRB  | HB  | HV  | HRC  | HRA  | HRB | HB  |
|-----|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|
| 160 | -    | 46,6 | 80   | 136 | 490 | 49,6 | 75,3 | -   | 475 |
| 170 | -    | 48,4 | 84,4 | 147 | 500 | 50,4 | 75,7 | -   | 485 |
| 180 | -    | 50   | 87,5 | 158 | 510 | 51   | 76,1 | -   | 494 |
| 190 | -    | 51,6 | 90   | 169 | 520 | 51,7 | 76,5 | -   | 504 |
| 200 | 7    | 53,2 | 92,3 | 180 | 530 | 52,3 | 77   | -   | 514 |
| 210 | 10,5 | 54,6 | 94,4 | 190 | 540 | 53   | 77,4 | -   | 523 |
| 220 | 13,9 | 55,9 | 96,2 | 202 | 550 | 53,5 | 77,8 | -   | 532 |
| 230 | 16,8 | 57,2 | 98   | 212 | 560 | 54,1 | 78,1 | -   | 540 |
| 240 | 19,4 | 58,4 | 99,5 | 223 | 570 | 54,6 | 78,5 | -   | 547 |
| 250 | 21,7 | 59,5 | -    | 234 | 580 | 55,2 | 78,9 | -   | 554 |
| 260 | 23,8 | 60,5 | -    | 245 | 590 | 55,6 | 79,2 | -   | 559 |
| 270 | 25,7 | 61,5 | -    | 256 | 600 | 56,1 | 79,4 | -   | 563 |
| 280 | 27,4 | 62,4 | -    | 267 | 610 | 56,6 | 79,7 | -   | 566 |
| 290 | 29   | 63,3 | -    | 278 | 620 | 57   | 80   | -   | 569 |
| 300 | 30,5 | 64,1 | -    | 289 | 630 | 57,5 | 80,3 | -   | 570 |
| 310 | 31,9 | 64,8 | -    | 300 | 640 | 57,9 | 80,6 | -   | -   |
| 320 | 33,3 | 65,6 | -    | 310 | 650 | 58,3 | 80,9 | -   | -   |
| 330 | 34,6 | 66,3 | -    | 321 | 660 | 58,7 | 81,1 | -   | -   |
| 340 | 35,8 | 67   | -    | 332 | 670 | 59,1 | 81,4 | -   | -   |
| 350 | 37   | 67,6 | -    | 343 | 680 | 59,5 | 81,6 | -   | -   |
| 360 | 38,1 | 68,3 | -    | 354 | 690 | 59,8 | 81,9 | -   | -   |
| 370 | 39,2 | 68,9 | -    | 365 | 700 | 60,2 | 82,1 | -   | -   |
| 380 | 40,2 | 69,5 | -    | 375 | 710 | 60,5 | 82,3 | -   | -   |
| 390 | 41,2 | 70,1 | -    | 385 | 720 | 60,8 | 82,5 | -   | -   |
| 400 | 42,1 | 70,6 | -    | 395 | 730 | 61,2 | 82,7 | -   | -   |
| 410 | 43   | 71,2 | -    | 405 | 740 | 61,5 | 83   | -   | -   |
| 420 | 44   | 71,8 | -    | 415 | 750 | 61,8 | 83,2 | -   | -   |
| 430 | 44,9 | 72,3 | -    | 425 | 760 | 62,1 | 83,4 | -   | -   |
| 440 | 45,8 | 72,8 | -    | 435 | 770 | 62,4 | 83,6 | -   | -   |
| 450 | 46,6 | 73,3 | -    | 445 | 780 | 62,7 | 83,9 | -   | -   |
| 460 | 47,3 | 73,8 | -    | 455 | 790 | 63   | 84   | -   | -   |
| 470 | 48,2 | 74,3 | -    | 465 | 800 | 63,3 | 84,3 | -   | -   |
| 480 | 49   | 74,8 | -    | 475 |     |      |      |     |     |

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Справочные материалы к практической работе 2**

Таблица А1 - Индивидуальное задание для определения прочности и пластичности

| №<br>вар | Материал           | Параметры образцов               |                        |                        | Р <sub>в</sub> ,<br>Н | σ <sub>в</sub> ,<br>МПа | δ, % |
|----------|--------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|------|
|          |                    | F <sub>0</sub> , мм <sup>2</sup> | L <sub>0</sub> ,<br>мм | L <sub>к</sub> ,<br>мм |                       |                         |      |
| 1        | 2                  | 3                                | 4                      | 5                      | 6                     | 7                       | 8    |
| 1        | Железо             | 10                               | 100                    | 130                    | 3000                  |                         |      |
|          | Сталь углеродистая | 10                               | 100                    | 112                    | 7000                  |                         |      |
|          | Алюминий           | 5                                | 50                     | 70                     | 400                   |                         |      |
|          | Дюралюмин (Д16)    | 5                                | 50                     | 57                     | 1600                  |                         |      |
| 2        | Железо             | 10                               | 100                    | 130                    | 3000                  |                         |      |
|          | Сталь легированная | 10                               | 100                    | 108                    | 11500                 |                         |      |
|          | Медь               | 10                               | 100                    | 125                    | 1600                  |                         |      |
|          | Бронза             | 10                               | 100                    | 103                    | 6500                  |                         |      |
| 3        | Железо             | 10                               | 100                    | 130                    | 3000                  |                         |      |
|          | Чугун              | 10                               | 100                    | 103                    | 5000                  |                         |      |
|          | Титан              | 8                                | 100                    | 125                    | 5000                  |                         |      |
|          | Сплав титана BT-9  | 8                                | 100                    | 110                    | 13000                 |                         |      |
| 4        | Железо             | 10                               | 100                    | 130                    | 3000                  |                         |      |
|          | Нержавеющая сталь  | 10                               | 100                    | 120                    | 5800                  |                         |      |
|          | Алюминий           | 5                                | 50                     | 70                     | 400                   |                         |      |
|          | Сплав алюмин AMг6  | 5                                | 50                     | 54                     | 3000                  |                         |      |
| 5        | Медь               | 10                               | 100                    | 125                    | 1600                  |                         |      |
|          | Латунь             | 10                               | 100                    | 104                    | 4500                  |                         |      |
|          | Титан              | 8                                | 100                    | 125                    | 5000                  |                         |      |
|          | Сплав титана BT-9  | 8                                | 100                    | 110                    | 13000                 |                         |      |
| 6        | Железо             | 10                               | 100                    | 130                    | 3000                  |                         |      |
|          | Сталь 40X          | 10                               | 100                    | 108                    | 10000                 |                         |      |
|          | Алюминий           | 5                                | 50                     | 70                     | 400                   |                         |      |
|          | Силумин AL9        | 5                                | 50                     | 60                     | 1200                  |                         |      |
| 7        | Титан              | 8                                | 100                    | 125                    | 5000                  |                         |      |
|          | Сплав титана BT5   | 8                                | 100                    | 112                    | 8000                  |                         |      |
|          | Алюминий           | 5                                | 50                     | 70                     | 400                   |                         |      |
|          | Силумин            | 5                                | 50                     | 55                     | 900                   |                         |      |
| 8        | Железо             | 10                               | 100                    | 130                    | 3000                  |                         |      |
|          | Сталь 38ХМЮА       | 10                               | 100                    | 108                    | 7500                  |                         |      |
|          | Медь               | 10                               | 100                    | 125                    | 1600                  |                         |      |
|          | Латунь Л80         | 10                               | 100                    | 113                    | 6400                  |                         |      |
| 9        | Алюминий           | 5                                | 50                     | 70                     | 400                   |                         |      |
|          | Сплав алюм. AMг5   | 5                                | 50                     | 60                     | 1500                  |                         |      |
|          | Титан              | 8                                | 100                    | 125                    | 5000                  |                         |      |
|          | Сплав титана BT5   | 8                                | 100                    | 110                    | 8000                  |                         |      |

