

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА  
(РОСАВИАЦИЯ)

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

---

Кафедра авиатопливообеспечения и ремонта  
летательных аппаратов

В.М. Самойленко, О.А. Парфеновская, Д.Н. Кочкин

## АВИАЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ. ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Учебно-методическое пособие**  
по проведению практических занятий

*для студентов  
направлений 25.03.01, 20.03.01  
и специальности 25.05.05  
всех форм обучения*

Москва  
ИД Академии Жуковского  
2021

УДК 620.22  
ББК 052-03  
С17

Рецензент:

*Зубов О.Е.* – канд. техн. наук, доцент

**Самойленко В.М.**

С17

Авиационное материаловедение. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст] : учебно-методическое пособие по проведению практических занятий / В.М. Самойленко, О.А. Парфеновская, Д.Н. Кочкин. – М.: ИД Академии Жуковского, 2021. – 56 с.

В данном учебно-методическом пособии изложен порядок выполнения практических занятий в соответствии с рабочими программами дисциплин «Авиационное материаловедение» и «Материаловедение и технология конструкционных материалов» по учебным планам для студентов направлений подготовки 25.03.01, 20.03.01 и 25.05.05 всех форм обучения.

Учебно-методическое пособие отражает основные темы курсов направлений подготовки. Приведены варианты индивидуальных заданий, изложен порядок их выполнения для каждого предложенного занятия, а также содержатся контрольные вопросы по всем темам.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 11.03.2021 г. и методических советов (25.05.05) – 12.03.2021 г., (25.03.01 профиль 1) – 12.03.2021 г., (25.03.01 профиль 2) – 24.03.2021 г., (20.03.01) – 16.03.2021 г.

**УДК 620.22**  
**ББК 052-03**

*В авторской редакции*

Подписано в печать 26.05.2021 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 3,5 Усл. печ. л. 3,255

Заказ № 769/0429-УМП35 Тираж 30 экз.

Московский государственный технический университет ГА  
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского  
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А

Тел.: (495) 973-45-68

E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический  
университет гражданской авиации, 2021

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ТЕОРИИ СПЛАВОВ. АНАЛИЗ ДИАГРАММ СОСТОЯНИЯ ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ

### 1. Цель занятия:

Практическое занятие имеет цель изучить основные понятия из теории сплавов, научиться графическому изображению основных типов диаграмм состояния двойных сплавов.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе ПЗ предусматривает следующие этапы: 1. Используя материал теоретической части ответить на тест. 2. Начертить эскиз диаграммы состояния по своему варианту и определить с помощью правила отрезков структуру и состав заданного сплава. Указать превращения и фазы, находящиеся в данной системе. 3. По площади микроструктуры определить химический состав сплава. 4. По диаграмме «Железо-цементит» согласно задания определить содержание углерода, а также критические точки сплава. 5. Ответить на контрольные вопросы.

### 2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию.

Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, слайдами с различными режимами ТО и полученных структур.

### 3. Методические указания к выполнению практического занятия

Из повседневного опыта известно, что в зависимости от температуры любое вещество может быть в твердом, жидком или газообразном состоянии (фазе).

В системе, находящейся в равновесии, существует зависимость между числом компонентов (**К**), числом фаз (**Ф**), числом внешних факторов (**Р**) – давление и температура и числом степеней свободы (**С**):  $C = K - \Phi + P$ . (1)

**Степень свободы** – возможность изменения температуры, давления или концентрации без нарушения равновесия системы. Проиллюстрируем Правило Фаз (1).

Пусть имеется вода при 0 °С. При этой температуре в равновесии находятся жидкая фаза (собственно вода) и твердая фаза (лед). Число фаз  $\Phi = 2$ , число компонентов  $K = 1$  (только  $H_2O$ ), число внешних факторов  $P = 1$  (температура, возможностью изменения давления можно пренебречь). Тогда  $C = 1 - 2 + 1 = 0$ , (2), что указывает на отсутствие возможности изменять температуру без нарушения равновесия системы. Действительно, повышение температуры приведет к исчезновению льда, а понижение температуры вызовет кристаллизацию воды.

Если вода находится при температуре 10 °С, то число фаз  $\Phi = 1$  и  $C = 1 - 1 + 1 = 1$ , (3), что означает возможность некоторого изменения температуры (на несколько градусов в ту или иную сторону) без изменения числа фаз.

Имея диаграмму состояния сплава и применяя правило фаз, можно построить кривые охлаждения любого сплава данной системы. При этом следует соблюдать следующие правила: если число степеней свободы  $C = 1$  или  $C = 2$ , то кривая охлаждения расположена под углом к оси абсцисс и соответствует постепенному уменьшению температуры. Наклон кривой охлаждения максимален в случае  $C = 2$ ; если число степеней свободы  $C = 0$ , то кривая охлаждения параллельна оси абсцисс.

Рассмотрим количественный анализ химического состава сплава по его микроструктуре. Химический состав сплава можно определить по его микроструктуре, поскольку эвтектика имеет постоянный химический состав. Для этого визуальнo определяют площадь, занятую эвтектикой  $S_{эвт}$ . Тогда в доэвтектическом сплаве массовая доля (%) сурьмы  $W_{Sb}$  равна  $W_{Sb} = 13 S_{эвт} / 100$ , а в заэвтектическом сплаве массовая доля (%) свинца  $W_{Pb}$  равна:  $W_{Pb} = 87 S_{эвт} / 100$ .

**Правило отрезков (правило рычага).** В процессе кристаллизации сплавов изменяется число фаз и содержание элементов в тех или иных фазах сплава. Правило отрезков позволяет определить в любой точке диаграммы, когда одновременно существуют две фазы, количество обеих фаз и содержание элементов в этих фазах.

Для определения содержания компонентов в фазах через данную точку, характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область. Проекция точек пересечения линии на ось концентраций указывает химический состав фаз. Например, для сплава *K*, при температуре  $t_1$  (рис. 1) состав жидкой фазы определится точкой *b*, а состав твердой фазы - точкой *c*.

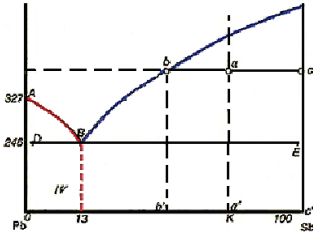


Рис. 1. – Определение количества жидкой и твердой фаз по правилу отрезков в системе Pb – Sb

твердой к жидкой фазе будет:  $x / 1 - x = ba \cdot bc / bc \cdot ac = ba / ac$ .

По правилу фаз точки пересечения горизонтали с линиями ликвидуса и солидуса при температуре  $t_b$  указывают составы фаз, находящихся в равновесии: точка  $T_2$  - содержание элементов в твердом растворе; точка  $Ж_2$  - содержание элементов в жидком растворе. Видно, что при протекании процесса кристаллизации сплавов содержание элементов в твердой и жидкой фазах непрерывно изменяется. Вант-Гофф установил следующее правило; если два компонента способны давать неограниченные твердые растворы, то при затвердевании сплава вначале начинают образовываться кристаллы твердого раствора, обогащенного тем компонентом, который повышает температуру плавления сплава. В системе никель - медь вначале образуются кристаллы, обогащенные никелем, имеющим более высокую температуру плавления. По мере протекания процесса кристаллизации содержание никеля в образующихся кристаллах уменьшается, а меди - соответственно увеличивается.

Если отрезок *ac* принять за 100 % сплава, то по правилу отрезков для сплава, содержащего 50 % никеля и 50 % меди (рис. 2), при температуре  $t_b$

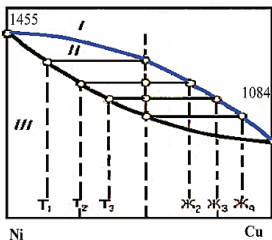


Рис. 2. – Диаграмма состояния сплавов

количество твердого раствора =  $bc/ac \cdot 100\%$ ;

количество жидкого раствора =  $ab/ac \cdot 100\%$ .

Массовую долю  $w$  (%) меди в доэвтектическом сплаве системы «Al – Cu», можно определить по формуле:

$$W = \frac{5,6S_{\text{тв.р}}}{100} + \frac{33,8S_{\text{эвт.р}}}{100}$$

где  $S_{\text{тв.р}}$  - площадь на микроструктуре, занятая твердым раствором на шлифе;  $S_{\text{эвт}}$  - площадь, занятая эвтектикой.

Например, в сплаве с 70 % площади твердого раствора массовая доля (%) меди равна:

$$W = \frac{5,6 \times 70}{100} + \frac{33,8 \times 30}{100} = 3,92 + 1,014 = 4,934$$

К системе Al - Cu также применимо правило отрезков.

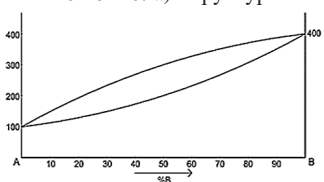
По соотношению площадей, занимаемых структурными составляющими в диаграмме состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C, можно определить содержание углерода в углеродистой. Структура доэвтектоидной стали - феррит и перлит. Содержание углерода в феррите из-за незначительности этой величины (0,006%) не учитывают и считают, что он весь находится в перлите. Перлит содержит 0,8% углерода. Если знать процентное количество перлита в общем объеме стали (П%), то (поскольку плотности феррита и перлита близки) можно рассчитать содержание углерода в стали (С%) по формуле  $C = (0,8\% \cdot П\%) / 100\%$ .

В заэвтектоидной стали углерод содержится в обеих структурных составляющих: в перлите 0,8% и во вторичном цементите - 6,67%. Поэтому расчет содержания углерода в ней производится суммированием его содержания в той и другой структурной составляющей:  $100\% \cdot 6,67\% + 100\% \cdot 0,8\% \cdot П\% \cdot C = (0,8\% \cdot П\%) / 100\% + (6,67\% \cdot П\%) / 100\%$ . В заэвтектоидной стали доля площади шлифа, занимаемая сеткой вторичного цементита, мала (до 10%).

### Пример выполнения задания.

1. Определить с помощью правила отрезков: а) структуру сплава с 30% В при T= 200 °С; в) химический состав сплава по структуре Q<sub>β</sub>= 40%, Q<sub>ж</sub>= 60% при T= 300°С. Определить химический состав найденных (задание а) и заданных (задание в) фаз. 2. Определить число степеней свободы для сплава с 10%В при T= 300 °С

**Решение:** а) Структура сплава 30% В при T= 200°С – точка М (рис.3). РМ – жидкость:



21% В => 79% А. С<sub>ж</sub>= 21% В + 79% А. MQ – кристаллы твердого раствора: 50% В => 50% А. С<sub>тв</sub>= 50% В + 50% А. Q<sub>ж</sub>= (MQ/PQ) · 100% = (50-30)/(50-21) · 100% = 69%. Q<sub>тв</sub>= 100%-69% = 31% (Или: (PM/PQ) · 100% = (30-21)/(50-21) · 100% = 31%)

б) химический состав сплава по структуре Q<sub>β</sub>= 40%, Q<sub>ж</sub>= 60% при T= 300°С – точка F.

Q<sub>β</sub>/Q<sub>общ</sub>= RF/RS = 40%/100% RF/(78-50) = 40/100 RF ≈ 11. В = 50+11=61% => А = 39%

С<sub>сплава</sub>= 61%В + 39%А. С<sub>β</sub>= 78%В + 22%А. С<sub>ж</sub>= 50%В + 50%А

Число степеней свободы для сплава с 10%В при T= 300°С – точка N. C = 2-1+1 = 2 (компоненты (А, В) – фазы (жидкость) + 1)

Рис. 3. – Диаграмма состояния

### Варианты заданий:

**Вариант 1.** 1. Способность металла образовывать разные типы кристаллических решеток это: а) анизотропия; б) полиморфизм; в) текстура; г) изотропность.

2. Постройте диаграмму состояния Pb – Sb. Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава концентрации 30% Sb определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре t = 300° С и число степеней свободы.

3. Определить химический состав заэвтектического сплава системы Pb – Sb по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 40% перлита и 60% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,25% и 0,9%.

**Вариант 2.** 1. Анизотропия — это ... свойств кристаллов в зависимости от направления кристаллографических плоскостей: а) одинаковость; б) различие; в) усредненность; г) отсутствие.

2. Постройте стальную часть диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C. Укажите фазовый состав сплавов в областях стальной части диаграммы. Для сплава концентрации 0,4% С определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре t = 600° С и число степеней свободы.

3. Определить химический состав доэвтектического сплава системы Fe – Fe<sub>3</sub>C по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 20% перлита и 80% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,6% и 0,9%.

**Вариант 3.** 1. Сплав – это вещество: а) состоящее из двух и более металлов; б) состоящее из металлов и неметаллов; в) состоящее из двух и более компонентов; г) состоящее из двух и более фаз.

2. Постройте диаграмму состояния Pb – Sb. Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава концентрации 50% Sb определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $t = 400^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав доэвтектического сплава системы Pb – Sb по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 15% перлита и 85% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,35% и 1,1%.

**Вариант 4.** 1. Сталь – это сплав железа с углеродом, где углерода а) свыше 2,14%; б) 2,14%; в) до 2,14%; г) 0,8%.

2. Постройте диаграмму состояния Pb – Sb. Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава концентрации 90% Sb определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $t = 500^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав заэвтектического сплава системы Pb – Sb по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 30% перлита и 70% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,45% и 1,2%.

**Вариант 5.** 1. Чугуном называется сплав железа с углеродом, где углерода содержится: а) до 2,14%; б) от 2,14% до 6,67%; в) от 1% до 2%; г) свыше 6,67%.

2. Постройте стальную часть диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C. Укажите фазовый состав сплавов в областях стальной части диаграммы. Для сплава концентрации 0,9% C определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $t = 750^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав эвтектического сплава системы Fe – Fe<sub>3</sub>C по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 10% перлита и 90% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,5% и 1,5%.

**Вариант 6.** 1. Как называется явление, заключающееся в неоднородности свойств материала в различных кристаллографических направлениях? а) изотропность; б) анизотропия; в) текстура; г) полиморфизм.

2. Постройте диаграмму состояния системы «Al – Si». Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава, содержащего 40% Si, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения, определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $550^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав эвтектического сплава Al – Si по микроструктуре.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 100% перлита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,2% и 1,3%.

**Вариант 7.** 1. Как называется дефект, вызванный отсутствием атома в узле кристаллической решетки? а) дислокация; б) поря; в) вакансия; г) межузельный атом.

2. Постройте диаграмму состояния Pb – Sb. Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава концентрации 30% Sb определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $t = 300^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав эвтектического сплава системы Pb – Sb по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 35% перлита и 65% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,3% и 2,0%.

**Вариант 8.** 1. Как называется дефект, представляющий собой область искажений кристаллической решетки вдоль края экстраплоскости? а) краевая дислокация; б) цепочка вакансий; в) микротрещина; г) винтовая дислокация.