Продолжение таблицы А1

| 1  | 2                   | 3  | 4   | 5   | 6    | 7 | 8 |
|----|---------------------|----|-----|-----|------|---|---|
| 10 | Медь                | 10 | 100 | 125 | 1600 |   |   |
|    | Латунь              | 10 | 100 | 105 | 6600 |   |   |
|    | Алюминий            | 10 | 100 | 140 | 800  |   |   |
|    | Дюралюмин Д20       | 10 | 100 | 110 | 5500 |   |   |
| 11 | Железо              | 10 | 100 | 130 | 3000 |   |   |
|    | Сталь хромистая     | 10 | 100 | 108 | 7000 |   |   |
|    | Магний              | 10 | 100 | 108 | 1000 |   |   |
|    | Сплав магния МЛ6    | 10 | 100 | 101 | 2600 |   |   |
| 12 | Железо              | 10 | 100 | 130 | 3000 |   |   |
|    | Чугун               | 10 | 100 | 101 | 5000 |   |   |
|    | Титан               | 10 | 100 | 125 | 6500 |   |   |
|    | Сплав титана ВТ-5-1 | 10 | 100 | 110 | 9000 |   |   |
| 13 | Медь                | 10 | 100 | 125 | 1600 |   |   |
|    | Бронза              | 10 | 100 | 110 | 4000 |   |   |
|    | Магний              | 10 | 100 | 108 | 1000 |   |   |
|    | Сплав магния МЛ1    | 10 | 100 | 105 | 2000 |   |   |
| 14 | Алюминий            | 10 | 100 | 140 | 800  |   |   |
|    | Сплав алюмин. Д16   | 10 | 100 | 110 | 3000 |   |   |
|    | Железо              | 10 | 100 | 130 | 3000 |   |   |
|    | Сталь углеродистая  | 10 | 100 | 112 | 5500 |   |   |
| 15 | Магний              | 10 | 100 | 108 | 1000 |   |   |
|    | Сплав магния МА2    | 10 | 100 | 103 | 2700 |   |   |
|    | Медь                | 10 | 100 | 125 | 1600 |   |   |
|    | Бронза              | 10 | 100 | 107 | 7000 |   |   |
| 16 | Алюминий            | 10 | 100 | 140 | 800  |   |   |
|    | Сплав алюмин. АЛ2   | 10 | 100 | 105 | 1800 |   |   |
|    | Железо              | 10 | 100 | 130 | 3000 |   |   |
|    | Сталь углеродистая  | 10 | 100 | 115 | 5000 |   |   |
| 17 | Титан               | 10 | 100 | 125 | 6500 |   |   |
|    | Сплав титана ОТ4    | 10 | 100 | 110 | 7500 |   |   |
|    | Алюминий            | 10 | 100 | 140 | 800  |   |   |
|    | Дюралюмин Д20       | 10 | 100 | 113 | 4300 |   |   |
| 18 | Медь                | 10 | 100 | 125 | 1600 |   |   |
|    | Латунь              | 10 | 100 | 105 | 4000 |   |   |
|    | Магний              | 10 | 100 | 108 | 1000 |   |   |
|    | Сплав магния МА3    | 10 | 100 | 105 | 2400 |   |   |
| 19 | Железо              | 10 | 100 | 130 | 3000 |   |   |
|    | Сталь               | 10 | 100 | 115 | 6500 |   |   |
|    | Алюминий            | 10 | 100 | 140 | 800  |   |   |
|    | Дюралюмин Д16       | 10 | 100 | 107 | 6700 |   |   |

Окончание таблицы А1

| 1  | 2                  | 3  | 4   | 5   | 6     | 7 | 8 |
|----|--------------------|----|-----|-----|-------|---|---|
| 20 | Алюминий           | 10 | 100 | 140 | 800   |   |   |
|    | Сплав алюминия     | 10 | 100 | 112 | 4000  |   |   |
|    | Титан              | 10 | 100 | 125 | 6500  |   |   |
|    | Сплав титана BT3-1 | 10 | 100 | 117 | 11000 |   |   |
| 21 | Медь               | 10 | 100 | 125 | 1600  |   |   |
|    | Бронза бериллиевая | 10 | 100 | 102 | 9500  |   |   |
|    | Магний             | 10 | 100 | 108 | 1000  |   |   |
|    | Сплав магния МА16  | 10 | 100 | 105 | 3000  |   |   |
| 22 | Титан              | 10 | 100 | 125 | 6500  |   |   |
|    | Сплав титана BT9   | 10 | 100 | 106 | 13000 |   |   |
|    | Алюминий           | 10 | 100 | 140 | 800   |   |   |
|    | Сплав алюмин. АЛ2  | 10 | 100 | 110 | 3500  |   |   |
| 23 | Железо             | 10 | 100 | 130 | 3000  |   |   |
|    | Сталь углеродистая | 10 | 100 | 112 | 7000  |   |   |
|    | Медь               | 10 | 100 | 125 | 1600  |   |   |
|    | Бронза             | 10 | 100 | 105 | 8500  |   |   |
| 24 | Магний             | 10 | 100 | 108 | 1000  |   |   |
|    | Сплав магния       | 10 | 100 | 105 | 3000  |   |   |
|    | Титан              | 10 | 100 | 125 | 6500  |   |   |
|    | Сплав титана BT14  | 10 | 100 | 106 | 14500 |   |   |
| 25 | Медь               | 10 | 100 | 125 | 1600  |   |   |
|    | Латунь             | 10 | 100 | 102 | 4500  |   |   |
|    | Алюминий           | 10 | 100 | 140 | 800   |   |   |
|    | Сплав алюмин. АЛ9  | 10 | 100 | 103 | 2000  |   |   |
| 26 | Железо             | 10 | 100 | 125 | 2500  |   |   |
|    | Сталь 38ХМЮА       | 10 | 100 | 108 | 6500  |   |   |
|    | Медь               | 10 | 100 | 125 | 1500  |   |   |
|    | Латунь Л80         | 10 | 100 | 113 | 5000  |   |   |
| 27 | Алюминий           | 5  | 50  | 70  | 500   |   |   |
|    | Сплав алюм. АМг5   | 5  | 50  | 60  | 1500  |   |   |
|    | Титан              | 8  | 100 | 125 | 4000  |   |   |
|    | Сплав титана BT5   | 8  | 100 | 110 | 7000  |   |   |
| 28 | Магний             | 10 | 100 | 108 | 1500  |   |   |
|    | Сплав магния МА2   | 10 | 100 | 103 | 2900  |   |   |
|    | Медь               | 10 | 100 | 125 | 2000  |   |   |
|    | Бронза             | 10 | 100 | 107 | 7000  |   |   |

**ПРИЛОЖЕНИЕ В** Справочные материалы к практической работе 3

Таблица В1 – Варианты индивидуального задания

| Вариант задания | Материал                       | Температура плавления, °С | Температуры деформации, °С |
|-----------------|--------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 1               | 2                              | 3                         | 4                          |
| 1               | Железо<br>Сплав магния МА2     | 1539<br>630               | 400; 650<br>200; 300       |
| 2               | Сталь 08<br>Медь               | 1510<br>1083              | 800; 200<br>300; 500       |
| 3               | Сплав алюминия АМг<br>Молибден | 640<br>2620               | 100; 200<br>500; 900       |
| 4               | Дюралюмин<br>Хром              | 610<br>1890               | 150; 400<br>800; 1200      |
| 5               | Магний<br>Сталь 60             | 651<br>1500               | 250; 450<br>650; 750       |
| 6               | Латунь ЛА85-05<br>Олово        | 1020<br>232               | 350; 500<br>50; 250        |
| 7               | Титан<br>Сплав магния МА5      | 1665<br>605               | 900; 1300<br>100; 200      |
| 8               | Бронза БрОЦ4-4-2,2<br>Алюминий | 1020<br>660               | 250; 750<br>100; 400       |
| 9               | Латунь<br>Серебро техническое  | 890<br>1539               | 500; 700<br>400; 600       |
| 10              | Сплав магния МА4<br>Вольфрам   | 615<br>3410               | 250; 400<br>1500; 2500     |
| 11              | Свинец<br>Латунь Л90           | 327<br>900                | 40; 200<br>180; 300        |
| 12              | Бронза БрА5<br>Медь            | 1056<br>1083              | 400; 550<br>100; 250       |
| 13              | Сталь 40<br>Алюминий           | 1510<br>660               | 600; 800<br>150; 300       |
| 14              | Сплав титана ВТ5<br>Титан      | 1600<br>1665              | 600; 800<br>1000; 1300     |
| 15              | Латунь Л70<br>Кадмий           | 915<br>320                | 120; 300<br>40; 150        |
| 16              | Медь<br>Латунь                 | 1083<br>1000              | 300; 700<br>250; 600       |
| 17              | Олово<br>Бериллий              | 232<br>1284               | 30; 130<br>180; 780        |
| 18              | Никель<br>Сплав МА4            | 1455<br>615               | 600; 800<br>250; 400       |
| 19              | Латунь Л90<br>Марганец         | 875<br>1245               | 100; 250<br>60; 250        |