2. Постройте диаграмму состояния системы «Pb – Sb». Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава, содержащего 15% Sb, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для данного сплава определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $250^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав доэвтектического сплава Pb – Sb по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 5% перлита и 95% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,45% и 1,1%.

**Вариант 9.** 1 К объемным дефектам относят - ... (укажите не менее двух вариантов ответа): а) трещины; б) скопление дислокаций; в) поры; г) межузельные атомы.

2. Постройте стальную часть диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C. Укажите фазовый состав сплавов в областях стальной части диаграммы. Для сплава концентрации 0,5% C определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $t = 750^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав заэвтектического сплава системы Fe – Fe<sub>3</sub>C по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 60% перлита и 40% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,4% и 0,8%.

**Вариант 10.** Точечными дефектами кристаллической решетки являются: ... (укажите не менее двух вариантов ответа): а) межузельные атомы; б) двойники; в) дислокации; г) вакансии.

2. Постройте диаграмму состояния системы «Al – Cu». Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 10% Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $600^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав заэвтектического сплава Al – Cu по микроструктуре.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 30% перлита и 70% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,6% и 1,7%.

**Вариант 11.** 1. Что такое элементарная кристаллическая ячейка? а) тип кристаллической решетки, характерный для данного химического элемента; б) минимальный объем кристаллической решетки, при трансляции которого по координатным осям можно воспроизвести всю решетку; в) кристаллическая ячейка, содержащая один атом; г) бездефектная (за исключением точечных дефектов) область кристаллической решетки.

2. Постройте диаграмму состояния системы «Al – Cu». Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава, содержащего 20% Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре 560°С и число степеней свободы.

3. Определить химический состав заэвтектического сплава Al-Cu по микроструктуре.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 25% перлита и 75% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,25% и 1,9%.

**Вариант 12.** 1. Сплавы, в которых компоненты не способны к взаимному растворению и не вступают в химическую реакцию, называются: а) механическими смесями; б) твердыми растворами; в) химическими соединениями; г) промежуточные фазы.

2. Постройте диаграмму состояния системы «Ni – Cu». Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава, содержащего 40% Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре 1200°С и число степеней свободы.

3. Определить химический состав заэвтектического сплава Fe – Fe<sub>3</sub>C по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 60% перлита и 40% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,5% и 2,0%.

**Вариант 13.** 1. Линия начала кристаллизации сплава называется: а) солидус; б) эвтектика; в) ликвидус; г) эвтектоид.

2. Постройте диаграмму состояния системы «Ni – Cu». Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава, содержащего 40% Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре 1200°С и число степеней свободы.

3. Определить химический состав заэвтектического сплава Fe – Fe<sub>3</sub>C по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 60% перлита и 40% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,15% и 1, 2%.

**Вариант 14.** 1. Как называется дефект, вызванный отсутствием атома в узле кристаллической решетки? а) дислокация; б) пора; в) вакансия; г) межузельный атом.

2. Постройте диаграмму состояния системы «Ni – Cu». Указать линии ликвидуса и солидуса, а также структурно-фазовый состав областей диаграммы. Для сплава, содержащего 80% Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре 1300°С и число степеней свободы.

3. Определить химический состав доэвтектического сплава Fe – Fe<sub>3</sub>C по микроструктуре.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 80% перлита и 20% феррита? Ответ свой обоснуйте.



5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,35% и 0,75%.

**Вариант 15.** 1. Как называются дефекты, измеряемые в двух направлениях несколькими периодами, а в третьем - десятками и сотнями тысяч периодов кристаллической решетки? а) межузельные атомы; б) поверхностные дефекты; в) дислокации; г) микротрещины.

2. Постройте стальную часть диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C. Укажите фазовый состав сплавов в областях стальной части диаграммы. Для сплава концентрации 0,3% С определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $t = 770^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав эвтектического сплава системы Fe – Fe<sub>3</sub>C по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 80% перлита и 20% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,4% и 0,85%.

**Вариант 16.** 1. Как называется дефект, представляющий собой область искажений кристаллической решетки вдоль края экстроплоскости? а) краевая дислокация; б) цепочка вакансий; в) микротрещина; г) винтовая дислокация.

2. Постройте диаграмму состояния системы «Al – Cu». Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава, содержащего 7% Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре 600° С и число степеней свободы.

3. Определить химический состав доэвтектического сплава Al-Cu по микроструктуре.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 90% перлита и 10% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,45% и 1,9%.

**Вариант 17.** 1. Как называется явление, заключающееся в неоднородности свойств материала в различных кристаллографических направлениях? а) изотропность; б) анизотропия; в) текстура; г) полиморфизм.

2. Постройте стальную часть диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C. Укажите фазовый состав сплавов в областях стальной части диаграммы. Для сплава концентрации 0,3% С определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $t = 750^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав доэвтектического сплава системы Fe – Fe<sub>3</sub>C по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 75% перлита и 35% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,6% и 0,9%.

**Вариант 18.** 1. Как называется характеристика кристаллической решетки, определяющая отношение объема атомов, приходящихся на элементарную ячейку, к объему ячейки? а) коэффициент компактности; б) координационное число; в) базис решетки; г) параметр решетки.

2. Постройте диаграмму состояния системы «Al-Cu». Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава, содержащего 30% Cu, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения. Для заданного сплава определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре 550°С и число степеней свободы.

3. Определить химический состав эвтектического сплава Al-Cu по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 80% перлита и 20% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,35% и 1,0%.

**Вариант 19.** 1 Сталью называется сплав железа с углеродом, в котором углерода содержится: а) от 2,14% до 6,67%; б) до 2,14%; в) свыше 2,14%; г) свыше 6,67%.

2. Постройте стальную часть диаграммы состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C. Укажите фазовый состав сплавов в областях стальной части диаграммы. Для сплава концентрации 0,9% С определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре  $t = 750^{\circ}\text{C}$  и число степеней свободы.

3. Определить химический состав доэвтектического сплава системы Fe – Fe<sub>3</sub>C по площади микроструктуры.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 35% перлита и 75% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,25% и 1,9%.

**Вариант 20.** 1. Краевая дислокация относится к дефектам: а). точечным; б) линейным; в) поверхностным; г) объёмным

2. Постройте диаграмму состояния системы «Al – Si». Укажите фазовый состав сплавов в областях диаграммы. Для сплава, содержащего 20% Si, построить кривую охлаждения и описать происходящие при охлаждении превращения, определить с помощью правила отрезков структуру сплава и химический состав при температуре 500° С и число степеней свободы.

3. Определить химический состав эвтектического сплава Al – Si по микроструктуре.

4. Какое количество углерода в сплаве, если структура его состоит из 100% феррита? Ответ свой обоснуйте.

5. С помощью диаграммы состояния железо-цементит, определите критические точки для сталей с содержанием углерода 0,55% и 1,4%.

4. Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных и делает вывод о полученных результатах практического занятия.

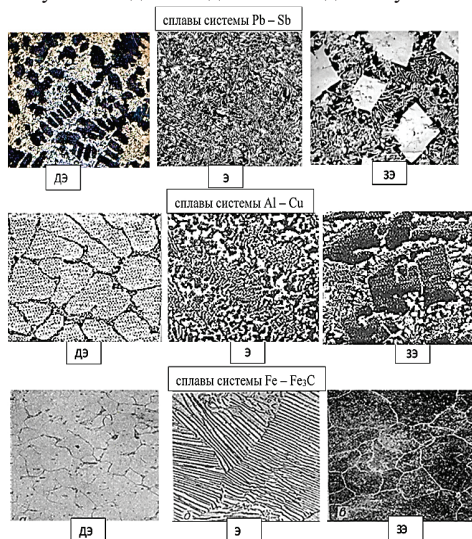


Рис. 4. – Микроструктуры сплавов

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое элементарная кристаллическая ячейка?

2. Что называют аллотропией или полиморфизмом?

3. Что такое критическая температура?

4. Что такое диаграмма состояния сплавов?

5. Какой сплав называют эвтектическим?

6. Какие особенности точечных, линейных и поверхностных дефектов кристаллической структуры вам известны?

7. Объясните правило фаз Гиббса. Что такое компонент сплава, кривая охлаждения?

8. Что такое канода? Сформулируйте правило отрезков

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: ВЫБОР РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ СВОЙСТВ

### 1. Цель занятия.

Практическое занятие имеет цель изучить назначение и виды операций термообработки (ТО). Ознакомиться с практикой ТО (закалка, отпуск, нормализация, отжиг) углеродистых сталей и исследовать зависимость микроструктуры и познакомиться с закономерностями изменения твердости образцов стали после термообработки.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы: 1. Опишите структурные превращения, происходящие в процессе различных видов ТО. 2. Укажите характеристики механических свойств (твердости). 3. Ответьте на контрольные вопросы.

### 2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию.

Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, слайдами с различными режимами ТО и полученных структур.

### 3. Методические указания к выполнению практического занятия

**Термическая обработка (ТО) стали** – это технологический процесс тепловой обработки детали (заготовки), в результате которой изменяется микроструктура материала, а вместе с ней механические и технологические свойства в заданном направлении. Основы термической обработки разработал Чернов Д. К. и связаны с его открытием критических температур фазовых превращений в стали.

Теория термической обработки стали основана на фазовых превращениях. Температуры, при которых в стали происходят фазовые превращения, называются **критическими**. Термическая обработка представляет собой совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, выполняемых в определенной последовательности при определенных режимах, с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств (представляется в виде графика в осях температура – время, рис. 1).

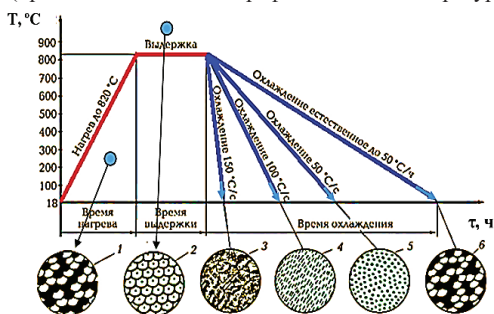


Рис. 1 – Основные параметры ТО и микроструктуры стали 40 после нагрева и охлаждения с разной скоростью: 1 – перлит + феррит; 2 – аустенит; 3 – мартенсит; 4 – тростит; 5 – сорбит; 6 феррит + перлит

В зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения ТО подразделяют на: **предварительную** и **окончательную**.

**Предварительная** – применяется для подготовки структуры и свойств материала для последующих технологических операций (для обработки давлением). Предварительная термическая обработка является промежуточной операцией, предназначенной для улучшения технологичности, в частности,ковки, штамповки, прокатки. Она включает в себя **различные виды отжига и нормализацию**. В результате

предварительной термической обработки достигается подготовка стали к обработке резанием, давлением, а также к окончательной термической обработке.

**Окончательная** – формирует свойство готового изделия и включает в себя **закалку, отпуск и старение**. При окончательной термической обработке получают такую структуру и свойства, которые удовлетворяют требованиям работы материала в конструкции изделия.

**Отжигом** называется вид ТО, состоящая в нагреве до определенной температуры в пределах критических точек и последующим медленным охлаждением вместе с печью.

**Нормализация** – разновидность отжига. ТО, при которой изделие нагревают до аустенитного состояния, на 30...50 °С выше  $A_3$  или  $A_{cm}$  с последующим охлаждением на воздухе (рис. 2).

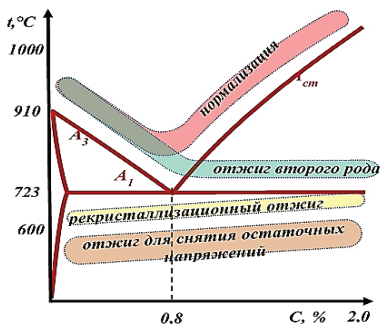


Рис. 2. – Температурные области нагрева при отжиге и нормализации сталей

**Закалка** – это вид термической обработки, состоящий в нагреве стали до температуры выше критической, выдержке при этой температуре и последующим быстрым охлаждением, при котором получают пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -феррите – **мартенсит** (М).

По температуре нагрева различают виды закалки:

– **полная**, с температурой нагрева на 30...50 °С выше температуры  $A_3$ . Применяют ее для доэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме: П – перлит, Ф – феррит, А – аустенит, М – мартенсит.

Неполная закалка доэвтектоидных сталей недопустима, так как в структуре остается мягкий

феррит. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме:

П+Ф *нагрев*  $A_{cs}$  А *охлаждение* М

– **неполная** с температурой нагрева на 30...50 °С выше температуры  $A_1$ . Применяется для заэвтектоидных сталей. Изменения структуры стали при нагреве и охлаждении происходят по схеме: П+Ц<sub>II</sub> *нагрев*  $A_{cs}$  А+Ц<sub>II</sub> *охлаждение* М+Ц<sub>II</sub>

После охлаждения в структуре остается вторичный цементит, который повышает твердость и износостойкость режущего инструмента.

После полной закалки заэвтектоидных сталей получают дефектную структуру грубоиглочатого мартенсита. Заэвтектоидные стали перед закалкой обязательно подвергают отжигу – сфероидизации, чтобы цементит имел зернистую форму.

Теорию закалки рассмотрим на примере процессов, происходящих на диаграмме снижения критических точек стали при закалке, содержащей 0,8% углерода (рис. 3).  $Ag_1$  – линия начала превращения аустенита (А) в феррит и цементит (Ф+Ц);  $Ar_1$  – конец превращения А в (Ф+Ц);  $M_n$  – начало образования мартенсита;  $M_k$  – конец образования мартенсита.

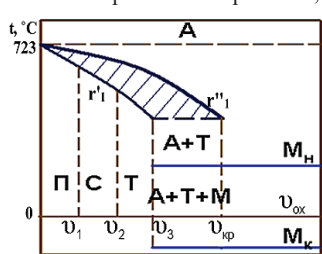


Рис. 3. – Диаграмма снижения критических точек стали, содержащей 0,8 % С

Между линиями  $Ar_1$  и  $Ar_1''$  протекают два процесса – полиморфное превращение аустенита в феррит и диффузия углерода, которая сопровождается образованием частиц цементита. Полнота диффузионных процессов определяется скоростью охлаждения. Чем больше скорость охлаждения, тем меньше размеры частиц образующейся механической смеси кристаллов феррита и цементита.

**Критическая скорость охлаждения** ( $V_{охл.крит.}$ ) – это наименьшая скорость охлаждения (в воду), при которой аустенит превращается только в мартенсит.