## Окончание таблицы Б1

| 1  | 2                   | 3    | 4         |
|----|---------------------|------|-----------|
| 20 | Сталь 10            | 1520 | 30; 530   |
|    | Кобальт             | 1490 | 700; 900  |
| 21 | Сплав алюминия АМг2 | 650  | 90; 200   |
|    | Хром                | 1890 | 200; 900  |
| 22 | Вольфрам            | 3410 | 900; 1500 |
|    | Сплав алюминия АЛ2  | 580  | 100; 200  |
| 23 | Латунь Л60          | 895  | 300; 400  |
|    | Титан               | 1665 | 500; 1000 |
| 24 | Бронза БрБ2         | 955  | 100; 300  |
|    | Магний              | 651  | 250; 400  |
| 25 | Сплав магния МА2    | 630  | 50; 250   |
|    | Кремний             | 1440 | 200; 600  |
| 26 | Серебро техническое | 1539 | 400; 700  |
|    | Дюраль Д16          | 610  | 250; 300  |
| 27 | Сталь 10            | 1520 | 30; 530   |
|    | Кадмий              | 320  | 10; 130   |
| 28 | Латунь ЛА85-05      | 1020 | 250; 500  |
|    | Олово               | 232  | 50; 150   |

ПРИЛОЖЕНИЕ Г - Справочные материалы к практической работе 4

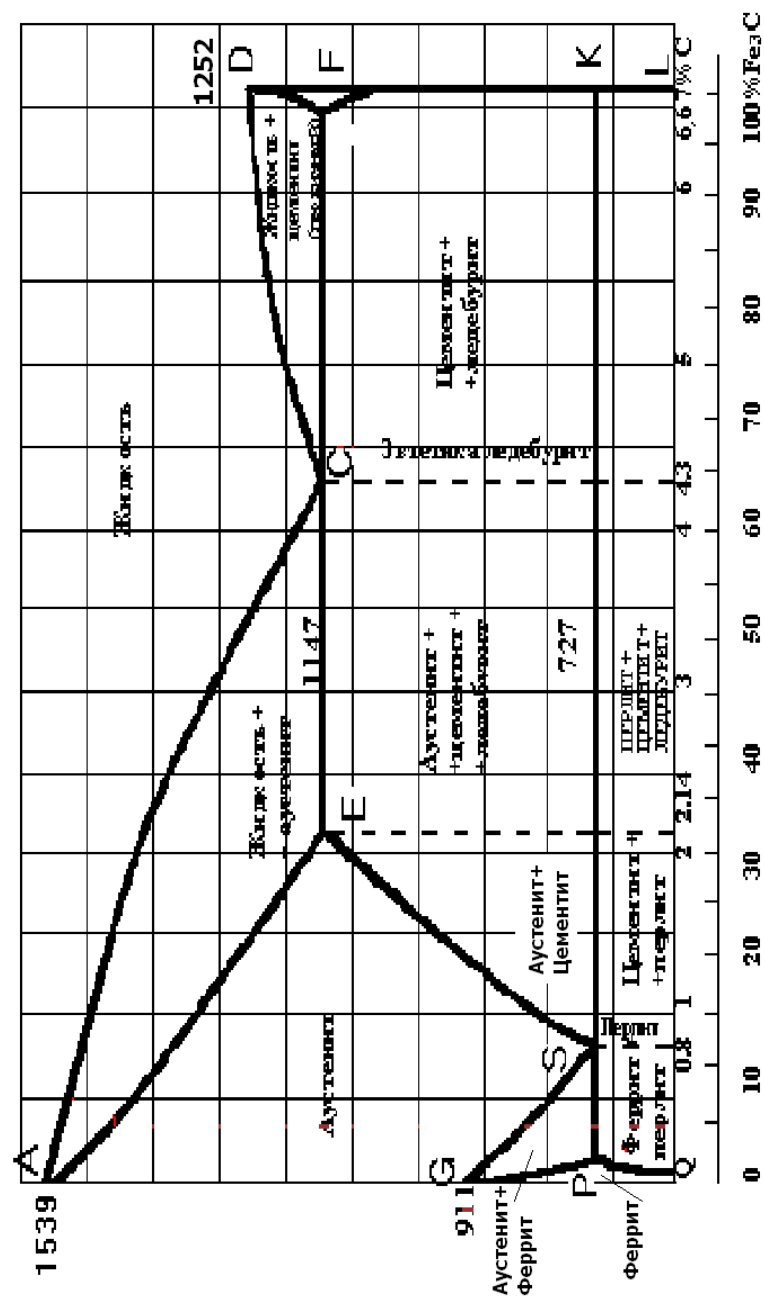


Рисунок 1 - Диаграмма состояния железо-углерод (железо-цементит)

Таблица Г1 – Варианты индивидуального задания

|                 |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| № варианта      | <b>1</b>  | <b>2</b>  | <b>3</b>  | <b>4</b>  | <b>5</b>  | <b>6</b>  | <b>7</b>  | <b>8</b>  |
| С, %            | 0,2       | 0,3       | 0,4       | 0,6       | 1,1       | 1,3       | 1,5       | 1,7       |
| Температура, °С | 500       | 750       | 200       | 300       | 730       | 1450      | 500       | 900       |
| № варианта      | <b>9</b>  | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> | <b>14</b> | <b>15</b> | <b>16</b> |
| С, %            | 2         | 2,4       | 2,7       | 3         | 3,5       | 3,7       | 4         | 4,2       |
| Температура, °С | 850       | 1100      | 900       | 750       | 850       | 400       | 850       | 500       |
| № варианта      | <b>17</b> | <b>18</b> | <b>19</b> | <b>20</b> | <b>21</b> | <b>22</b> | <b>23</b> | <b>24</b> |
| С, %            | 4,5       | 4,8       | 5         | 5,2       | 5,8       | 6         | 6,1       | 6,5       |
| Температура, °С | 1000      | 1200      | 350       | 980       | 750       | 1200      | 500       | 800       |

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д - Справочные материалы к практической работе 5**

Таблица Д1 - Варианты задания к практической работе

| № вар. | Марки материала                                                                    |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | 2                                                                                  |
| 1      | 20, 16Х-Ш, 9ХС, У8-Ш, КЧ40-9, ЧЮХШ, Р12МЗК5Ф2-МП, ВК8; А20, Т5К10, ХВГ, Ст2        |
| 2      | 30А, Ст3кп, У11, Т15К6, 20Х13, 4Х5МФС, ХВСГ, ВЧ98, Р6М5, ВК3, 40-Ш, АЧС-2          |
| 3      | 20Л, ВК6, 38Х2С, 20ХГС2Н-ШЛ, Р6М5К5, Х6ВФ, Т10К5, КЧ 40-12, А12, ВСт5, У10А, ЧНХМД |
| 4      | 35-Ш, ВК8, У12, 18ХГСН2ВМА, 5ХНМ, СЧ25, АС14, БСт4, Р18, Т30К4, Х12Ф1, КЧ60-3      |
| 5      | Ст3, ХВГ, Р6М5, КЧ35-7, 40Х2ГСНМ, ШХ15, ТТ15К8, 20А, А20, ЧН11Г7Ш, ВК9, 5ХГМ       |
| 6      | 08, У12А, 17ХНЗМА, КЧ40-5, Р6М5К5, ВК6, ВСт1кп, 3Х2В8Ф, ХНМ, Т30К4, А12, АЧВ-2     |
| 7      | БСт2, У13, 9ХС, 06Х16Н15МЗБ-Ш, Р6М5, СЧ25, ШХ15СГ, АС40, 40, ТТ10К8-Б, ЧН11Г7Ш, Х  |
| 8      | ВСт5, У7, 6ХС, 18ХГСН2ВМА, Т15К10, Р18; ВЧ45, 40-ШЛ, ЧНХТ, Х12, У8ГА, АЧС-1        |
| 9      | 7ХФН, 20-Ш, АС40, ВК6-М, Р12МЗК5, АЧК-2, ХВСГ, СЧ18, Т5К9, 04Х18Н10, У8А, Ст3      |
| 10     | 60, Р6М5, 25ХЗНМ, ВК8, ШХ15, ВСт4, У10, 4Х5В2ФС, ХВГ, АЧС-3, Т5К10, КЧ35-10        |
| 11     | 50А, 30Х2М, ХВСГ, 20ХМ-ШЛ, Р12МЗК5, У7А, КЧ38-12, ВСт5кп, ЧЮХШ, Т10К8, 3Х2В8Ф, А20 |
| 12     | 20-Ш, 36ХНМФА, ШХ15, Р6М5К5, ВК8, ВЧ100, Ст0, 5ХГМ, У11, ХНМ, А45Е, ЧХ16           |
| 13     | ВСт6, Р18, 6ХС-Ш, 09Г2СД, КЧ37-12, ВК6, ЧНХМД, 60А, А40Г, Х12М, АЧК-2, У7          |
| 14     | БСт2, 12Х13, 16Г2НМЛ, СЧ25, Р8МЗК6С, ВК6-М, ЧН19Х3Ш, 4ХНСВ, ХНМ, 20Л, А20, Т15К5   |
| 15     | 60, Х, Св-08Х21НЮБ, 38ХМЮА, Р6М5, ВЧ140; ВК6, СЧ15, 4Х3В2М2Ф2. У12, Т5К10, АС38ХГМ |
| 16     | 50, 16ГНМ-Ш, Св-08Х3Г2, ВСт5пс, Р6М5, Т15К6, АЧВ-2, ЧНХМД, У10А, А45Е, ХНМ, 3Х2В8Ф |
| 17     | 25Л, 20Х3ВФ, ШХ15, СЧ20, Р12МЗК5, Т15К6, ЧС15, ВК3-М, У9, ХВСГ, 5ХНСВ, АС30ХМ      |
| 18     | БСт5, 10Х2МФБ, 03Х13, КЧ37-12, Р6М5К5, ВК6, ЧН19Х3Ш, А12, 3Х2В8Ф, У10, 30Л, ТТ8К6  |
| 19     | 40Л, Р12Ф3, 30ХМА, У11, СЧ30, 3Х2М2Ф, ВК10-ОМ, А40ХЕ, ХГМ, ЧН11Г7Ш, АЧК-1, Т15К6   |