При малой скорости охлаждения (с печью) образуется **перлит** (П) – механическая смесь феррита и цементита (Ф+Ц) (200 НВ). С увеличением  $V_{охл.}$  (на воздухе) А → П<sub>сорбит</sub> у которого частицы Ф и Ц более мелкие (220 НВ). С увеличением  $V_{охл.}$  образуется **сорбит** (С) – дисперсная смесь Ф+Ц (270...350 НВ). При дальнейшем ↑  $V_{охл.}$  образуется **троостит** (Т) – высокодисперсная или мелкозернистая смесь Ф+Ц (370...450 НВ). До скорости охлаждения =  $V_{охл. критич.}$  идут

одновременно два процесса:

1. полиморфное превращение  $A \rightarrow \Phi$  (ГЦК  $\rightarrow$  ОЦК);

2. диффузионное перераспределение углерода:  $A_{c=0,8\%} \rightarrow \Phi_{c=0,025\%} + \Pi_{c=6,67\%}$

Эти процессы называют **перлитным превращением**  $A \rightarrow (\Phi + \Pi)$ .

При скорости  $V_{\text{охл}} > V_{\text{охл. крит.}}$ . Происходит только полиморфное превращение, т.е.  $A \rightarrow$  **мартенсит** – пересыщенный углеродом твердый раствор углерода в  $Fe_{\alpha}$ . Такое превращение называется **мартенситным превращением** и является бездиффузионным. Твердость мартенсита 600 НВ.

**Отпуск** стали состоит в нагреве закаленной на мартенсит стали до температуры ниже  $A_1$  выдержке и охлаждении. Основным процессом при отпуске стали является распад нестабильного твердого раствора и переход стали в более стабильное состояние. При отпуске происходит распад мартенсита, превращение остаточного аустенита, снижение внутренних напряжений и образование мартенсита, троостита и сорбита отпуска с лучшими механическими свойствами ( $\uparrow \delta$ ,  $\downarrow \sigma_n$ ). Чем выше температура отпуска, тем меньше твердость и прочность и выше вязкость и пластичность стали.

Различают три вида отпуска: 1. **Низкий отпуск** с температурой нагрева  $T_n = 150 \dots 250$  °С. В результате его проведения частично снимаются закалочные напряжения. Получают структуру – **мартенсит отпуска**. 2. **Средний отпуск** с температурой нагрева  $T_n = 300 \dots 450$  °С. Получают структуру – **троостит отпуска**, сочетающую высокую твердость с хорошей упругостью и вязкостью. Используется для изделий типа пружин, рессор. 3. **Высокий отпуск** с температурой нагрева  $T_n = 450 \dots 650$  °С. Получают структуру, с оптимальным сочетанием свойств – **сорбит отпуска**. Используется для деталей машин, испытывающих ударные нагрузки.

Структура стали после закалки мартенсит и остаточный аустенит ( $M + A_{\text{ост}}$ ). До  $t = 80 \dots 200$  °С из мартенсита выделяется незначительное перемещение атомов углерода в мартенсите, которое сопровождается уменьшением тетрагонального решетки мартенсита ( $\downarrow c/a$ ), образуются карбиды переменного состава  $Fe_xC$ , в котором  $x$  примерно равно 2, или эписон  $x$  ( $\epsilon_x$ ) карбиды, что приводит к уменьшению размеров ( $\downarrow \Delta \ell$ ) (рис. 4). Структура с меньшей степенью тетрагональности носит название **мартенсит отпуска**, а в структуре стали присутствует и остаточный аустенит.

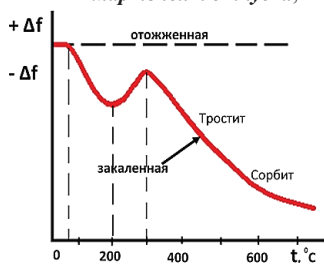


Рис. 4 – Дилатометрическая кривая отпуска стали, содержащая 0,8% С

При  $t = 200 \dots 300$  °С одновременно с выделением углерода происходит распад неустойчивой структуры аустенита  $A_{\text{ост}}$  с плотностью  $7,843$  г/см<sup>3</sup> в мартенсит отпущенный с плотностью  $7,633$  г/см<sup>3</sup>, что приводит к некоторому увеличению размеров ( $\uparrow \Delta \ell$ ). Структура стали – мартенсит отпущенный. При температуре около  $300$  °С отношение  $c/a$  близко к единице.

При  $t = 300 \dots 450$  °С происходит сжатие образца и продолжается процесс выделения углерода. Мартенсит распадается на феррит и карбид  $Fe_3C$ . Образуется высокодисперсная смесь  $[Fe_3C + Fe_{\alpha}(C)]$  – **троостит отпуска**. Уменьшаются внутренние напряжения.

При  $t = 500 \dots 600$  °С сопровождается дальнейшее сжатие образца, происходит коагуляция (укрупнение) и сфероидизация (округление) частиц  $Fe_3C$  и образуется структура **сорбит отпуска**.

#### 4. Порядок выполнения практического занятия

К выполнению работы допускаются обучающиеся, изучившие настоящее методические указания по выполнению практического занятия и ответившие на контрольные вопросы к данному занятию. неподготовленные обучающиеся готовятся в этой же аудитории и могут быть допущены к практическому занятию после повторного опроса. Завершение выполнения задания и последующий зачет проводится, в этом случае, в часы самостоятельной работы.

Работа выполняется самостоятельно, под наблюдением преподавателя. Задание, выдаваемое преподавателем, предусматривает определение температур ТО, необходимых для

получения заданных твердости стали, представленных в задании в соответствии с вариантом по последним цифрам зачетной книжки. Для выполнения задания необходимо иметь тетрадь для лабораторных и практических занятий по изучаемой дисциплине, калькулятор.

При выполнении задания используются материалы данного пособия и образцы выполнения задания.

Пример выполнения задания

Как изменяются структура и свойства стали 45 и У10 в результате закалки от температуры 840 и 760 °С (объясните с применением диаграммы состояния «железо-цементит»).

**Решение:** Исходная структура среднеуглеродистой стали 45 до нагрева под закалку — перлит + феррит. Критические точки для стали 45:  $A_{C1}=723$  °С,  $A_{C3}=755$  °С. При нагреве до 723 °С в стали 45 не происходят аллотропические превращения, и мы имеем ту же структуру — перлит + феррит, быстро охлаждая (т.к. закалка), имеем также после охлаждения перлит + феррит с теми же механическими свойствами, что и в исходном состоянии до нагрева под закалку.

Если доэвтектоидную сталь нагреть выше  $A_{C1}$ , но ниже  $A_{C3}$ , то в ее структуре после закалки наряду с мартенситом будут участки феррита. Присутствие феррита как мягкой составляющей снижает твердость стали после закалки. При нагреве до температуры 750 °С (ниже точки  $A_{C3}$ ) структура стали 45 — аустенит + феррит, после охлаждения со скоростью выше критической структура стали — мартенсит + феррит.

Дозэвтектоидные стали для закалки следует нагревать до температуры на 30...50 °С выше  $A_{C3}$ . Температура нагрева стали под закалку, таким образом, составляет 850 °С. Структура стали 45 при температуре нагрева под закалку — аустенит, после охлаждения со скоростью выше критической — мартенсит.

Нагрев и выдержка стали 45 при температуре выше 850 °С приводит к росту зерна и ухудшению механических свойств стали после ТО. Крупнозернистая структура вызывает повышенную хрупкость стали.

Исходная структура высокоуглеродистой инструментальной стали У10 до нагрева под закалку — перлит + карбиды. Критические точки для стали:  $A_{C1}=730$  °С,  $A_{C3}=800$  °С.

При нагреве до 723 °С в стали У10 не происходят аллотропические превращения, и структура стали — перлит + карбиды, быстро охлаждая (т.к. закалка), имеем также после охлаждения перлит + карбиды с теми же механическими свойствами (примерно), что и в исходном состоянии до нагрева под закалку.

Оптимальный режим нагрева под закалку для заэвтектоидных сталей (%С>0,8%) составляет  $A_{C1} + (30...50^\circ\text{C})$ , т.е. для У10 — 730...780 °С. При этом после закалки имеем мелкое зерно, обеспечивающее наилучшие механические свойства стали У10.

Нагрев и выдержка стали У10 при температуре 850 °С перед закалкой приводит к росту зерна и ухудшению механических свойств стали после термической обработки.

#### Варианты заданий

1. Назначьте режим ТО подшипника из стали ШХ15. Опишите микроструктуру и свойств данного изделия после ТО.

2. Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска втулок из стали 40Х, которые должны иметь твердость 270... 320 НВ. Опишите сущность происходящих превращений при ТО, микроструктуру и свойства.

3. Установите температуру полной и неполной закалки для стали 45 и опишите структуру и свойства стали после каждого вида ТО.

4. Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска рессор из стали 65Г, которые должны иметь твердость 430...480 НВ. Опишите микроструктуру и свойства.

5. Для изготовления плашек выбрана сталь У11А. Назначьте режим ТО, приведите его обоснование и укажите структуру и свойства плашек в готовом виде.

6. Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска стяжных болтов из стали Ст5, которые должны иметь твердость 207...230 НВ. Опишите микроструктуру и свойства.

7. Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска резьбовых калибров из стали У12А. Опишите сущность происходящих превращений, микроструктуру и твердость инструмента после ТО.

8. Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска для валов из стали 45, которые должны иметь твердость 270...320 НВ. Опишите микроструктуру и свойства стали после ТО.

9. Образцы из стали марок 50 и У8 закалены с температур 710, 780, 850 °С. Укажите необходимую среду охлаждения, получаемую микроструктуру и твердость. Поясните результаты каждой из этих видов закалки. Ответ обоснуйте.

10. Опишите структурные превращения, происходящие при закалке стали У10. Укажите критические точки и выберите оптимальный режим нагрева этой стали под закалку. Охарактеризуйте процесс закалки, опишите получаемую структуру и свойства стали.

11. Определите температуру полной и неполной закалки для углеродистой стали 40. Дайте описание структуры и свойств стали после каждого вида ТО.

12. Режущий инструмент из стали У13А требуется обработать на максимальную твердость. Назначьте режим ТО, опишите структуру и свойства стали.

13. Назначьте режим ТО для углеродистой стали 45, необходимый для обеспечения твердости 550 НВ. Опишите превращения, происходящие на всех этапах ТО, и получаемую после обработки структуру.

14. Назначьте режим ТО для стали У8, обеспечивающей получение твердости 450 НВ. Укажите, как этот режим называется, опишите сущность превращений, и какая структура получается в данном случае?

15. Назначьте температуру закалки, охлаждающую среду и температуру отпуска пружин из стали 55. Опишите микроструктуру и свойства.

16. Определите температуру полного отжига и закалки для стали 15. Охарактеризуйте эти режимы ТО и опишите микроструктуру и свойства стали.

17. Назначьте режим ТО шестерни из стали 20, обеспечивающий твердость зуба 580...600 НВ. Опишите происходящие в стали превращения, структуру и свойства поверхности зуба и сердцевины шестерни после термической обработки.

18. Изделия из стали 50 закалены: первое – от температуры 740 °С, а второе – от температуры 820 °С. Объясните, какое из этих изделий имеет более высокую твердость и лучшие эксплуатационные свойства и почему.

19. Как изменяются структура и свойства стали 30 и У11 в результате закалки от температуры 750 и 850 °С. Выберите оптимальный режим закалки каждой стали.

20. Назначьте температуру нагрева стали У9А под закалку. Какой необходимо дать после этого отпуск? Охарактеризуйте эти виды ТО, опишите получаемые структуры и свойства.

#### 4. Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных, делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое закалка, отжиг, нормализация, отпуск? Назначение этих видов ТО.
2. Рассказать о влиянии охлаждающих сред на структуру и свойства сталей.
3. Если закалить сталь 40 с температуры выше линии Ас<sub>1</sub> но ниже Ас<sub>3</sub> с охлаждением в воде, какие получатся структура и свойства?
4. Если закалить сталь У12 с температуры выше Ас<sub>3</sub>, какими получатся структура и свойства?
5. Что такое охлаждающая среда при закалке? Какие среды вы знаете и в каких случаях они применяются?
6. Как влияет закалка на предел прочности и твердость?
7. Назвать и дать определение всем структурам, получающимся при ТО углеродистых сталей.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

### 1. Цель занятия.

Практическое занятие изучить назначение и виды операций термообработки (ТО). Ознакомиться с практикой ТО (закалка, отпуск, нормализация, отжиг) углеродистых сталей и исследовать зависимость микроструктуры образцов стали после видов термообработки.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы: 1. Опишите структурные превращения, происходящие в процессе различных видов ТО. 2. Укажите характеристики механических свойств (твердости). 3. Ответьте на контрольные вопросы.

### 2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию.

Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, слайдами с различными режимами ТО и полученных структур.

### 3. Методические указания к выполнению практического занятия

**Термическая обработка** (ТО) стали – это технологический процесс тепловой обработки детали (заготовки), в результате которой изменяется микроструктура материала, а вместе с ней механические и технологические свойства в заданном направлении. Основы термической обработки связаны с открытием критических температур фазовых превращений в стали.

Теория термической обработки стали основана на фазовых превращениях. Температуры, при которых в стали происходят фазовые превращения, называются **критическими**. Термическая обработка представляет собой совокупность операций нагрева, выдержки и охлаждения, выполняемых в определенной последовательности при определенных режимах, с целью изменения внутреннего строения сплава и получения нужных свойств (представляется в виде графика в осях температура – время, рис. 1 практического занятия «Выбор режима термической обработки сталей для получения заданных свойств»).

В зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения ТО подразделяют на: **предварительную** и **окончательную** (см практического занятия «Выбор режима термической обработки сталей для получения заданных свойств»).

Теорию закалки рассмотрим на примере процессов, происходящих на диаграмме снижения критических точек стали при закалке, содержащей 0,8% углерода (рис. 3 практического занятия «Выбор режима термической обработки сталей для получения заданных свойств»).  $Ag_1$  – линия начала превращения аустенита (А) в феррит и цементит (Ф+Ц);  $Ag_1'$  – конец превращения А в (Ф+Ц);  $M_n$  – начало образования мартенсита;  $M_k$  – конец образования мартенсита.

Между линиями  $Ag_1$  и  $Ag_1'$  протекают два процесса - полиморфное превращение аустенита в феррит и диффузия углерода, которая сопровождается образованием частиц цементита. Полнота диффузионных процессов определяется скоростью охлаждения. Чем больше скорость охлаждения, тем меньше размеры частиц образующейся механической смеси кристаллов феррита и цементита.

Изотермическое превращение аустенита рассмотрим на С-диаграмме стали, содержащей 0,8 % углерода (рис. 3). Линия **авс** изображает начало, и линия **а'в'с'** - конец изотермического распада аустенита. В зависимости от температуры изотермического превращения получают структуры перлита, сорбита, тростита или бейнита.

Если эвтектоидную сталь (С = 0,8 %) нагреть до аустенитного состояния, т.е. до  $t > Ag_1$  (723 °С), а затем охладить до  $M_n < t < Ag_1$ , то структура аустенита сохранится некоторое время ( $A_{неуст.}$ ) – переохлажденный аустенит, который со временем распадется на феррито-цементитную смесь (Ф+Ц). Размеры частиц феррита и цементита в смеси зависят от



температуры, до которой охладили для выдержки (рис. 1).