## Окончание таблицы Г1

| 1  | 2                                                                                 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 20 | Ст3, 12Х21Н5Т, Р6М4, 15Х11МВФЛ, У8, ВК3, АС12ХН, ХВГ, 5ХНСВ, Т30К4, КЧ33-8, ЧЮ7Х2 |
| 21 | БСт2, 12Х21Н5Т, 9ХС, У8А, Т15К10, Р6М5-МП, СЧ40, Х12М, ВК8М, АС40, ЧНХТ, АЧВ-2    |
| 22 | 25Л, 40Х3СНМФ, Р6М5Ф3, ВЧ45; ТТ15К8, Х, БСт4, ЧЮХШ, АС12ХН, АЧС-3, Х12М, У10А     |
| 23 | 20-Ш, У10, ЧХ28, 10Х2МФБ, Р6М5К5, ВЧ140, ВК8, АЧК-1, 9ХС, ХСНД, Т14К8, А20        |
| 24 | 10, 17ХН3М-Ш, Р6М5-Ш, ХВГ, Т15К6, КЧ38-12, А20, У11, ВК10-ОМ, А40Г, 4Х5В2ФС, ЧХ16 |
| 25 | 10Х13СЮ, У8А, Св.-10НМ-Ш, 30Л, ШХ15, АЧВ-2, ЧНХМД, ВК8М, Р18, ТТ8К6, СЧ30, А12    |
| 26 | Р6М5Ф3, 25Л, ВСт4, ШХ15СГ, А40Г, Х12, 08Х18Н12Т, У10, Т30К4, ВК6, КЧ35-10, ЧХ28   |

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е - Справочные материалы к практической работе 6**

Таблица Е1 – Варианты индивидуального задания 1

| № вар. | Марки материалов                                                    |
|--------|---------------------------------------------------------------------|
| 1      | 2                                                                   |
| 1      | А95, М1, БрОФ 6,5-0,15, Д1, АМцН, САС1, ВТ5-1, ЛМцН62-3-1, АК4, Б16 |
| 2      | Д16, Л96, МА8, БрОЦС 4-3-1, А97, В95, Б88, ВТ16, М0, САС2           |
| 3      | ЛО62-1, ВТ6, САП2, А85, Д20, АМг1, БрКМц 3-1, АК8, АЛ20, МЛ3        |
| 4      | В95, А99, Б83, АЛ2, ЛКС80-3-3, БрБ 2, МЛ10, САС1, АМц2, ВТ1-0       |
| 5      | М4, БрОНС 11-4-3, В96, А995, АК6, САП3, ВТ14, ЛС60-5, Д20, АК4      |
| 6      | Д1, Л90, А8, БрОФ 10-1, АМг5, МА11, ПОЦ-70, Б17, АЛ8, М0, АК9       |
| 7      | А0, ЛС59-1, САС1, Д16, БрА5, В95, Б80, АЛ4, АМг4, Д1                |
| 8      | АК4, МЛ10, ВТ14, ЛАН59-1-1, БрКН 1-3, А7, ПМФ5, Б20, АЛ2, САП2      |
| 9      | ЛЖМц59-1-1, Б88, А99, БрОЦС 4-4-2,5, МА1, АМцМ, Д20, АК3, В92, М3   |
| 10     | А5, АК8, М2, БрОФ 6,5-0,4, САП2, ЛК80-3Л, БК2, Д10, АЛ12, ПСр65     |
| 11     | Л68, МЛ10, БрАЖН 10-4-4, А95, В96, М00, ВТ22, АК2, АЛ4, Б16         |
| 12     | Д20, ЛМцОС58-2-2-2, АЛ8, БрА7, АК6, МА8, Б16, САП3, М4, В95         |
| 13     | А99, САС1, ЛАЖ60-1-1, БрОЦ5-1, ВТ6, АМг6, Д1, АЛ8, ПМФ7, АК9        |
| 14     | Л70, БрКМц3-1, А8, М3, АК2, САП2, ПСр60, Д20, ВТ16Л, БК4            |
| 15     | А97, М00, Д16, Б83, АЛ8, БрОФ6,5-4, В96, МА5, САС3, ВТ15-1          |
| 16     | ЛК80-3Л, САП3, БрБ2, А85, АМг5, Д20, ВТ5-1, АК2, В90, АМг4          |
| 17     | АМцП, ЛА77-2, Б16, А0, БрАЖН9-4-4, АЛ9, САС1, АК8, Д1, Л65          |
| 18     | А99, МА9, АЛ13, ЛС59-1, БрОЦСН3-7-5-1, М3, ВТ14, Б80, АК2, АК8      |
| 19     | ЛН65-5, БрОФ4-3, А6, АК6, Д16, МЛ10, БК6, САП4, М3, МА5             |

Окончание таблицы Е1

| 1  | 2                                                                 |
|----|-------------------------------------------------------------------|
| 20 | МЗ, А99, ВТ14, БрКМц3-1, ЛМцОС58-2-2-2, МА8, АЛ4, Д11, В90, Б16   |
| 21 | АМг3, А7, Л63, БрОЦС 4-4-2,5, В95, САПЗ, Б83, ЛАЖ60-2-1, Д4, АЛ11 |
| 22 | АК4, МЛ5, Д20, ЛМцЖ52-4-1, БрА5, А995, ПМЦ45, Б80, АЛ2, В85       |
| 23 | ЛО70-1, Б16, А8, БрКМц 3-1, АЛ2, МА1, АМг5, АК8, Д16, ПСр60       |
| 24 | А95, АК8, ЛАН59-1-1, САС1 Д1, БрКМцН 3-2-1, ВТ6, Б80, АЛ14, В85   |
| 25 | В95, АЛ25, Б88, ЛАЖМц66-6-3-2, БрБ2, А86, САПЗ, Д18, ВТ22Л, МЗ    |
| 26 | М00, МА11, А9, БрАЖН 10-4-4, ЛА77-2, АК6, ВТ22, Д1, АЛ11, Б16     |
| 27 | ЛО60-2, ВТ1-6Л, САС2, М5, Д20, АМцМ, БрКМц 5-2, АК3, Б20, МЛЗ     |
| 28 | ЛК80-3, САПЗ, БрОФ10-2, А85, АМг5, Д1, ВТ5-1, АК2, В90, Б80       |

Таблица Е2 – Варианты индивидуального задания 2

| № вар. | Изделие                                      | Способ получения         | Предполагаемые материалы |
|--------|----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1      | 2                                            | 3                        | 4                        |
| 1      | Шина для подвода электропитания              | ОМД (листовой прокат)    | Д1, А95, АЛЗ             |
| 2      | Каркас двери лифта                           | ОМД (фасонный прокат)    | А999, АЛ2, Д1            |
| 3      | Лопасть винта вертолета                      | ОМД (ковка)              | АЛ5, АК6, А0             |
| 4      | Корпус двигателя                             | Литье                    | А95, АЛ2, МА1            |
| 5      | Панель легкого прибора                       | ОМД (холодная штамповка) | МА1, АЛ2, БрБ2           |
| 6      | Корпус легкого прибора                       | Литье                    | А999, МЛ6, ЛК80 – 3Л     |
| 7      | Радиаторная трубка в двигателе               | ОМД (холодная вытяжка)   | Л63, Л96, АЛЗ            |
| 8      | Средненагруженная тонкостенная втулка        | ОМД (холодная штамповка) | М00, АЛ4, Л68            |
| 9      | Крышка насоса для перекачивания морской воды | Литье                    | Л63, Д1, БрОЦ10 - 2      |
| 10     | Износостойкая втулка                         | ОМД (холодная штамповка) | М00, АЛ2, БрА5           |

## Окончание таблицы Е2

| 1                                         | 2                                                                                                 | 3                                | 4                    |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| 11                                        | Болт, контактирующий с морской водой                                                              | ОМД (холодная штамповка)         | ЛО70 – 1, Л63, МЛ5   |
| 12                                        | Обшивка корпуса подводных лодок                                                                   | ОМД (листовой прокат)            | М4, Мг90, ВТ1 - 00   |
| 13                                        | Труба для транспортировки пылевидного топлива (требования – износостойкость и взрывобезопасность) | ОМД (холодная вытяжка)           | М0, АЛ4, БрБ2        |
| 14                                        | Пластины коллектора электрических машин                                                           | ОМД (листовой прокат)            | М00, САС, МА14       |
| 15                                        | Маслопровод самолетов                                                                             | ОМД (вытяжка, прессование)       | МЛ12, Л90, АЛ9       |
| 16                                        | Пружины для приборов, работающих в тяжелых условиях при повышенных температурах                   | ОМД (прокат, волочение, навивка) | БрКМц3–1, А999, М4   |
| 17                                        | Пружина для контактов в радиотехнической схеме                                                    | Прокат, волочение, навивка       | БрОФ10–1, АЛ2, БрБ2  |
| 18                                        | Конденсаторная трубка                                                                             | ОМД (холодная вытяжка)           | АЛ2, Л85, М00        |
| 19                                        | Корпус компрессора                                                                                | Литье                            | Д16, М4, АЛ4         |
| 20                                        | Слабонагруженный подшипник скольжения                                                             | Литье                            | ЛО70-1, АО, Д20      |
| 21                                        | Вкладыш подшипника скольжения вагона                                                              | Литье                            | АЛ2, Б83, ЛЖМц59–1–1 |
| 22                                        | Гильза снаряда                                                                                    | ОМД (холодная вытяжка)           | МЛ2, Л70, Д1         |
| 23                                        | Труба для бензина или масла                                                                       | ОМД (глубокая вытяжка)           | АМц2, АЛ2, БрБ2      |
| 24                                        | Заклепка                                                                                          | ОМД (холодная штамповка)         | Д18, МЛ2, БрОФ10 – 1 |
| 25                                        | Кузов грузового автомобиля                                                                        | ОМД (холодная вытяжка)           | Д16, МЛ10, ВТ1 – 00  |
| 26                                        | Втулка для шарикоподшипника                                                                       | Литье                            | М4, Д1, ЛС59 – 1     |
| 27                                        | Втулка, работающая в морской воде                                                                 | Литье                            | А99, МА4, ЛА67 – 2,5 |
| <b>ОМД – обработка металлов давлением</b> |                                                                                                   |                                  |                      |

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж** - Справочные материалы к практической работе 7

Таблица Е1 – Варианты задания

| № варианта | № задачи   | № варианта | № задачи   |
|------------|------------|------------|------------|
| <b>1</b>   | 1, 12, 31  | <b>14</b>  | 14, 24, 37 |
| <b>2</b>   | 2, 14, 28  | <b>15</b>  | 15, 4, 32  |
| <b>3</b>   | 3, 6, 36   | <b>16</b>  | 16, 26, 30 |
| <b>4</b>   | 4, 10, 30  | <b>17</b>  | 17, 9, 15  |
| <b>5</b>   | 5, 11, 31  | <b>18</b>  | 18, 22, 33 |
| <b>6</b>   | 6, 18, 25  | <b>19</b>  | 19, 8, 35  |
| <b>7</b>   | 7, 24, 35  | <b>20</b>  | 5, 12, 20  |
| <b>8</b>   | 8, 29, 32  | <b>21</b>  | 21, 29, 32 |
| <b>9</b>   | 9, 20, 25  | <b>22</b>  | 3, 22, 30  |
| <b>10</b>  | 10, 24, 33 | <b>23</b>  | 9, 12, 23  |
| <b>11</b>  | 11, 18, 28 | <b>24</b>  | 10, 18, 24 |
| <b>12</b>  | 12, 19, 29 | <b>25</b>  | 11, 25, 33 |
| <b>13</b>  | 13, 26, 36 | <b>26</b>  | 3, 26, 32  |
|            |            | <b>27</b>  | 12, 16, 27 |

**Задача 1**

Сталь 40 подверглась закалке от температур 760 и 840 °С. Опишите превращения, происходящие при данных режимах закалки. Укажите, какие структуры образуются, и объясните причины получения разных структур. Какой режим следует рекомендовать?

**Задача 2**

С помощью диаграммы состояния железо-цементит определите температуру полной и неполной закалки для стали 45, дайте краткое описание микроструктуры и свойств после каждого вида термообработки, постройте графики этих видов термообработки.

**Задача 3**

После закалки углеродистой стали со скоростью выше критической была получена структура, состоящая из Феррита и Мартенсита. Определите, каков был состав стали, и какая была проведена термическая обработка. Постройте график данной термообработки.

**Задача 4**

С помощью диаграммы железо-цементит определите температуры нормализации, отжига и закалки для стали У12. Охарактеризуйте эти режимы термообработки и свойства после каждого вида обработки.

**Задача 5**

С помощью диаграммы состояния железо-цементит определите температуру полного и неполного отжига для стали 50, дайте краткое описание микрострук-

туры и свойств после каждого вида термообработки, постройте графики этих видов термообработки.

### **Задача 6**

С помощью диаграммы состояния железо-цементит определите температуру полного и неполного отжига для стали У11, дайте краткое описание микроструктуры и свойств после каждого вида термообработки, постройте графики этих видов термообработки.

### **Задача 7**

После термообработки стали получена структура Мартенсит отпуска + Цементит. Укажите состав стали (по углероду), температуру нагрева этой стали под закалку. Назначьте температуру отпуска, обеспечивающую получение заданной структуры.

### **Задача 8**

Два образца из стали У10 закалены от разных температур нагрева: один от оптимальной, а второй на  $90^{\circ}\text{C}$  выше оптимальной. Будут ли различия в твердости у этих образцов и почему?

### **Задача 9**

Сталь 40 подверглась полному и неполному отжигу. Постройте графики этих видов термообработки, укажите, какие структуры образуются при отжиге. Объясните причины получения различных структур и свойств.

### **Задача 10**

После термообработки стали получена структура Троостит отпуска. Укажите температуру нагрева этой стали под закалку. Назначьте температуру отпуска, обеспечивающую получение заданной структуры, постройте графики этих видов термообработки.

### **Задача 11**

После термообработки стали получена структура Сорбит отпуска. Укажите температуру нагрева этой стали под закалку. Назначьте температуру отпуска, обеспечивающую получение заданной структуры, постройте графики этих видов термообработки.

### **Задача 12**

Назначьте температуру нормализации для сталей 45 и У12. Постройте графики этих видов термообработки. Укажите получаемые структуры.

### **Задача 13**

Из стали 40 был изготовлен вал. Назначьте окончательную термообработку. Постройте график с указанием температур и микроструктур.

**Задача 14**

Из стали 65 была изготовлена пружина. Назначьте окончательную термообработку. Постройте график с указанием температур и микроструктур.