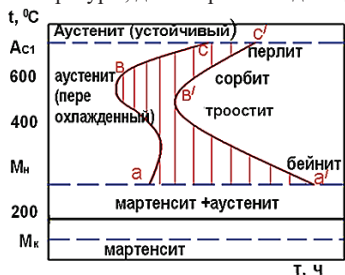


Рис. 1. Диаграмма

изотермического превращения  
переохлажденного аустенита  
стали, содержащей 0,8% С

Эвтектоид, образующийся в области температур распада аустенита от  $A_1$  до  $690\text{ }^{\circ}\text{C}$ , называют *перлитом*. Он характеризуется достаточно большим расстоянием между пластинками феррита и цементита ( $0,5 \dots 1\text{ }\mu\text{м}$ ). В интервале температур  $650 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$  расстояние между пластинками феррита и цементита уменьшается до  $0,2 - 0,4\text{ }\mu\text{м}$ . Образуется структура *сорбита*. При распаде аустенита в температурном интервале  $600 \dots 500\text{ }^{\circ}\text{C}$  расстояние между пластинками феррита и цементита составляет около  $0,1\text{ }\mu\text{м}$ . Такая структура соответствует *трооститу*.

#### 4. Выполнения практического занятия

##### 4.1. Общие указания

К выполнению работы допускаются обучающиеся, изучившие настоящее методические указания по выполнению практического занятия и ответившие на контрольные вопросы к данному занятию. Неподготовленные обучающиеся готовятся в этой же аудитории и могут быть допущены к практическому занятию после повторного опроса. Завершение выполнения задания и последующий зачет проводится, в этом случае, в часы самостоятельной работы.

Работа выполняется самостоятельно, под наблюдением преподавателя. Задание, выдаваемое преподавателем, предусматривает определение температур ТО, необходимых для получения заданных твердости стали, представленных в задании в соответствии с вариантом по последней цифрам зачетной книжки. Для выполнения задания необходимо иметь тетрадь для лабораторных и практических занятий по изучаемой дисциплине, калькулятор.

##### 4.2. Пример выполнения задания

При непрерывном охлаждении стали У8 получена структура троостит+ мартенсит. Укажите температуру и режим охлаждения, обеспечивающую получение данной структуры.

**Решение.** Поскольку с понижением температуры скорость диффузии углерода замедляется, процессы превращения аустенита, связанные с перераспределением углерода, не успевают получить своего полного развития. Вследствие этого у быстро охлажденной стали возникают неравновесные структурные состояния: сорбит, тростит и мартенсит. Практически сорбит возникает при распаде аустенита в условиях сравнительно невысокой скорости охлаждения. Дальнейшее увеличение переохлаждения приводит к образованию троостита, представляющего также смесь феррита и цементита, но большей степени дисперсности. При наиболее резком охлаждении возникает принципиально отличная от вышеуказанных состояний структурная форма стали мартенсит.

При нагреве стали У8 выше точки  $A_{C1}$  перлит переходит в аустенит. При охлаждении со скоростью ниже критической образуется феррито- цементитная структура – троостит + мартенсит. В зависимости от соотношения содержащий троостита и мартенсита в тростомартенсите (от скорости охлаждения) твердость стали меняется от  $370 \dots 450\text{ НВ}$  (при 100 % тростите) до  $600\text{ НВ}$  (при 100 % мартенсите).

Для получения структуры тростит + мартенсит в стали У8 необходимо ее нагреть выше точки  $A_{C1}$ , затем охладить так, чтобы пересечь кривую начала превращения аустенита в перлит в области троостита, и минуя конца превращения, перейти в область мартенсита (см. рис. 1).

##### Варианты заданий

**1.** Сталь 40 подвергалась закалке от температур  $760$  и  $840\text{ }^{\circ}\text{C}$ . С помощью диаграммы состояния железо-цементит укажите, какие структуры образуются в каждом случае. Объясните причины образования разных структур и рекомендуйте оптимальный режим нагрева под закалку данной стали.

2. Углеродистые стали 35 и У8 после закалки и отпуска имеют структуру мартенсит отпуска и твердость: первая 45 HRC, вторая – 60 HRC. Укажите температуру закалки и температуру отпуска для каждой стали. Опишите превращения, происходящие в этих сталях в процессе закалки и отпуска, объясните, почему сталь У8 имеет большую твердость, чем сталь 45. Ответ обоснуйте.

3. После термической обработки углеродистой стали получена структура цементит + мартенсит отпуска. Обоснуйте температуру нагрева этой стали под закалку и укажите температуру отпуска. Опишите превращения, которые произошли при термической обработке. Ответ обоснуйте.

4. При непрерывном охлаждении стали У8 получена структура троостит + мартенсит. Нанесите на диаграмму изотермического превращения аустенита кривую охлаждения, обеспечивающую получение данной структуры. Укажите интервалы температур превращений и опишите характер превращения в каждом из них. Ответ обоснуйте.

5. Как изменяются структура и свойства сталей 40 и У12 в результате закалки от температуры 750 и 850 °С. Выберите оптимальный режим нагрева под закалку для каждой стали.

6. При непрерывном охлаждении стали У8 получена структура троостит. Назначьте температуру закалки и средю охлаждения, обеспечивающую получение данной структуры. При каком охлаждении можно получить мартенсит? Описать характер превращений в каждом случае.

7. Углеродистые стали 35 и У8 имеют после закалки структуру мартенсит, укажите температуру закалки для каждой стали. Описать превращения, происходящие в этих сталях в процессе закалки. Какая сталь имеет более высокую твердость и почему? Ответ обоснуйте.

8. После закалки углеродистой стали 40 со скоростью охлаждения выше критической была получена структура Ф+М. Укажите температуру закалки, принятую в данном случае, и опишите все превращения, которые совершились в стали при нагреве и охлаждении.

9. Инструмент из стали У12 имеет структуру перлита и вторичного цементита, расположенного в виде сетки и игл. Как провести закалку такого инструмента? Дать обоснование выбранного режима.

10. После заливки в изложницу сталь 45 имела ярко выраженную дендритную ликвацию, что могло отрицательно сказаться на её свойствах после пластической деформации слитка. Какую обработку необходимо дать для устранения подобного явления и что является причиной устранения ликвации? Обоснуйте свой выбор с приведением конкретной термической обработки.

11. После закалки углеродистой стали 30 была получена структура, состоящая из феррита и мартенсита. Укажите температуру нагрева под закалку. Как называется такая обработка? Какие превращения произошли при нагреве и охлаждении стали?

12. Углеродистые стали 45 и У8 после закалки и отпуска имеют структуру «мартенсит отпуска» и твердость: первая – 50 HRC, вторая – 60 HRC. Укажите температуру закалки и температуру отпуска для каждой стали. Опишите превращения, происходящие в этих сталях в процессе закалки и объясните, почему сталь У8 имеет большую твердость, чем сталь 45

13. После закалки углеродистой стали У13 была получена структура «мартенсит + цементит». Укажите температуру её нагрева под закалку. Опишите превращения, которые произошли при нагреве и охлаждении стали.

14. После закалки стали 35 была получена структура, состоящая из феррита и мартенсита. Укажите принятую в данном случае температуру нагрева под закалку и опишите все превращения, которые совершились в стали при нагреве и охлаждении. Как называется такой вид закалки?

15. После термической обработки углеродистой стали У10 получена структура: «цементит + мартенсит отпуска». Укажите температуру нагрева этой стали под закалку. Назначьте температуру отпуска, обеспечивающую получение указанной структуры и опишите все превращения, которые совершились в стали в процессе закалки и отпуска.

16. После закалки углеродистой стали У8 была получена структура, состоящая из троостита и мартенсита. Определите температуру и режим ТО, обеспечивающие получение

такой структуры. Опишите превращения, которые совершились в стали при охлаждении, какая у неё получилась твердость?

17. После закалки углеродистой 50 стали была получена бейнитная структура. Назначьте температуру, обеспечивающую получение такой структуры. Опишите превращения, которые совершились в стали при нагреве и охлаждении, ее твердость.

18. После закалки углеродистой стали 60 была получена структура, состоящая из феррита и мартенсита. Укажите температуру нагрева под закалку. Как называется такой вид закалки? Какие превращения произошли при нагреве и охлаждении?

19. Углеродистая сталь 45 после закалки и отпуска имеет структуру тростит отпуска. Укажите температуры закалки и отпуска. Опишите превращения, которые происходят при выбранных режимах термической обработки, и примерная твердость стали.

20. Углеродистые стали 45 и У9 после закалки и отпуска имеют структуру мартенсит отпуска и твердость: первая – 50 HRC, вторая – 60 HRC. Укажите температуру закалки и температуру отпуска для каждой стали. Опишите превращения, происходящие в этих сталях в процессе закалки и отпуска и объясните, почему сталь У9 имеет большую твердость, чем сталь 45?

#### 4.3. Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Дайте определение термической обработке; какими параметрами можно ее характеризовать?

2. Какова структура в доэвтектоидных сталях после отжига, нормализации, закалки?

3. Какова структура в заэвтектоидных сталях после отжига, нормализации, закалки?

4. Какая структура получается в доэвтектоидных сталях после неполной закалки?

5. Какую структуру имеют заэвтектоидные стали после закалки с температуры выше  $A_{с1}$ ?

6. Какая структура получается после закалки в масло доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей?

7. Почему при закалке в масло по сравнению с закалкой в воду твердость стали понижается?

8. С какой целью применяют отжиг сталей, нормализацию, закалку, отпуск?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ НАГРУЖЕНИЯ

### 1. Цель занятия.

Практическое занятие имеет цель познакомиться с основными свойствами металлов и сплавов, их характеристиками и способами определения этих характеристик.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы:

1. Изучение диаграммы «растяжение – удлинение» и определение с ее помощью основных механических свойств металлов.
2. Определение и расчет основных характеристик металлов.
3. Ответы на контрольные вопросы.

### 2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию.

Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, различными слайдами.

### 3. Методические указания к выполнению практического занятия

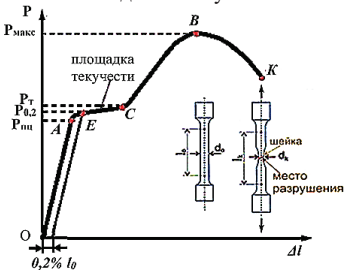


Рис. 1. – Диаграмма растяжения низкоуглеродистой стали

когда соблюдается закон Гука, когда наблюдается линейная зависимость абсолютной деформации  $\Delta l$  от нагрузки  $P$ , где  $\Delta l = l - l_0$ . структура стали, состоящая из зерен феррита и небольшого количества перлита, не изменяется. При снятии нагрузки в области только упругих деформаций размеры образца полностью восстанавливаются.

Напряжение, соответствующее упругой предельной деформации в точке  $A$ , называется **пределом пропорциональности** ( $\sigma_{пц}$ ) – максимальное напряжение, до которого сохраняется линейная зависимость между деформацией и напряжением:  $\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0}$

где  $F_0$  – начальная площадь поперечного сечения в рабочей части образца.

При напряжениях выше предела пропорциональности происходит равномерная пластическая деформация (удлинение или сужение сечения) и наблюдается отклонение от линейной зависимости деформации от нагрузки.

Так как практически невозможно установить точку перехода в неупругое состояние, то устанавливают **условный предел упругости** – максимальное напряжение, когда образец получает только упругую деформацию ( $AE$ ), при котором остаточная деформация очень мала ( $0,005 \dots 0,05\%$ ). В обозначении указывается значение остаточной деформации ( $\sigma_{0,05}$ ):

$\sigma_{0,05} = \frac{P_{0,05}}{F_0}$  и характеризует сопротивление металлов упругим деформациям.

**Статическими** называют испытания, при которых нагружение производится медленно и плавно.

Свойство металла сопротивляться возникновению и развитию пластической деформации определяет его **прочность** – способность материала сопротивляться деформациям и разрушению. Испытания проводятся на специальных машинах, которые записывают диаграмму растяжения, выражающую зависимость удлинения образца  $\Delta l$  от действующей нагрузки  $P$ , т.е.  $\Delta l = f(P)$  (рис 1).

Проанализируем процессы, которые происходят в материале образца малоуглеродистой стали, содержащей 0,2 % углерода, при увеличении нагрузки. Участок  $OA$  на диаграмме соответствует упругой деформации материала,

Дальнейшее нагружение сопровождается значительным развитием в металлах пластической деформации. Структура малоуглеродистой стали изменяется. Существенно возрастает плотность дислокаций, на кривой растяжения образуется площадка. Наименьшее напряжение  $\sigma_T$ , при котором образец деформируется без заметного увеличения нагрузки, называется **физический предел текучести** ( $\sigma_T$ ) – это напряжение, при котором происходит увеличение деформации при постоянной нагрузке (наличие практически горизонтальной площадки на диаграмме растяжения – *ЕС*). Используется для очень пластичных материалов.

$\sigma_m = \frac{P_m}{F_0}$ . Но основная часть металлов и сплавов не имеет площадки текучести.

**Условный предел текучести** ( $\sigma_{0,2}$ ) – это напряжение, вызывающее остаточную деформацию равной 0,2 % от начальной длины образца  $l_0$ .  $\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$

$\sigma_{0,2}$  является расчетной характеристикой, которая характеризует сопротивление материалов малым пластическим деформациям и используется в расчетах запасов прочности.

Физический или условный пределы текучести являются важными расчетными характеристиками материала.

Равномерная по всему объему пластичная деформация продолжается до значения предела прочности. Дальнейшее увеличение нагрузки сопровождается дальнейшим увеличением плотности дислокаций, их торможением. Происходит пластическая деформация всего объема металла. Зерна дробятся дислокациями, образуется волокнистая структура. Возникает текстура деформации. Нагрузка в точке **B** достигает максимального значения.

Условное напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, предшествующей разрушению, называется **временным сопротивлением** или **пределом прочности** ( $\sigma_B$ ) – напряжение, соответствующее максимальной нагрузке, которую выдерживает образец до разрушения (временное сопротивление разрыву).  $\sigma_B = \frac{P_B}{F_0}$

При дальнейшем растяжении деформация локализуется на определенном участке, где происходит местное сужение образца, образуется **шейка**. На этом участке интенсивно развивается множественное скопление, резко возрастает плотность вакансий и дислокаций, возникают поры и микротрещины, которые сливаются в макротрещины, в итоге несущие свойства материала резко снижаются и в точке **K** происходит разрушение.

При испытании на растяжение определяются и характеристики пластичности.

**Пластичность** – способность материала к пластической деформации, т.е. способность получать остаточное изменение формы и размеров без нарушения сплошности. Это свойство используют при обработке металлов давлением.

Характеристики: **относительное удлинение**  $\delta$  -  $\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l_{ост}}{l_0} \times 100\%$ , где  $l_0$  и  $l_k$  начальная и конечная длина образца.

$\Delta l_{ост}$  – абсолютное удлинение образца, определяется измерением образца после разрыва.

**относительное сужение** -  $\Psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$ , где  $F_0$  и  $F_k$  – начальная и конечная (в шейке после разрыва) площадь поперечного сечения.

3.1. Порядок выполнения практического занятия

В часы самостоятельной работы накануне занятий обучающиеся изучают теоретический материал, знакомятся с объемом и порядком выполнения задания.

К выполнению работы допускаются обучающиеся, изучившие настоящее методические указания по выполнению практического занятия и ответившие на контрольные вопросы к данному занятию. Неподготовленные обучающиеся готовятся в этой же аудитории и могут быть допущены к практическому занятию после повторного опроса. Завершение выполнения задания и последующий зачет проводится, в этом случае, в часы самостоятельной работы.

Работа выполняется самостоятельно, под наблюдением преподавателя. Задание, выдаваемое преподавателем, предусматривает определение температур ТО, необходимых для

получения заданных твердости стали, представленных в задании в соответствии с вариантом по последним цифрам зачетной книжки. Для выполнения задания необходимо иметь тетрадь для лабораторных и практических занятий по изучаемой дисциплине, калькулятор.

### 3.2. Пример выполнения задания

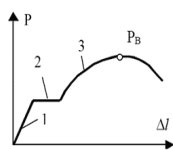
Испытанию на растяжение подвергался стандартный цилиндрический образец из углеродистой стали. Размеры рабочей части образца составляли  $d_0 = 8$  мм, начальная длина  $l_0 = 160$  мм. Признаки текучести зафиксированы при нагрузке  $F_T = 5200$  Н. Разрыв образца произошёл при максимуму нагрузки  $F_K = 10000$  Н. Длина образца после разрыва  $l_K = 197$  мм. Рассчитать предел текучести, предел прочности и относительное удлинение стали при разрыве?

**Решение:** Предел текучести в данном случае является физическим, так как при испытании стали была чётко зафиксирована площадка текучести. Рассчитывается по формуле:  $\sigma_T = P_T/F_0$ . Необходимо определить  $F_0$ . Определяем по формуле  $F_0 = \pi \cdot d_0^2/4 = 3,14 \cdot 8^2/4 = 50,24$  мм<sup>2</sup>  $\approx 50$  мм<sup>2</sup>. Тогда  $\sigma_T = 5200/50 = 104$  МПа.

Предел прочности (временное сопротивление стали разрыву) рассчитывается по максимальной растягивающей нагрузке, выдержанной сталью при испытании, отнесённой к единице площади исходного сечения образца, т.е.:  $\sigma_B = P_B/F_0 = 10000/50 = 200$  МПа.

Относительное удлинение при разрыве:  $\delta = \frac{l_K - l_0}{l_0} \times 100\% = (197 - 160)/160 \cdot 100 = 23,125 \approx 23\%$

### Варианты заданий

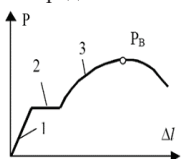


**1 вариант.** 1. Указать какие изменения происходят в микроструктуре металла образца при растяжении соответственно на участках 1 и 2 диаграммы.

2. Максимальное напряжение, предшествующее разрушению – это: - предел текучести; - предел прочности; - предел выносливости. Выбрать ответ.

3. Проводилось испытание образцов на растяжение. Диаметр рабочей части образца до и после испытания  $d_0 = 5$  мм,  $d_K = 3,4$  мм соответственно.

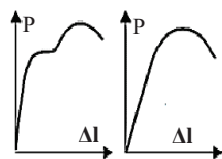
Определите относительное сужение металла образца.



**2 вариант.** 1. Указать какие изменения происходят в микроструктуре металла образца при растяжении соответственно на участках 3 и в точке  $P_B$  (она же  $P_{max}$ ) диаграммы.

2. Предел текучести характеризует: - сопротивление металла разрушению; сопротивление усталости; сопротивление малым деформациям. Выбрать ответ.

3. Проводилось испытание образцов на растяжение. Длина рабочей части образца до и после испытания  $l_0 = 25$  мм,  $l_K = 31,3$  мм, соответственно. Определите относительное удлинение металла образца.



**3 вариант.** 1. Какая из приведённых диаграмм растяжения соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях растяжения?

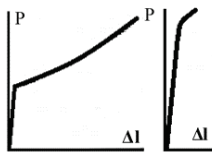
2. Максимальное напряжение, при котором образец не разрушается в течение бесконечного или базового числа циклов при знакопеременных нагрузках — это: предел прочности; предел выносливости; предел текучести. Выбрать ответ.

3. Проводилось испытание образцов на растяжение. Диаметр рабочей части образца до и после испытания  $d_0 = 6$  мм,  $d_K = 4$  мм соответственно. Определите относительное сужение образца.

**4 вариант.** 1. Два сплава имеют равную прочность, но различную пластичность. Изобразите диаграммы растяжения этих сплавов в координатах «напряжение - относительная деформация».

2. К механическим свойствам материалов относится: свариваемость; пластичность; плотность. Выбрать ответ.

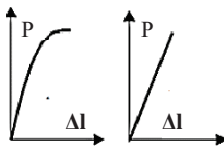
3. Чему равен предел прочности образца с площадью поперечного сечения  $20 \text{ мм}^2$ , если его разрушение произошло при нагрузке  $3400 \text{ Н}$ ? Чему равен условный предел текучести, если нагрузка  $P_2$  составляет  $2900 \text{ Н}$ ?



**5 вариант.** 1. Какая из приведённых диаграмм растяжения соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях сжатия?

2. Пластичность материалов характеризуется показателем: пределом текучести; ударной вязкостью; относительным сужением. Выбрать ответ.

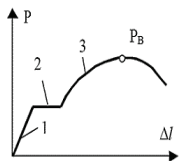
3. Диаметр рабочей части  $d_0=5 \text{ мм}$ . Усилия на образце в точках  $\sigma_2$  и  $\sigma_в$  диаграммы растяжения  $P_2=4800 \text{ Н}$ ,  $P_в=8100 \text{ Н}$ , соответственно. Определите предел прочности и предел текучести металла образца.



**6 вариант.** 1. Какая из приведённых диаграмм растяжения соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях интенсивного изнашивания?

2. Предел прочности обозначается:  $\sigma_m$ ;  $\sigma_{-1}$ ;  $\sigma_в$ . Дайте определение.

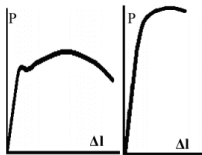
3. Проводилось испытание образцов на растяжение. Диаметр рабочей части образца до и после испытания  $d_0=8 \text{ мм}$ ,  $d_k=5,4 \text{ мм}$  соответственно. Определите относительное сужение металла образца.



**7 вариант.** 1. Указать какие изменения происходят в микроструктуре металла образца при растяжении соответственно на участках 1 и в точке  $P_в$  (она же  $P_{max}$ ) диаграммы.

2. Относительное сужение обозначается:  $\delta$ ;  $\psi$ ;  $l$ . Дайте определение.

3. Определите, какой из двух металлов прочнее и во сколько раз, если при испытании на растяжение два образца диаметром  $10$  и  $20 \text{ мм}$  из разных металлов выдержали без разрушения максимальную нагрузку  $4500 \text{ Н}$  и  $6000 \text{ Н}$  соответственно.



**8 вариант.** 1. Какая из приведённых диаграмм растяжения соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях сжатия?

2. К механическим свойствам материалов относится: обрабатываемость резанием; плотность; прочность. Выбрать ответ

3. Чему равен предел прочности образца с площадью поперечного сечения  $30 \text{ мм}^2$ , если его разрушение произошло при нагрузке  $6000 \text{ Н}$ ? Чему равен физический предел текучести, если остаточная деформация появилась при нагрузке  $5100 \text{ Н}$ ?

**9 вариант.** 1. Два сплава имеют равную пластичность, но различную прочность. Изобразите диаграммы растяжения этих сплавов в координатах «напряжение - относительная деформация».

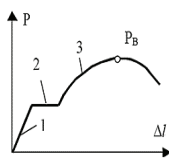
2. Максимальное напряжение, предшествующее разрушению – это: предел текучести; предел прочности; предел выносливости. Выбрать ответ.

3. Дано:  $l_0=28 \text{ мм}$ ,  $F_0=19,63 \text{ мм}^2$ ,  $P_{max}=15000 \text{ Н}$ ,  $P_{0,2}=13250 \text{ Н}$ ,  $l_k=33,6 \text{ мм}$ ,  $F_1=11,66 \text{ мм}^2$ . Рассчитать:  $\sigma_в$  - ?;  $\sigma_{0,2}$  - ?;  $\delta$  - ?;  $\Psi$  - ? Дать объяснение полученным результатам.

**10 вариант.** 1. Два сплава имеют равную прочность, но различную пластичность. Изобразите диаграммы растяжения этих сплавов в координатах «напряжение - относительная деформация».

2. Максимальное напряжение, предшествующее разрушению – это: предел текучести; предел прочности; предел выносливости. Выбрать ответ.

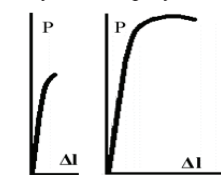
3. Проводилось испытание образцов на растяжение. Диаметр рабочей части образца до и после испытания  $d_0=10$  мм,  $d_k=6,7$  мм соответственно. Определите относительное сужение металла образца.



**11 вариант.** 1. Указать какие изменения происходят в микроструктуре металла образца при растяжении соответственно на участках 2 и 3 диаграммы.

2. Преломленности характеризует: сопротивление металла разрушению; сопротивление текучести; сопротивление малым деформациям. Выбрать ответ.

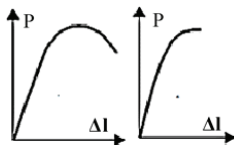
3. Дано:  $l_0=28$  мм,  $F_0=19,63$  мм<sup>2</sup>,  $P_{max}=18650$  Н,  $P_{0,2}=13700$  Н,  $l_1=70,0$  мм,  $F_1=15,3$  мм<sup>2</sup>. Рассчитать:  $\sigma_b$  - ?;  $\sigma_{0,2}$  - ?;  $\delta$  - ?;  $\Psi$  - ? Дать объяснение полученным результатам.



**12 вариант.** 1. Какая из приведённых диаграмм растяжения соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях растяжения?

2. Напряжение, соответствующее остаточной деформации 0,2% — это: условный предел текучести; физический предел текучести; предел пропорциональности. Выбрать ответ.

3. Дано:  $l_0=28$  мм,  $F_0=20$  мм<sup>2</sup>,  $P_{max}=20600$  Н,  $P_{0,2}=19000$  Н,  $l_k=30,52$  мм,  $F_{k1}=15,4$  мм<sup>2</sup>. Рассчитать:  $\sigma_b$  - ?;  $\sigma_{0,2}$  - ?;  $\delta$  - ?;  $\Psi$  - ? Дать объяснение полученным результатам.



**13 вариант.** 1. Какая из приведённых диаграмм растяжения соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях растяжения?

2. Относительное удлинение определяется при испытаниях: статических; динамических; циклических. Выбрать ответ.

3. Дано:  $l_0=28$  мм,  $F_0=19,63$  мм<sup>2</sup>,  $P_{max}=27500$  Н,  $P_{0,2}=26000$  Н,  $l_k=29,5$  мм,  $F_k=18,1$  мм<sup>2</sup>. Рассчитать:  $\sigma_b$  - ?;  $\sigma_{0,2}$  - ?;  $\delta$  - ?;  $\Psi$  - ? Дать объяснение полученным результатам.

**14 вариант.** 1. Два сплава имеют равную пластичность, но различную прочность. Изобразите диаграммы растяжения этих сплавов в координатах «напряжение - относительная деформация».

2. Для сплавов, работающих при динамических нагрузках, применяют испытания: на растяжение; на ударную вязкость; на усталостную прочность. Выбрать ответ.

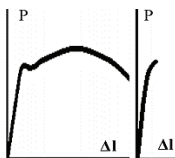
3. Проводилось испытание образцов на растяжение. Диаметр рабочей части образца до и после испытания  $d_0=4$  мм,  $d_k=2$  мм соответственно. Определите относительное сужение металла образца.

**15 вариант.** 1. Указать какие изменения происходят в микроструктуре металла образца при растяжении соответственно на участках 3 и в точке  $P_b$  (она же  $P_{max}$ ) диаграммы.

2. К технологическим свойствам материалов относится: теплопроводность; свариваемость; вязкость. Выбрать ответ.

3. Проводилось испытание образцов на растяжение. Длина рабочей части образца до и после испытания  $l_0=30$  мм,  $l_k=37,5$  мм, соответственно.

Определите относительное удлинение металла образца.



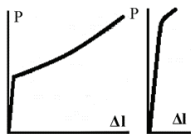
**16 вариант.** 1. Какая из приведённых диаграмм растяжения соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях растяжения?

2. Пластичность материалов характеризуется показателем:  $\sigma_T$ ; КСУ;  $\delta$  и  $\Psi$ . Выбрать ответ.

3. Образец на растяжение из отожжённой стали ( $\sigma_T=425$  МПа) имеет диаметр 12,8 мм и длину рабочей части 50 мм. Максимальная нагрузка равна 66700 Н, разрушение



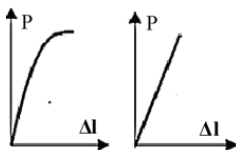
наступает при нагрузке 44500 Н. Определить временное сопротивление при растяжении и почему разрушение наступает при более низкой нагрузке чем максимальная?



**17 вариант.** 1. Какая из приведённых диаграмм растяжения соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях растяжения?

2. Прочность материалов характеризуется показателем:  $\sigma_T$ ;  $\sigma_B$ ;  $\sigma_{пл}$ . Выбрать ответ.

3. Усилия на образце в точках  $P_T$  и  $P_B$  диаграммы растяжения, соответственно 4800 и 8100 Н. Определите предел прочности и предел текучести металла образца. Диаметр рабочей части  $d_0=5$  мм.



**18 вариант.** 1. Какая из приведённых диаграмм растяжения соответствует наиболее хрупкому материалу? Из какого материала целесообразно изготавливать детали, работающие в условиях сжатия?

2. Максимальное напряжение, при котором образец не разрушается в течение бесконечного или базового числа циклов при знакопеременных нагрузках — это: предел прочности; предел

выносливости; предел текучести. Выбрать ответ.

3. Проводилось испытание образцов на растяжение. Диаметр рабочей части образца до и после испытания  $d_0=6$  мм,  $d_k=4$  мм соответственно. Определите относительное сужение металла образца.