**Задача 15**

Из стали У12 был изготовлен резец. Назначьте окончательную термообработку. Постройте график термообработки с указанием температур и микроструктур.

**Задача 16**

Из стали 50 была изготовлена шестерня. Назначьте окончательную термообработку. Постройте график термообработки с указанием температур и микроструктур.

**Задача 17**

Из стали 40 была изготовлена заготовка под вал. Назначьте предварительную термообработку для этой заготовки. Постройте график термообработки с указанием температур и микроструктур.

**Задача 18**

Из стали У12 была изготовлена заготовка под резец. Назначьте предварительную термообработку для этой заготовки. Постройте график термообработки с указанием температур и микроструктур.

**Задача 19**

После термической обработки заэвтектоидной стали образовалась цементитная сетка. Укажите, какая была проведена термическая обработка. Какой термической обработкой можно исправить такой недостаток. Приведите график этой обработки.

**Задача 20**

Используя диаграмму состояния железо-углерод назначьте для стали 40 температуру закалки и отпуска, необходимые для обеспечения твердости 40 HRC. Постройте графики термической обработки и опишите превращения на всех этапах обработки, получаемую структуру и свойства.

**Задача 21**

Два образца из стали 50 закалены от разных температур нагрева: один – от оптимальной температуры нагрева, а второй – от межкритического интервала температур. Постройте графики термообработки образцов. Будут ли различия в твердости у этих образцов и почему?

**Задача 22**

С помощью диаграммы состояния железо-цементит опишите структурные превращения, происходящие при нагреве стали 45. Укажите критические точки

$A_{C1}$  и  $A_{C3}$  для этой стали. Установите режим нагрева стали под закалку. Приведите график закалки, опишите получаемую структуру и свойства.

### **Задача 23**

С помощью диаграммы состояния железо-цементит назначьте режим термической обработки (температуру закалки, температуру отпуска и охлаждающие среды) изделий из стали 50, которые должны иметь твердость 25 HRC. Постройте график выбранной термической обработки и укажите изменения микроструктуры и свойств стали.

### **Задача 24**

Что такое нормализация? Используя диаграмму состояния железо-цементит, укажите температуру нормализации стали 45 и стали У12. Постройте графики этой термообработки и опишите превращения, происходящие в сталях при заданном режиме обработки, получаемую структуру и свойства.

### **Задача 25**

Назначьте предварительную и окончательную термообработку для эвтектоидной стали с указанием динамики изменения микроструктуры и свойств. Постройте графики этих видов термообработки.

### **Задача 26**

С помощью диаграммы состояния железо-цементит определите температуру нормализации, отжига и закалки для стали 60. Постройте графики этих видов термической обработки и опишите структуры и свойства стали после каждого вида обработки

### **Задача 27**

Два образца из стали 45 закалены от разных температур нагрева: один от оптимальной температуры нагрева, а второй – от межкритического интервала температур. Постройте графики этих видов термической обработки и объясните, будут ли различия в твердости у этих образцов и почему?

### **Задача 28**

Используя диаграмму состояния железо-цементит, определите температуру полного и неполного отжига для стали 30. Постройте графики этих видов термической обработки и опишите изменения структур и свойств стали в процессе каждого вида обработки.

### **Задача 29**

Используя диаграмму состояния железо-цементит, определите температуру полного и неполного отжига для стали 60. Постройте графики этих видов термической обработки и опишите изменения структур и свойств стали в процессе каждого вида обработки.

### **Задача 30**

Для изготовления плашек выбрана сталь У11А. Назначьте режим термической обработки, приведите его обоснование и укажите структуру и свойства плашек в готовом виде. Постройте график термической обработки.

### **Задача 31**

Назначьте режим термической и химико-термической обработки шестерни из стали 20Х с твердостью зуба 58... 62 HRC. Опишите микроструктуру и свойства поверхности и сердцевины зуба после термической обработки. Постройте графики ХТО и термической обработки.

### **Задача 32**

Для изготовления разверток используется углеродистая сталь марки У10. Назначьте режим термической обработки, опишите сущность происходящих превращений, структуру и свойства инструмента. Постройте график термической обработки.

### **Задача 33**

Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска зубил из стали У7. Опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и твердость инструмента после термической обработки. Постройте график термической обработки.

### **Задача 34**

В результате термической обработки детали должны иметь твердый износостойчивый поверхностный слой при вязкой сердцевине. Для изготовления выбрана сталь 15ХФ. Назначьте режим термической и химико-термической обработки и построьте графики.

### **Задача 35**

Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска различных деталей из стали 45, которые должны иметь твердость 28... 35 HRC. Опишите микроструктуру и свойства стали после термической обработки. Постройте график термической обработки.

### **Задача 36**

Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска метчиков из стали У10А. Опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и твердость инструмента после термической обработки. Постройте график термической обработки.

### **Задача 37**

Используя диаграмму состояния железо-углерод, определите температуру полного и неполного отжига и нормализации для стали 20. Постройте графики данных видов термической обработки и опишите микроструктуру и свойства стали.

**ПРИЛОЖЕНИЕ И** - Справочные материалы к практической работе 8

Таблица И1 - Варианты задания

| №  | Марка стали | Вид инструмента          | Размер сечения инструмента, мм | Форма инструмента |
|----|-------------|--------------------------|--------------------------------|-------------------|
| 1  | ХВСГ        | сверло                   | Ø 10                           | цилиндр           |
| 2  | 5ХНМ        | штамп гор. штамповки     | 400x400                        | параллелепипед    |
| 3  | Х           | измерительный калибр     | Ø 20                           | цилиндр           |
| 4  | 6ХС         | зубило                   | Ø 22                           | цилиндр           |
| 5  | 7ХФ         | стамеска                 | Ø 15                           | цилиндр           |
| 6  | ХВГ         | метчик                   | Ø 20                           | цилиндр           |
| 7  | 9ХФ         | стамеска                 | толщина 8                      | пластина          |
| 8  | 7НГ2ВМ      | штамп хол. штамповки     | 100x100                        | параллелепипед    |
| 9  | 5НГМ        | штамп ковочный           | 550x550                        | параллелепипед    |
| 10 | ХВСГ        | матрица штампа           | Ø 20                           | цилиндр           |
| 11 | 4ХС         | нож                      | толщина 10                     | пластина          |
| 12 | 11ХФ        | метчик                   | Ø 8                            | цилиндр           |
| 13 | ХВГ         | плашка                   | толщина 10                     | цилиндр           |
| 14 | 7ХЗ         | матрицы для гор. высадки | 50x50                          | параллелепипед    |
| 15 | 5ХНСВ       | молотовые штампы         | 450x450                        | параллелепипед    |
| 16 | ХВСГ        | плашки                   | Ø 70                           | цилиндр           |
| 17 | 5ХНМ        | штамп хол. штамповки     | 100x100                        | параллелепипед    |
| 18 | Х           | сверло                   | Ø 10                           | цилиндр           |
| 19 | 6ХС         | стамеска                 | толщина 15                     | пластина          |
| 20 | 7ХФ         | зубило                   | Ø 22                           | цилиндр           |
| 21 | ХВГ         | фреза                    | Ø 60                           | цилиндр           |
| 22 | 9ХФ         | измерительный калибр     | Ø 40                           | цилиндр           |
| 23 | 7НГ2ВМ      | штамп ковочный (ГОМД)    | 550x550                        | параллелепипед    |
| 24 | 5НГМ        | штамп хол. штамповки     | 200x200                        | параллелепипед    |
| 25 | ХВСГ        | прошивка                 | Ø 30x30                        | цилиндр           |
| 26 | 4ХС         | молотовые штампы         | 350x350                        | параллелепипед    |
| 27 | 11ХФ        | сверло                   | Ø 25x25                        | цилиндр           |