**19 вариант.** 1. Определите, какой из материалов пластичнее и во сколько раз, если два образца из разных металлов с начальной длиной 50 и 70 мм удлинились после испытания на растяжение на 20 мм каждый.

2. Упругость материалов характеризуется показателем: показателем:  $\delta$  и  $\Psi$ ;  $\sigma_{0,2}$ ;  $НВ$ . Выбрать ответ.

3. Дано:  $l_0=28$  мм,  $F_0=19,6$  мм<sup>2</sup>,  $P_{max}=1600$  Н,  $P_{0,2}=12900$  Н,  $l_k=31,08$  мм,  $F_k=15,3$  мм<sup>2</sup>. Рассчитать:  $\sigma_B$  - ?;  $\sigma_{0,2}$  - ?;  $\delta$  - ?;  $\Psi$  - ? Дать объяснение полученным результатам.

**20 вариант.** 1. Два сплава имеют равную пластичность, но различную прочность. Изобразите диаграммы растяжения этих сплавов в координатах «напряжение - относительная деформация».

2. Предел текучести характеризует: - сопротивление металла разрушению; - сопротивление усталости; - сопротивление малым деформациям. Выбрать ответ.

3. Дано:  $F_0=18$  мм<sup>2</sup>;  $l_0=50$  мм;  $l_k=57,5$  мм;  $P_{max}=7947$  Н;  $P_{0,2}=6800$  Н;  $F_k=15,3$  мм<sup>2</sup>. Рассчитать:  $\sigma_B$  - ?;  $\sigma_{0,2}$  - ?;  $\delta$  - ?;  $\Psi$  - ? Дать объяснение полученным результатам.

3.3 Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какие испытания называют статическими? Для чего проводят испытания на растяжение?

2. Перечислите механические свойства материалов, определяемые на диаграмме «растяжение – удлинение», условные обозначения и единицы измерения.

3. Дайте определение и характеристику предела прочности, физического предела текучести, относительного удлинения и относительного сужения и их единицы измерения.

4. Чем отличаются истинные напряжения от условных?

5. Какие величины относят к характеристикам пластичности, а какие к характеристикам прочности?

6. Как определяют относительное удлинение, относительное сужение?

7. Как определяют по диаграмме растяжения условный предел текучести?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ: ТВЕРДОСТЬ, УДАРНАЯ ВЯЗКОСТЬ И УСТАЛОСТЬ.

### 1. Цель занятия.

Практическое занятие имеет цель познакомиться с основными свойствами металлов и сплавов, их характеристиками и способами определения этих характеристик.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы: 1. Изучение способов определения основных механических свойств металлов. 2. Определение и расчет основных характеристик металлов. 3. Ответьте на контрольные вопросы.

### 2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию.

Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, различными слайдами.

### 3. Методические указания к выполнению практического занятия

Механические свойства характеризуют сопротивление материала деформации, разрушению или особенность его поведения в процессе разрушения. К ним относятся упругость, прочность, пластичность, сопротивление усталости (выносливость), ударная вязкость и твердость.

**Ударная вязкость** – это способность металлов и сплавов оказывать сопротивление действию ударных нагрузок. Для испытаний используют образцы стандартного размера с концентратором, роль которого выполняет надрез U-образной ( $r = 1$  мм), V-образной ( $r = 0,25$  мм) формы или усталостная трещина Т. В зависимости от типа образцов определяют KCU, KCV, KCT.

Испытание на ударную вязкость при изгибе проводят на приборе – маятниковом копре в соответствии с ГОСТ 9454–78. Метод основан на разрушении образца с концентратором посередине одним ударом маятника со стороны, противоположной концентратору. При этом концы образца располагают на опорах. Ударную вязкость KCU (KCV, KCT – в зависимости от вида концентратора) определяют по формуле:  $KCU = A/S_0$ , где  $A$  – работа, затраченная на разрушение образца, Дж;  $S_0$  – площадь поперечного сечения образца в месте надреза до испытания, см<sup>2</sup>. Работу удара определяют по шкале маятникового копра. Первые две буквы КС (латинские) обозначают символ ударной вязкости, а третья буква – вид концентратора. Испытания на ударный изгиб могут проводиться при температуре от – 100 С до + 1000 °С. Температуру испытаний указывает цифровой индекс, который ставят сверху после буквенных составляющих, например, KCU - 20.

**Сопротивление усталости или выносливость** – это способность материала сопротивляться усталости при действии переменных напряжений (ГОСТ 23207–78). Существует несколько характеристик сопротивления материала усталости. Наиболее важной является предел выносливости. Испытания для определения предела выносливости ( $\sigma_R$ ) проводят по ГОСТ 25.502–79 на стандартных образцах круглого и прямоугольного сечений, гладких и надрезом при их циклическом нагружении в условиях растяжения – сжатия, переменного изгиба или переменного кручения на специальных машинах. При этом циклы напряжений и деформаций могут быть симметричными и асимметричными, изменяющимися по простому периодическому закону с постоянными параметрами. Образцы (не менее 15 шт.) подвергают многократному нагружению на разных уровнях напряжений до определённого числа циклов  $N$  (базы испытаний). Результаты испытаний изображают в виде кривой усталости в координатах  $\sigma_{max} - \lg N$ ,  $\lg \sigma_{max} - \lg N$  или  $\sigma_{max} - 1/N$  (рис. 1).

**Предел выносливости**  $\sigma_R$  ( $\sigma_{-1}$  – для циклических нагрузок) – это максимальное напряжение цикла нагружения, при котором ещё не происходит усталостное разрушение при достижении  $N = 10 \cdot 10^6$  циклов (база испытаний) для сталей и других металлов и сплавов, имеющих практически

горизонтальный участок на кривой усталости (рис. 1, кр.1) и  $N = 100 \cdot 10^6$  циклов для материалов, не имеющих такого участка (рис. 1, кр. 2).

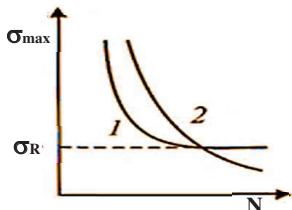


Рис. 1. Кривые усталости для материалов с базой испытаний:

- 1 –  $N = 10 \cdot 10^6$  циклов; 2 –  
 $N = 100 \cdot 10^6$  циклов

**Твёрдость** – это способность материала сопротивляться проникновению в его поверхность более твёрдого тела – индентора. В качестве индентора используют закалённый стальной шарик или алмазный наконечник в виде конуса или пирамиды. При вдавливании индентора поверхность образца или изделия пластически деформируется, а после снятия нагрузки на поверхности остаётся отпечаток. Твёрдость характеризует сопротивление материала пластической деформации. Такое же сопротивление оценивает и предел прочности. Поэтому для целого ряда материалов численные значения твёрдости и временного сопротивления  $\sigma_b$  пропорциональны.

Различают методы измерения твёрдости: – по Бринеллю (ГОСТ 9012–59); – по Роквеллу (ГОСТ 9013–59); – по Виккерсу (ГОСТ2999–75). Твёрдость измеряют на специальных приборах – твердомерах Бринелля, Роквелла и Виккерса. Метод измерения твёрдости по Бринеллю заключается во вдавливании под действием нагрузки стального шарика в образец или небольшое изделие в течение определённого времени и измерении диаметра отпечатка после снятия нагрузки. Диаметр шарика может быть 10; 5 или 2,5 мм при действии нагрузки от 500 кгс до 3000 кгс. Диаметр отпечатка измеряют с помощью микроскопа или лупы, на окуляре которых нанесена шкала с делениями. Число твёрдости по Бринеллю определяют по формуле путём деления нагрузки  $P$  на площадь поверхности сферического отпечатка  $HV = P/F = 2 \cdot P / \pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2}) = \text{кгс/мм}^2$ , где  $D$  – диаметр шарика,  $d$  – диаметр отпечатка, мм,  $P$  – нагрузка, кгс. В случае, когда  $D = 10$  мм,  $P = 3000$  кгс, а выдержка под нагрузкой  $t = 10 \dots 15$  с, твёрдость обозначается цифрами без единиц измерения и буквами НВ, например, 302 НВ. Для простоты определения твёрдости как правило пользуются таблицами, связывающими диаметр отпечатка с величиной твёрдости по Бринеллю для разных  $P$  и  $D$ .

Метод измерения твёрдости по Роквеллу наиболее универсален и наименее трудоёмок. Число твёрдости зависит от глубины вдавливания наконечника, в качестве которого используют алмазный конус с углом при вершине  $120^\circ$  или стальной шарик с  $d = 1,588$  мм. Нагрузку выбирают в зависимости от материала наконечника. Число твёрдости определяют по шкале прибора. Для различных комбинаций нагрузок и наконечников твердомер Роквелла имеет три измерительные шкалы: А, В, и С.

При измерении твёрдости по Виккерсу в поверхность образца вдавливают четырёхгранную пирамиду с углом при вершине  $136^\circ$ . После снятия нагрузки измеряют диагонали отпечатка ( $d$  – среднее из двух диагоналей) и число твёрдости измеряют по формуле:  $HV = P/F = 1,8544 \cdot P / d^2$ , кгс/мм<sup>2</sup>, где  $P$  в Н,  $d$  в мм. На практике число твёрдости определяют по специальным таблицам по значению диагонали отпечатка при выбранной нагрузке. Метод Виккерса применяют главным образом для материалов, имеющих высокую твёрдость, или тонких поверхностных слоёв, а также для изделий небольшой толщины или отдельных структурных составляющих.

### 3.2. Пример выполнения задания

3.2.1. Вычислите твердость по Бринеллю, если диаметр отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхности образца, составил 3 мм. Условия испытания были следующими: диаметр шарика 10 мм; нагрузка 900 кгс.

**Решение:** Дано:  $d = 3$  мм;  $D = 10$  мм;  $P = 1250$  кгс. Найти: НВ - ?

Запишите формулу расчета твердости по методу Бринелля.  $HV = P / A = 2P / D(D - \sqrt{D^2 - d^2})$  и вычислите значение твердости:  $HV = 2 \cdot 900 / 10 (10 - \sqrt{10^2 - 3^2}) = 391$  Запишите полученный ответ. Твердость – 391 НВ.

3.2.2. Вычислите ударную вязкость (ККУ), если энергия удара маятника составляла 300 Дж.

**Решение:** Дано:  $K = 300$  Дж. Найти:  $KCU - ?$

*Запишите формулу расчета ударной вязкости.  $KCU = K / S_0$ , и вычислите ударную вязкость.  $KCU = 30 / 0,8 = 37,5$ . Запишите полученный ответ. Ударная вязкость  $KCU = 37,5$  Дж/м<sup>2</sup>.*

3.2.3. Вычислите предел выносливости стали, если известно, что  $\sigma_b = 973$  МПа.

**Решение:** Дано:  $\sigma_b = 973$  МПа. Найти:  $\sigma_{-1} - ?$

*Запишите формулу зависимости между пределом выносливости и пределом прочности.  $\sigma_{-1} = 0,6 \cdot \sigma_b$  и вычислите предел выносливости, МПа:  $\sigma_{-1} = 0,6 \cdot 973 = 583,8$ . Запишите полученный ответ.  $\sigma_{-1} = 583,8$  МПа.*

### Варианты заданий

**Вариант 1.** 1. Вычислите твердость по Бринеллю, если диаметр отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхности образца, составил 3 мм. Условия испытания были следующими: диаметр шарика 10 мм, нагрузка – 1000 кгс.

2. Дайте определение ударной вязкости. Зарисуйте виды образцов для испытаний и приведите схему испытаний. Вычислите ударную вязкость, если энергия удара маятника составляла 30 Дж.

3. Вычислите предел выносливости стали, если его  $\sigma_b = 780$  МПа. Дайте определение пределу выносливости, опишите схему испытаний и определения предела выносливости.

**Вариант 2.** 1. Вычислите твердость по Бринеллю, если диаметр отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхности образца, составил 2 мм. Условия испытания были следующими: диаметр шарика 5 мм, нагрузка – 1000 кгс.

2. Дайте определение ударной вязкости. Зарисуйте виды образцов для испытаний, приведите схему испытаний. Вычислите ударную вязкость, если энергия удара маятника составляла 33 Дж.

3. Вычислите предел выносливости стали, если его  $\sigma_b = 920$  МПа. Дайте определение пределу выносливости, опишите схему испытаний и определения предела выносливости.

**Вариант 3.** 1. Вычислите твердость по Бринеллю, если диаметр отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхности образца, составил 2,8 мм. Условия испытания были следующими: диаметр шарика 10 мм, нагрузка – 750 кгс.

2. Дайте определение ударной вязкости. Зарисуйте виды образцов для испытаний, приведите схему испытаний. Вычислите ударную вязкость, если энергия удара маятника составляла 35 Дж.

3. Вычислите предел выносливости стали, если его  $\sigma_b = 600$  МПа. Дайте определение пределу выносливости, опишите схему испытаний и определения предела выносливости.

**Вариант 4.** 1. Вычислите твердость по Бринеллю, если диаметр отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхности образца, составил 0,5 мм. Условия испытания были следующими: диаметр шарика 1 мм, нагрузка – 25 кгс.

2. Дайте определение ударной вязкости. Зарисуйте виды образцов для испытаний, приведите схему испытаний. Вычислите ударную вязкость, если энергия удара маятника составляла 37 Дж.

3. Вычислите предел выносливости стали, если его  $\sigma_b = 900$  МПа. Дайте определение пределу выносливости, опишите схему испытаний и определения предела выносливости.

**Вариант 5.** 1. Вычислите твердость по Бринеллю, если диаметр отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхности образца, составил 3,2 мм. Условия испытания были следующими: диаметр шарика 10 мм, нагрузка – 750 кгс.

2. Дайте определение ударной вязкости. Зарисуйте виды образцов для испытаний, приведите схему испытаний. Вычислите ударную вязкость, если энергия удара маятника составляла 21 Дж.

3. Вычислите предел выносливости стали, если его  $\sigma_b = 860$  МПа. Дайте определение пределу выносливости, опишите схему испытаний и определения предела выносливости.

**Вариант 6.** 1. Вычислите твердость по Бринеллю, если диаметр отпечатка, возникшего от воздействия шарика на поверхности образца, составил 4,2 мм. Условия испытания были следующими: диаметр шарика 10 мм, нагрузка – 1000 кгс.

2. Дайте определение ударной вязкости. Зарисуйте виды образцов для испытаний, приведите схему испытаний. Вычислите ударную вязкость, если энергия удара маятника составляла 17 Дж.

3. Вычислите предел выносливости стали, если его  $\sigma_b = 840$  МПа. Дайте определение пределу выносливости, опишите схему испытаний и определения предела выносливости.





Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое твёрдость?
2. Какие материалы можно измерить методом Бринелля.
3. Как подсчитать твёрдость образца (детали) по Бринеллю после его испытания.
4. Какие вы знаете инденторы и нагрузки при испытании материалов по методу Роквелла.
5. Что обозначает HRB, HRC, HRA?
6. Какие факторы обуславливают разрушение деталей при относительно небольших перемещениях напряжений?
7. Как строится и для чего кривая усталости для симметричного цикла?
8. Дайте определение предела выносливости.
9. Что такое ударная вязкость, и в каких единицах она измеряется?
10. Какая существует связь между пределом выносливости и пределом прочности для различных материалов?
11. Какие образцы используют для определения ударной вязкости.
12. В чем состоит принцип работы маятникового копра?
13. Для каких целей используют значения ударной вязкости: KCU, KCV и KCT?
14. Если определить KCV и KCT для одного материала, то какая величина будет больше? Почему? Ответ обоснуйте.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: ЦВЕТНЫЕ СПЛАВЫ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ И СВОЙСТВА**

### **1. Цель занятия:**

Практическое занятие имеет цель изучить основные марки цветных сплавов, их свойствами и применением.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы: 1. Используя материал теоретической части составить ответ по выбору цветного сплава для заданных условий эксплуатации. 2. Получить у преподавателя вариант индивидуального задания из таблицы. 3. Для изучаемых марок сплавов, в соответствии с индивидуальным заданием, пользуясь учебниками и справочниками расшифровать марку сплава. 4. Ответьте на контрольные вопросы.

### **2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.**

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию.

Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, различными слайдами

### **3. Методические указания к выполнению практического занятия**

В данной работе изучаются цветные сплавы на медной, алюминиевой, магниевой, никелевой и титановой основах.

## 1. Сплавы на медной основе

Медь - обладает хорошей электропроводностью, коррозионной стойкостью в пресной и морской воде, кислотах и других агрессивных средах. Она весьма пластична, применяется в электротехнической промышленности. Медные сплавы имеют высокие механические и технологические свойства, хорошо сопротивляются различным видам коррозии и износу. Сплавы на медной основе разделяют в зависимости от состава на две основные группы: латуни и бронзы.

*Латуни* – это сплавы меди с цинком, где содержание цинка не превышает 45% и маркируются буквой «Л» – латунь – и цифрами, указывающими содержание меди в процентах, остальное – цинк (Л90, Л62 и т.д.). Латуни по технологическому признаку подразделяются на две группы:

а) деформируемые латуни (основной способ производства – обработка давлением), из которых изготовляют гильзы, проволоку, трубы, сильфоны, листы, прутки и т.д.

б) литейные латуни, обладающие хорошей жидкотекучестью, антифрикционными свойствами, характеризующиеся малой склонностью к ликвации. Эти латуни имеют более высокие механические свойства, и применяют их для изготовления литых сепараторов подшипников, втулок, вкладышей, гаек, тройников, колец, нажимных винтов, червячных колёс, пароводяной аппаратуры и т.д.

Латуни с содержанием цинка до 39% хорошо деформируются в холодном состоянии. При содержании цинка от 39% до 45% латуни мало пластичны в холодном состоянии, поэтому подвергаются горячей обработке давлением. Они имеют более высокую прочность и износостойкость. По химическому составу латуни подразделяются на двойные (простые сплавы – только с Zn), называемые томпак (марки этих латуней Л96 или Л90 чаще всего используются для изготовления радиаторных и конденсаторных трубок).

*Бронзы* – это сплавы меди с другими различными элементами: оловом, свинцом, алюминием, кремнием, бериллием и др. Как легирующая добавка в бронзы может включаться и цинк в небольших количествах.

Маркируются бронзы буквами «Бр» (бронза), затем указываются буквенные обозначения легирующих элементов, входящих в сплав, а за ними по порядку цифры, показывающие содержание этих элементов в процентах; остальное – медь. Например, БрОФ10-1 бронза оловянная (олова – 10%, фосфора – 1%, остальное – медь); БрАЖМц10-3-1 бронза алюминиевая (алюминия – 10%, железа – 3%, марганца – 1%, остальное – медь).

Различают деформируемые и литейные оловянистые бронзы (при содержании олова менее 5–6%). Деформируемые оловянистые бронзы изготовляют в виде лент, листов, прутков, трубок, путём прессования и штамповки. Литейные оловянистые бронзы применяют для изготовления антифрикционных деталей, вкладышей подшипников. Оловянистые (оловянные) бронзы характеризуются высокими антифрикционными свойствами, хорошей жидкотекучестью, низкой литейной усадкой.

В оловянистые бронзы для улучшения обрабатываемости резанием добавляют свинец, для повышения механических и литейных свойств – цинк и фосфор, для повышения коррозионной стойкости – никель и железо.

Специальные (безоловянистые) бронзы также находят широкое применение, так как имеют высокие механические и технологические свойства, коррозионную стойкость, антифрикционные свойства, могут успешно заменять оловянные бронзы.

Алюминиевые бронзы – двойные (БрА5 и БрА7) и сложнелегированные (добавки Ni, Mn, Fe и др.) – обладают повышенной коррозионной стойкостью в морской воде и влажной атмосфере и имеют высокие механические и технологические свойства.

Свинцовистые бронзы (БрС30, БрОС10-10, БрОСН10-2-3) являются литейными сплавами, они применяются как антифрикционный материал для высоконагруженных подшипников, работающих в условиях больших удельных давлений.

Бериллиевые бронзы (БрБ2, БрБНТ2-1-1) относятся к деформируемым сплавам, имеют высокие прочностные свойства, высокую упругость, сопротивляемость коррозии, свариваются и обрабатываются резанием. Их применяют как материал для изготовления



упругих элементов (пружин, мембран, торсионов), работающих в коррозионных средах, а также деталей, работающих на износ (кулачки полуавтоматов и др.).

## **2. Сплавы на основе алюминия**

Алюминий - лёгкий металл. Широкое применение сплавов на алюминиевой основе обосновано их относительно высокими механическими и литейными свойствами, малой плотностью. Все сплавы алюминия можно разделить на группы:

1) деформируемые, из которых получают полуфабрикаты – листы, проволоку, ленты, прутки, а также поковки и штамповки различными методами обработки давлением, а именно: прессованием, прокаткой, ковкой, штамповкой; они имеют высокую пластичность;

2) литейные, из которых получают фасонное литье отливкой в земляные или металлические формы; применяют литье под давлением; сплавы имеют хорошую жидкотекучесть, малую склонность к образованию горячих трещин.

*Деформируемые алюминиевые сплавы* подразделяются на: 1) сплавы, не упрочняемые термообработкой, 2) сплавы, упрочняемые термообработкой. К сплавам первой группы можно отнести сплавы алюминия с марганцем (АМц) или с магнием (АМг2, АМг3, АМг5, АМг6), имеющие умеренную прочность и пластичность, хорошую свариваемость, коррозионную стойкость. Эти сплавы в основном, применяют для средненагруженных деталей (подвески, заклёпки, сварные конструкции) К сплавам второй группы, упрочняемым термообработкой, относятся: дуралюмины – сплавы алюминия с медью, магнием и марганцем (Д1, Д16, Д20), сплавы авиаль (АВ), высокопрочные алюминиевые сплавы (В95, В96) и сплавы дляковки и штамповки (АК).

Дуралюмины (А1–Сu–Mg–Mn) маркируют буквой «Д» и цифрами, указывающими порядковый номер сплава (Д1, Д16), и применяют для изготовления ответственных деталей с высокой прочностью, требующих долговечности при переменных нагрузках и т.д. Поэтому эти сплавы характеризует не только высокая прочность при достаточной пластичности, а также хорошая свариваемость, удовлетворительная обработка резанием. К недостаткам данной группы можно отнести малую коррозионную стойкость. Из сплавов Д16, Д1, Д18 изготавливают строительные конструкции, кузова грузовых автомобилей, обшивки, лопасти воздушных винтов, заклёпки, лонжероны, шанпоуты и другие детали самолетов.

Сплавы типа авиаль АВ (А1–Mg–Si) уступают дуралюминам в прочности, но имеют лучшую пластичность в холодном и горячем состоянии, хорошо свариваются, обрабатываются резанием и сопротивляются коррозии. Сплавы АД31, АД33 используются для элементов конструкций с умеренными нагрузками, лопастей винтов вертолетов, рам, дверей, отделки кабин салонов самолётов и вертолётов.

Высокопрочные сплавы (А1–Mg–Zn–Cu–Mn) маркируют буквой «В» и цифрами, указывающими порядковый номер сплава, например, В95. Прочность этих сплавов больше, а пластичность меньше, чем у дуралюминов. Они обладают большей чувствительностью к концентраторам напряжений и пониженной коррозионной стойкостью, хорошей обрабатываемостью резанием и свариваемостью. Применяют высокопрочные алюминиевые сплавы для широкой номенклатуры деталей самолётостроения (обшивка, шанпоуты, лонжероны, стрингеры и высокопрочная обшивка), а также другие нагруженные конструкции.

Среди алюминиевых сплавов находят применение деформируемые сплавы дляковки и штамповки, маркируемые АК1, АК6, АК8 и т.д., где буквы указывают назначение сплава (алюминиевый ковочный), а цифра – его порядковый номер. В их состав кроме алюминия входят медь, магний, марганец, кремний. Кроме высоких механических свойств от этих сплавов требуется высокая пластичность в горячем состоянии. Из этих сплавов изготавливают картеры, двигатели, лопасти винтов, подмоторные рамы, крыльчатки и другие штамповые и кованые детали сложной формы в самолётостроении.

*Литейные сплавы на основе алюминия* имеют высокую жидкотекучесть, сравнительно небольшую усадку, малую склонность к образованию горячих трещин наряду с высокими механическими свойствами и сопротивлением коррозии. Среди литейных сплавов находят широкое применение силумины – сплавы алюминия с кремнием, имеющие высокие литейные

свойства. Маркируются они буквами "АЛ" (алюминиевый литейный) и цифрой, указывающей порядковый номер сплава в ГОСТе. Например: АЛ2, АЛ4 и т.д. Силумины используют для малонагруженных деталей (кронштейны, детали патрубков, барабаны, корпуса тормозов). Сплавы алюминия с медью АЛ7, АЛ19 имеют высокие механические свойства при комнатной и повышенной температурах и хорошо обрабатываются резанием, но менее коррозионностойкие. Их применяют для высоконагруженных деталей, работающих до 300 градусов. Магналии АЛ8-АЛ13-высокоррозионные сплавы, литейные свойства у них хуже, чем у силуминов. Однако они нашли широкое применение для деталей и узлов, подвергающихся ударным нагрузкам во влажной атмосфере (авиация и судостроение).

### ***3. Сплавы на основе магния.***

Всё большее применение в этом столетии находят магниевые сплавы. Сам магний химически активный металл. Легко окисляется и обладает невысокими механическими свойствами. из-за низких свойств чистый магний как материал не применяется, однако его сплавы, которые подразделяются на литейные и деформируемые имеют более высокие свойства и находят достаточно широкое применение в мире. Рассмотрим некоторые из них. Деформируемые сплавы маркируют буквами МА, далее следует цифра, показывающая номер сплава, например МА21. Сплавы МА1 и МА8 обладают хорошей технологичностью, коррозионной стойкостью и применяются в самолётостроении для ненагруженных деталей. Сплавы МА5 и МА21 также технологичны, хорошо свариваются, коррозионностойкие применяются в самолётостроении и ракетостроении, атомной промышленности (трубчатые тепловыделяющие элементы ядерных реакторов). Литейные сплавы маркируются буквами МЛ, далее следует цифра, показывающая номер сплава. Сплавы МЛ1 и МЛ1:6 применяют в сложных отливках в самолёто - и ракетостроении. Сплав МЛ12 обладает коррозионной стойкостью и жаропрочностью. Применяют для отливок, требующих хорошую герметичность и прочность при динамических нагрузках.

### ***4. Сплавы на основе титана.***

Титан обладает малой плотностью, высокими механическими свойствами, хорошей коррозионной стойкостью и высокой удельной плотность, превосходящей высокопрочные стали и алюминиевые сплавы. Титан обладает высокой и удельной прочностью в условиях глубокого холода, сохраняя при этом достаточную пластичность. Титан не является жаропрочным материалом. Маркируется чистый титан буквами ВТ и цифрами, определяющими количество примесей: ВТ1-00 - 99,53 % Ti, чистый титан хорошо обрабатывается давлением, хорошо сваривается дуговой сваркой в аргон и используется в сварных изделиях и поковках. Более широкое применение нашли титановые сплавы, имеющие более высокие характеристики. По технологии производства они классифицируются на деформируемые сплавы –полуфабрикаты или изделия из них изготавливают методом обработки давлением – вытяжкой, прессованием и т. д. маркируются буквами ВТ и далее цифры, показывающие номер сплава, например ВТ5. Литейные сплавы – изделия из них изготавливают методом литья. Маркировка такая же, как и у деформируемых (тот же состав), но добавляется буква Л (ВТ5Л).

### ***5. Никелевые сплавы.***

Никель относится к переходным металлам с решеткой ГЦК, имеет плотность 8,907 г/см<sup>3</sup>, температуру плавления 1455 °С, обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосфере и достаточно устойчив к коррозии в морской воде. Его широко используют в качестве основы для создания жаростойких и жаропрочных сплавов, которые позволяют успешно эксплуатировать многие детали авиационной техники при температурах до 1100 °С. К ним относятся детали камеры сгорания, форсажной камеры, турбины и сопла. В настоящее время 70 % массы авиационных двигателей приходится на долю жаропрочных никелевых сплавов.

Никелевые сплавы классифицируют по следующим основным признакам.

По способу производства заготовок различают литейные, деформируемые и диспергированные сплавы. В свою очередь литейные сплавы в зависимости от макроструктуры отливок бывают равноосные, направленно кристаллизованные и монокристаллические. Диспергированные сплавы получают методом горячего прессования гранул в газостатах.

По свойствам сплавы подразделяют на жаростойкие, жаропрочные и специальные, т. е. с особыми физическими свойствами. В зависимости от области применения различают сплавы для лопаток газовых турбин, для дисков газовых турбин и для деталей основных и форсажных камер сгорания и сопел авиационных двигателей.

Маркировка никелевых сплавов аналогична маркировке сталей. Буквами обозначают легирующие элементы сплавов: Х - хром, Н - никель, Т - титан, Ю - алюминий, В - вольфрам, Р - бор, М - молибден, Б - ниобий, К - кобальт, Ф - ванадий. В начале марки стоит буква «Х», за ней следуют буква «Н» и цифра, указывающая среднее содержание никеля в сплаве, и далее буквы в порядке, соответствующем уменьшению среднего содержания в сплаве легирующих элементов, которые эти буквы обозначают. Так, сплавы ХН77ТЮР, ХН56ВМКЮ, ХН55ВМТФКЮ содержат соответственно 77, 56 и 55 % Ni. Имеются также другие обозначения этих сплавов - соответственно ЭИ437Б, ЭП109, ЭИ929.