Таблица И2 – Химический состав некоторых инструментальных сталей (по массе)

| №  | Сталь   | Массовая доля элементов, % |            |          |         |         |           |                          |
|----|---------|----------------------------|------------|----------|---------|---------|-----------|--------------------------|
|    |         | C                          | Si         | Cr       | W       | Mo      | V         | Др.                      |
| 1  | 2       | 3                          | 4          | 5        | 6       | 7       | 8         | 9                        |
| 1  | 5ХНМ    | 0,5-0,6                    | -          | 0,5-0,8  | -       | 0,1-0,3 | -         | 1,4-1,8 Ni               |
| 2  | 5ХНВ    | 0,5-0,6                    | -          | 0,5-0,8  | 0,4-0,7 | -       | -         | 1,4-1,8 Ni               |
| 3  | 9ХФ     | 0,8-0,9                    | 0,15-0,35  | 0,4-0,7  | -       | -       | -         | 0,3-0,6 Mn               |
| 4  | 7Х3     | 0,6-0,75                   | 0,15-0,35  | 3,2-3,8  | -       | -       | -         | 0,15-0,4 Mn              |
| 5  | 4Х5В2ФС | 0,3-0,4                    | 0,8-1,2    | 4,5-5,5  | 1,6-2,2 | -       | 0,6-0,9   | -                        |
| 6  | ХВСГ    | 0,95-1,05                  | 0,65-1,0   | 0,6-1,0  | 0,7-1,0 |         | 0,05-0,15 | 0,6-0,9Mn                |
| 7  | Х       | 0,95-1,0                   | 0,15-0,35- | 1,3-1,65 | -       | -       | -         | 0,15-0,4 Mn,<br>0,35 Ni  |
| 8  | 6ХС     | 0,6-0,7                    | 0,6-1,0    | 1,0-1,3  | -       | -       | -         | 0,2-0,4Mn<br>0,35 Ni     |
| 9  | ХВГ     | 0,9-1,05                   | 0,15-1,3   | 0,5-0,8  | 0,5-0,8 | -       | -         | 0,8-1,1 Mn,<br>0,35 Ni   |
| 10 | 7НГ2ВМ  | 0,7-0,8                    | 0,3-0,7    | 1,5-1,8  | 0,9-1,3 | 0,5-0,8 | 0,1-0,25  | 1,8-2,3Mn,<br>1,4-1,8 Ni |
| 11 | 4ХС     | 0,35-0,45                  | 1,2-1,6    | 1,3-1,6  | -       | -       | -         | 0,2-0,4 Mn,<br>0,25 Ni   |
| 12 | 11ХФ    | 1,05-1,14                  | 0,15-0,35  | 0,4-0,7  | -       | -       | 0,15-0,30 | 0,4-0,7 Mn,<br>0,25 Ni   |
| 13 | 5НГМ    | 0,5-0,6                    | 0,25-0,65  | 0,6-0,9  | -       | -       | 0,15-0,3  | 1,2-1,6Mn,<br>1,4-1,8 Ni |
| 14 | 5ХНСВ   | 0,5-0,6                    | 0,6-0,9    | 1,3-1,6  | -       | -       | 0,4-0,7   | 0,3-0,6Mn,<br>0,8-1,2 Ni |
| 15 | 7ХФ     | 0,63-0,73                  | 0,15-0,35  | 0,4-0,7  | -       | -       | 0,15-0,3  | 0,3-0,6 Mn<br>0,35 Ni    |

**ПРИЛОЖЕНИЕ К** - Справочные материалы к практической работе 9

Таблица К1 – Варианты задания

| № вар. | Марка материала                                                                                                              |
|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | 2                                                                                                                            |
| 1      | ПК40ДЗ-6,0; ПК10Х13М2-7,4; ПК70Х3-6,4; ПА-ЖГр2К; БеП-4; ВП-4; ПА-ЖХ18Н15КБ; ПА-ЖГрДФК; АЛП-3; ЛП58Г2-2; БрПО-4               |
| 2      | ПК10-7,2; ПК10Х25-7,4; ПК40ДЗКФ-6,0; ПА-ЖД2; БеП-4; ПА-ЖГрЦсОК; ПА-ЖГрДФМс; ТПАл4МФ-4; ЛП59-4; БрОГр10-3; АЛПД2-4            |
| 3      | ПК40Н2Д2-6,8; ПК20Х13-6,4; ПК40НМ-7,2; ПА-ЖГрДК6; ПА-ЖХ20КБ; ПА-ЖФКМ; АлПМгГ6Г4-4; БрПО10Ц3-4; ЛП80-4; АЛПЖ12-4, БрОГр9-3    |
| 4      | ПК10Н2Д6М-6,4; ПК40Х13М2-7,4; ПКГ13-7,4; БеП-4; БрПО-4, ПА-ЖГр2Д; ПА-ЖДК; ПА-ЖГр3Цс; ТПАл4МФ-4; АЛПМг2Д2Ц11, ТПАл4-4         |
| 5      | ПК10ДЗ-7,4; ПК70Х3-6,4; ПК40Н3Д2Х-6,8; ТП-4; ВП-4; ЛП59-4; ПА-ЖГрДЗК; ПА-ЖФК; БрПО10Ц3-3; АЛПЖ12-4; АЛПМг6Г4-4               |
| 6      | ПК40ДЗ-6,4; ПК10Х18Н15-6,8; ПК10Д2Ф-6,0; ПА-ЖГрДФК, БрОГр8-4; ПА-ЖГр3М; ПА-ЖГрЛ; АЛПМг6Г4-4; БеП-4; БрПО-4; ТПАл4МН-4        |
| 7      | ПК40Н2Д2-6,4; ПКХ6-7,4; ПК10Н4Д4-6,8; ПА-ЖГрДФМс; АЛПМг2Д2Ц11; ПА-ЖГрЛ; ПА-ЖХ18Н15КБ; БрОГр10-2; АЛПД2-4; ВП-4; ЛП80-4       |
| 8      | ПК10-7,6; ПК40ХН2Г-7,4; ПК10Х17Н2-6,8; ПА-ЖГрФК; ПА-ЖХ20КБ, ПА-ЖГрДФМс; АЛПЖ12-4; ЛП59-4; БрПО10Ц3-3; ЛП59-4, ТПАл4МФ-4      |
| 9      | ПК40Х2-6,8; ПК10Н2М-7,6; ПК10Х18Н9Т-6,4; ПА-ЖГрЦсОК; ВП-4; ПА-ЖНБр10Цс; ПАЖГр3Цс; ЛП80-4; АЛПД2-4; БрОГр9-3; БрПО10Ц3-4      |
| 10     | ПК40Н3Д2Х-6,8; ПК10Н4Д4-6,4; ПКХ6; ПА-ЖФКМ; ПА-ЖГрДФМс; ПА-Ж; ЛП58Г2-; БрПО10Ц3-3; АЛПМг2Д2Ц11; ВП-4; БеП-4,                 |
| 11     | ПК40НМ-7,6; ПК10Н2Д6М-6,8; ПК70ДЗ-6,0; ПА-ЖД5; ПА-ЖГрЦс; ПА-ЖГр3М; БрПо-4; ЛП80-4; АЛП-2; ВП-4; АЛПЖ12-4                     |
| 12     | ПК10Д2Ф-6,0; ПК10Х18Н9Т-6,4; ПК10-6,8; ПА-ЖГрЦс, ПА-ЖГрДФМс, ПА-ЖГрДФК; ЛП80-4; АЛПМг6Г4-4; ВП-4, ТПАл4МФ-4; АЛПЖ12-4        |
| 13     | ПК40ДЗК-6,4; ПК70Н2Д2-7,4; ПКГ13-7,4; ПА-ЖГрДК6; ПА-ЖГрФК; ПА-ЖД5; АлПД2-4; БрПО10Ц3-3; АЛПЖ12-4; БрПО-4; ЛП80-4             |
| 14     | ПК40ДЗКФ-6,8; ПК70Х3-6,8; ПК10Н4Д4-6,4; ПА-ЖГр2К; ПА-ЖГрДК1; ПА-ЖНБр10Цс; ТПАл4МФ-4; ЛП59-4; БрПо-4; БрПО10Ц3-3; АЛПМг2Д2Ц11 |
| 15     | ПК10Н2М-7,2; ПКХ6-7,4; ПК70Х3-6,4; ПА-ЖХ20КБ; ПА-ЖГрДФК; ПА-ЖГрДМс; БрПО10Ц3-4; ПА-БрГ2; АлПЖ12-4; БеП-4; ЛП80-4             |

## Окончание таблицы К1

| 1  | 2                                                                                                                          |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16 | ПК70ДЗ-6,0; ПК10ДЗК-6,4; ПК10Х18Н9Т-7,2; ПА-ЖГр2; ПА-ЖГрЦсОК; ПА-ЖГр2К; ПА-БрГ2; АЛПМг2Д2Ц11; ЛП58Г2-2; АЛПЖ12-4; БрПО-4   |
| 17 | ПК40Н2Д2-6,4; ПК10Д5-6,0; ПКХ6-7,4; ПА-ЖГрФК; ПА-ЖГр3; ПА-ЖГрДФМс; ЛП80-4; БрОГр8-4; АЛПД2-4; ВП-4; ТПАЛ4МФ-4              |
| 18 | ПК10Ф-6,8; ПК10Н2Д6М-7,4; ПК70-6,0; ПА-ЖГр3Цс; ПА-ЖД5; ПА-ЖФКМ; БрПО10Ц3-3; АЛПЖ12-4; ВП-4; ЛП59-4; АЛПМг6Г4-4             |
| 19 | ПК40Н2Д2М-6,4; ПК10Х13М2-7,4; ПК70ДЗ-6,4; ПА-ЖГр3Цс; ПА-ЖГрДЗК; ПА-ЖДК; ПА-БрГ2; БрОГр9-3; БеП-4; ЛП80-4, АЛПМг2Д2Ц11      |
| 20 | ПК40ХН2Г-7,4; ПК10Х25-7,6; ПК10Н4Д4-6,4; ПА-ЖГрЛ; ПА-ЖФК; ПА-ЖГрДФМс; АЛПД2-4; БрПО10Ц3-3; БеП-4; ЛП59-4; БрПО-4           |
| 21 | ПКГ13-7,4; ПК10Х18Н15-7,6; ПК10Н2Д6М-7,4; ПА-ЖГр2Д; ПА-ЖФКМ; ПА-ЖХ18Н15КБ; БрПО10Ц3-3; АЛПЖ12-4; БрОГр9-3; БеП-4; ЛП58Г2-2 |

Таблица К2 – Назначение порошковых конструкционных материалов

| №<br>п/п                           | Марка<br>материала                          | Область<br>применения                                            |
|------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Малонагруженные детали, пористые   |                                             |                                                                  |
| 1                                  | ПК40ДЗ-6,0<br>ПК40ДЗ-6,4<br>ПК40Н2Д2-6,4    | Крышки, шайбы, кольца, втулки, кулачки                           |
| Малонагруженные детали, плотные    |                                             |                                                                  |
| 2                                  | ПК10-7,2<br>ПК10-7,6<br>ПК10ДЗ-7,4          | То же                                                            |
| Средненагруженные детали, пористые |                                             |                                                                  |
| 3                                  | ПК40Н2Д2-6,8<br>ПК40Х2-6,8                  | Пальцы, кулачки. Рычаги, поршневые кольца                        |
| Средненагруженные детали, плотные  |                                             |                                                                  |
| 4                                  | ПК40-7,2<br>ПК10Н2Д2-7,6                    | То же                                                            |
| Тяжелонагруженные детали, пористые |                                             |                                                                  |
| 5                                  | ПК40Н2Д2М-6,8<br>ПК40Н3Д2Х-6,8              | Шатунные корпуса, детали насосов пищевых и счетных машинок и др. |
| Тяжелонагруженные детали, плотные  |                                             |                                                                  |
| 6                                  | ПК40НМ-7,6<br>ПК10Н2Д6М-7,4<br>ПК40Н2Д2-7,4 | То же                                                            |

Таблица К3 – Назначение порошковых материалов и сплавов цветных металлов

| №<br>п/п | Марка материала              | Область применения                                                                          |
|----------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | АлПМг6Г4-4<br>АлПМг6-4       | Крепежные детали, детали приборов, детали для химического и пищевого машиностроения         |
| 2        | БрПО-4<br>ЛП80-4             | Детали приборов судостроения, гайки, втулки, червячные винты. Фильтры, подшипники           |
| 3        | ТПАл4-4<br>ТП-4<br>ТПАл6М2-4 | Компрессорные диски, шестерни, трубчатые фильтры, крепеж, шатуны, лопатки турбин, коленвалы |

Таблица К4 – Назначение порошковых антифрикционных материалов на основе железа

| №<br>п/п | Марка<br>материала                  | Область<br>применения                                                        |
|----------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | 2                                   | 3                                                                            |
| 1        | ПА-ЖГрЗЦс                           | Подшипники, втулки, вкладыши, торцовые уплотнения быстровращающихся валов    |
| 2        | ПА-ЖГрЦсОК                          | Подшипники активатора стиральной машины, бытовых приборов и др. оборудования |
| 3        | ПА-ЖГрФК                            | Подшипники и другие детали узлов трения станков, машин и механизмов          |
| 4        | ПА-ЖГрДФК<br>ПА-ЖГрДФМс<br>ПАЖГрДМс | Детали узлов трения автомобилей (шайбы, сухари, втулки)                      |
| 5        | ПА-ЖГрЗМ<br>ПА-ЖНГрЗМ               | Подшипники электромоторов, уплотнения бесшумных компрессоров, приборов и др. |
| 6        | ПА-ЖГр10Цс                          | Торцовые уплотнения насосов, подшипники опор скольжения                      |
| 7        | ПА-ЖФК<br>ПА-ЖФКМ                   | Подшипники и другие детали узлов трения станков, машин и механизмов          |
| 8        | ПА-ЖХ20КБ<br>ПА-ЖХ18Н15КБ           | Подшипники химической аппаратуры, двигателей, приборов                       |

Таблица К5 – Варианты задания к расчету навески порошка

| № вар. | Материал прессовки | Пористость | Форма и размер прессовки, мм |
|--------|--------------------|------------|------------------------------|
| 1      | ПК10Н4Д4           | 16         | Цилиндр Ø =20; h=20          |
| 2      | ПК10Х18Н15         | 24         | Куб 40х40х40                 |
| 3      | ПК40Н2Д2           | 20         | Параллелепипед 30х20х10      |
| 4      | ПК10Д2Ф            | 15         | Цилиндр Ø 25 h= 40           |
| 5      | ПК40Н3Д2Х          | 25         | Куб 35х35х35                 |
| 6      | ПК40Х13М2          | 21         | Параллелепипед 40х30х10      |
| 7      | ПК10Н2Д6М          | 19         | Цилиндр Ø 20; h = 30         |
| 8      | ПК40Д3КФ           | 20         | Куб 50х50х50                 |
| 9      | ПК40ХН2Г           | 18         | Параллелепипед 50х30х20      |
| 10     | ПК10Х17Н2          | 15         | Цилиндр Ø 20; h=50           |
| 11     | ПК10Н2М            | 17         | Куб 25х25х25                 |
| 12     | ПК10Х18Н9Т         | 22         | Параллелепипед 50х10х10      |
| 13     | ПК40Н8Д3Х          | 18         | Цилиндр Ø30; h=20            |
| 14     | ПК10НД4            | 23         | Куб 20х20х20                 |
| 15     | ПК10Н5Д6М          | 21         | Параллелепипед 60х20х10      |
| 16     | ПК70Д3М2           | 24         | Цилиндр Ø 15; h=25           |
| 17     | ПК40НМФ            | 17         | Куб 30х30х30                 |
| 18     | ПК10Х15Н2Д         | 23         | Параллелепипед 40х30х25      |
| 19     | ПК70Х3Д            | 22         | Цилиндр Ø20; h=40            |
| 20     | ПК40Д3Т            | 20         | Куб 60х60х60                 |

Таблица К6 – Плотность металлов и сплавов

| Металлы при 20° С | Плотность металлов, кг/м <sup>3</sup> | Металлы при 20° С | Плотность металлов, кг/м <sup>3</sup> |
|-------------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Алюминий          | 2700                                  | Никель            | 8900                                  |
| Железо            | 7870                                  | Олово белое       | 7300                                  |
| Медь              | 8960                                  | Свинец            | 11400                                 |
| Цинк              | 7140                                  | Вольфрам          | 19300                                 |
| Хром              | 7190                                  | Латунь            | 8500                                  |
| Сурьма            | 6680                                  | Бериллий          | 1850                                  |
| Магний            | 1740                                  | Углерод (графит)  | 2200                                  |
| Кадмий            | 8650                                  | Титан             | 4505                                  |
| Ванадий           | 5960                                  | Кобальт           | 8840                                  |
| Марганец          | 7440                                  | Молибден          | 10200                                 |
| Ниобий            | 8570                                  |                   |                                       |

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.  
ТЕХНОЛОГИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Методические указания  
к выполнению практических работ*

*Составители:* **Шрон** Леонид Борисович,  
**Гордеева** Элеонора Сергеевна, **Колесов** Александр Геннадьевич

В авторской редакции

Изд. № 102/2022. Объем 4,75 п.л. Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,66.  
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»