Высоколегированные жаропрочные сплавы относят к группе ЖС, например ЖС26, ЖС6У, ЖС32. Направленную кристаллизацию обозначают буквами «НК» в конце марки, монокристаллы - буквами «МОНО», а высокоскоростную направленную кристаллизацию - буквами «ВСНК», например ЖС26НК, ЖС32МОНО. Диспергированные сплавы обозначают буквой «П» в конце марки, например ЭП741П.

### Варианты заданий

**Вариант 1.** Детали систем управления (качалки, кронштейны, рычаги и пр.) изготавливают из сплава длительно эксплуатирующийся при температуре до 125 °С. Этот сплав должен иметь высокую прочность и удовлетворительную пластичность ( $\sigma_b = 275$  МПа;  $\sigma_{0,2} = 175$  МПа;  $\delta = 7$  %). Рекомендовать сплав, привести данные его состава и режим ТО.

2. Приведите классификацию никелевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 2.** 1. Каркас самолета, рассчитанного на полет с дозвуковыми скоростями и воспринимающего значительные нагрузки, изготавливают часто из легкого сплава с пределом прочности не ниже 400 МПа. Привести состав и плотность сплава, а также режим термической обработки, структуру.

2. Приведите классификацию магниевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 3.** 1. Детали самолетов (педали, рычаги, стойки педалей и т.п.), изготавливают из сплава с малой плотностью с хорошими литейными свойствами. Временное сопротивление его должно быть не ниже 220 МПа. Рекомендовать состав сплава, а также режим термической обработки; указать структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию титановых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 4.** 1. Тормозные колодки, барабаны, кронштейны и др. детали самолетов во многих случаях изготавливают из сплава с минимальной плотностью. Рекомендовать сплав, а также режим термической обработки; указать структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию алюминиевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 5.** 1. Отдельные нагруженные детали самолетов, например, тяги управления, изготавливают из легкого сплава с пределом прочности не ниже 400...450 МПа. Рекомендовать сплав, а также режим термической обработки; указать структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию медных сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте

объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 6.** 1. При значительном повышении скорости (за пределы скорости звука) самолетов значительно нагревается обшивка и другие детали конструкции; поэтому обычно применяемые алюминиевые сплавы непригодны в указанных условиях службы. Рекомендовать сплавы на основе металла плотностью  $4,5 \text{ кг/м}^3$  с повышенными механическими свойствами и удельной прочностью при температурах до  $400 \dots 500 \text{ }^\circ\text{C}$ . Привести состав сплава и его свойства.

2. Приведите классификацию никелевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 7.** 1. Обшивку фюзеляжа пассажирского самолета изготавливают из легкого сплава с пределом текучести не ниже  $420 \text{ МПа}$ . Рекомендовать сплав, а также режим термической обработки; указать структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию никелевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 8.** 1. Детали планера и фрагменты самолетов (двери, фонари, топливные баки) изготавливают из сплава с минимальной плотностью. Этот сплав должен иметь высокую пластичность в горячем состоянии, стойкость против коррозии, а также допускать сварку при изготовлении топливных баков. Рекомендовать сплав, а также режим термической обработки; указать структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию титановых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 9.** 1. Рабочие лопатки турбины газотурбинных авиационных двигателей воспринимают действия высокотемпературного газового потока, растягивающих центробежных, изгибных и вибрационных нагрузок. Выбрать жаропрочный и жаростойкий материал для рабочих лопаток, работающих длительное время в условиях нагрева до температуры  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  и кратковременных нагревов до  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ . Привести состав сплава, структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию алюминиевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 10.** 1. Для изготовления корпусов агрегатов, качалок, кронштейнов применяют литейный сплав с содержанием кремния и магния. Выбрать сплав, имеющий прочность не ниже  $220 \text{ МПа}$ . Привести состав сплава, структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию медных сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 11.** 1. Для изготовления лонжеронов, шпангоутов, стрингеров, силовых нервюр применяют литейный сплав с содержанием кремния и магния. Выбрать сплав, имеющий прочность не ниже  $600 \text{ МПа}$ . Привести состав сплава, структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию магниевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 12.** 1. Рабочие лопатки компрессора газотурбинных авиационных двигателей воспринимают действия высокотемпературного газового потока, растягивающих центробежных, изгибных и вибрационных нагрузок. Выбрать материал для рабочих лопаток компрессора, работающих длительное время в условиях нагрева до температуры  $550 \dots 600 \text{ }^\circ\text{C}$ . Привести состав сплава, структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию титановых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте

объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 13.** 1. Вкладыши подшипников изготавливают из бронзы, отличающейся высокими антифрикционными свойствами и не содержащей особо дорогих элементов. Подобрать состав сплава и указать его строение и механические свойства, а также причины, по которым подобный сплав хорошо работает в условиях износа.

2. Приведите классификацию алюминиевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 14.** 1. Для изготовления высоконагруженных деталей и узлов, работающих до температур 350...400 °С – лонжеронов, стрингеров, шангоутов, корпусов и т. д. применяют сплавы на основе металла плотностью 4,5 кг/м<sup>3</sup> с повышенными механическими свойствами и удельной. Привести состав сплава и его свойства.

2. Приведите классификацию никелевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 15.** 1. Для использования в конструкции самолётов (сварные герметичные отсеки, окантовки иллюминаторов, компоненты кабины, обшивка) применяют среднепрочный, устойчивый к коррозии, с высоким модулем упругости, свариваемый сплав пониженной плотности ( $\rho = 2470 \text{ кг/м}^3$ ;  $E = 78 \text{ ГПа}$ ). Привести состав сплава, структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию медных сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 16.** 1. Для изготовления труб, шпилек, ниппелей, втулок получили распространение медные сплавы. Подобрать состав сплава с коррозионностойкими свойствами даже в морской воде и указать его строение и механические свойства.

2. Приведите классификацию титановых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 17.** 1. Для изготовления нагруженных деталей и узлов авиационных конструкций успешно используются двухфазные титановые ( $\alpha + \beta$ )–сплавы. Подобрать сплав с прочностью не ниже 1100 МПа. Привести состав сплава, структуру и механические свойства в готовом изделии, а также дать объяснение режимов ТО.

2. Приведите классификацию алюминиевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 18.** 1. Диски последних ступеней компрессоров и турбин авиационных двигателей подвержены высоким нагрузкам и неравномерному нагреву. Подобрать сплав с рабочей температурой до 800 °С и пластичностью  $\delta$ , 20 %. Привести состав сплава, структуру и механические свойства в готовом изделии, а также дать объяснение режимов ТО.

2. Приведите классификацию магниевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 19.** 1. Для изготовления деталей камер сгорания авиационных двигателей применяют деформируемые жаростойкие сплавы. Сплавы, должны обладать высокой жаростойкостью и термостойкостью, хорошей пластичностью, свариваемостью, достаточной прочностью и жаропрочностью. Подобрать сплав с *кратковременной прочностью*  $\sigma_{\text{в}}^{900}$ . Привести состав сплава, структуру и механические свойства в готовом изделии, а также дать объяснение режимов ТО.

2. Приведите классификацию алюминиевых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

**Вариант 20.** 1. Для изготовления греющихся конструкций, работающих при температурах до 250...300 °С – обшивки, элементов силового набора, листов применяют сплав с прочностью при 300 °С не ниже 180 МПа. Привести состав сплава, структуру и механические свойства в готовом изделии.

2. Приведите классификацию титановых сплавов.

3. Расшифруйте марки сплавов по варианту, указанному преподавателем, и дайте объяснение назначения легирующих элементов, входящих в них.

3.3 Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. Какие металлы относятся к цветным, каковы их свойства?
2. Как подразделяются сплавы на основе меди?
3. Какие сплавы называются латунями и бронзами, как они маркируются?
4. Какие магниевые сплавы и их свойства вы знаете?
5. Какие сплавы на основе алюминия относятся к литейным сплавам и как они маркируются?
6. Какие сплавы на основе алюминия являются деформируемым и как они маркируются?
7. Какие сплавы на основе титана вы знаете?
8. Каковы области применения алюминиевых сплавов?

#### **ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ**

*Таблица 1. Марки сплавов*

№ варианта	Марки сплавов для изучения				
1.	Л96	БрОС5-2	ЖС6У	АЛ1	Д16
2.	Л90	БрАМц10-2	ЭП742	АЛ9	ХН62БМКТЮ
3.	АМг5	ВТ14	МНМц40-1,5	АЛ11	Д19
4.	МА1	Л80	АЛ19	БрА5;	ВТ9
5.	АЛ2	Л68	БрАЖМц10-5-1,5	ВТ18	АМг2
6.	Л63	В96	Д18	АЛ4	БрАЖ9-4Л
7.	МА8	ЛЖМц59-1-1	ОТ4-1	АЛ6	ЛС59-1
8.	АЛ9	Л60-1	ВТ3-1	Д19	БрАЖН10-4-4
9.	ВТ6	ЛН65-5	Д18	АЛ9	БрМг0,3
10.	АЛ3	ОТ4-1	АМг3	ЭП741	ВТ25
11.	АК4-1	АЛ6	БрБНТ2-1-1	ВЖ98	АМг6
12.	В95 <sub>пч</sub>	ВТ14 Л	АМг2	ВТ18	ЭП199
13.	АМг5	МЛ6	ЛС59-1	АК6	БрО10Ф1
14.	АМц	Д18	МНМц40-1,5	ХН60ВТЮ	БрАЖН10-4-4Л
15.	В95 <sub>оч.</sub>	ВТ9	ЛЖМц59-1-1	АЛ19	ХН62БМКТЮ
16.	ЛС59-1	В93 <sub>оч</sub>	АМг6	ВТ5-1	АЛ20
17.	ЛС63-3	ВТ5Л	АМг4	АЛ27	БрОФ6,5-0,15
18.	МА21	АЛ19	АМг5	ЛС60-2	БрОФ 10-1
19.	АМг3	ВАЛ14	МА20	БрМц5	В96
20.	Д19Т1	АМг4	МА12	В93	БрОЦ4-3

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 1. Цель занятия:

Практическое занятие имеет цель изучить основные характеристики сварных соединений, их свойства и применение.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы:

1. Используя материал теоретической части составить ответ по выбору материала для заданных условий эксплуатации. 2. Получить у преподавателя вариант индивидуального задания. 3. Для изучаемых характеристик сварного соединения, в соответствии с индивидуальным заданием, пользуясь учебниками и справочниками сделать заключение о качестве сварного шва. 4. Ответьте на контрольные вопросы.

### 2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию. Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, различными слайдами.

Для выполнения работы группа студентов из 3-4 человек получает сварное соединение и вырезанные из него образцы для определения твердости и исследования макро- и микроструктуры. Сообщаются также результаты химического анализа основного и наплавленного металла и требования чертежа к сварному соединению.

Экспериментальное исследование проводится по приведенной ниже последовательности и включает: наружный осмотр полученного образца, анализ пленки с просвеченным сварным швом рентгеновскими лучами, проведение металлографического анализа и измерение твердости по сечению сварного шва.

### 3. Методические указания к выполнению практического занятия.

I. Требования к сварному соединению: 1. Марка основного металла и № ГОСТа; 2. Способ сварки и материал электродов; 3. Временное сопротивление основного металла; 4. Временное сопротивление металла сварного шва; 5. Загрязненность сварного шва неметаллическими включениями, определяемая с помощью микрошлифа; 6. Дефекты сварного шва (непровар, трещины, газовые раковины, шлаковые включения, пористость) не допускаются.

### II. Предварительные данные экспертного исследования:

1. Схема разрезки сварного соединения  
2. Химический состав основного металла и заключение о степени его соответствия требованиям ГОСТа

### III. Результаты наружного осмотра сварного соединения

### IV. Результаты рентгенографии

К отчету прилагается рентгенограмма сварного соединения.

### V. Результаты металлографического исследования сварного соединения

1. Схематическое изображение макроструктуры сварного соединения (с указанием зон литого металла и термического влияния, а также выявленных макродефектов).

2. Загрязненность сварного шва неметаллическими включениями, определяемая с помощью микрошлифа (сульфидам и оксидам).

3. Микродефекты сварного соединения (микропоры, микротрещины).

4. Построить график изменения твердости по сечению сварного соединения от сварочной ванны до основного металла.

При вычислении  $\sigma_{\text{в}}$  учитывать значение коэффициента К для различных сплавов: деформируемые алюминиевые сплавы – 0,38; высокопрочные стали – 0,33; малоуглеродистые стали – 0,36; аустенитные стали – 0,45.

Результаты замера твердости и вычислений заносятся в таблицу

№ отпечатка	Размеры отпечатков, мм	Твердость НВ, МПа	НВср/по результатам двух измерен., МПа	$\sigma_{\text{в}}=КНВ_{\text{ср}}$ , МПа
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

#### VI. Общее заключение о качестве металла сварного шва и его соответствие требованиям

##### 4. Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

#### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:**

1. Что такое сварка? Какие классы сварок вы знаете?
2. Перечислите основные зоны сварного шва и их особенности.
3. Какие макро и микродефекты сварного шва вы знаете?
4. Что такое свариваемость? Каково её влияние для получения качественного сварного соединения?

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

#### 1. Цель занятия:

Практическое занятие имеет цель изучить основные параметры деформирования, и применение обработки давлением для создания изделий с заданными свойствами.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы:

1. Используя материал теоретической части составить отчет по определению усилий деформирования.
2. Получить у преподавателя вариант индивидуального задания.
3. Для изучения параметров деформирования, в соответствии с индивидуальным заданием, использовать учебники и справочники.
4. Ответьте на контрольные вопросы.

#### 2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию.

Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, различные слайды.

#### 3. Методические указания к выполнению практического занятия.



Для определения деформационных усилий при обработке металлов давлением необходимо знать напряжение текучести материала. Для определения усилий деформирования необходимо учитывать конфигурацию детали, геометрические размеры и механические свойства материала. Для определения усилий плоскостной чеканки цилиндрических поверхностей используют рекомендации по расчетам удельных давлений при свободной осадке цилиндрической поковки:  $q = \sigma_c(1 + 0,25\mu D/h')$ , где  $\sigma_c$  – напряжение текучести;  $\mu$  – коэффициент внешнего трения;  $D'$  – диаметр поковки после чеканки (обжатия);  $h'$  – высота поковки после чеканки (обжатия).

$$D/h' = D_0 / (h_0' \sqrt{(1 - \varepsilon)^3}), \quad (1)$$

где  $D_0'$  – диаметр поковки до чеканки (обжатия);  $h_0'$  – высота поковки до чеканки (обжатия);  $\varepsilon = (h_0' - h')/h_0'$  – степень деформации.

При осадке цилиндрических колец удельное давление определяют по формуле:

$$q = \sigma_c(1 + 0,25\mu(D - d)/h), \quad (2),$$

$$(D - d)/h = (D_0 - d_0) / h_0 \sqrt{(1 - \varepsilon)^3} \quad (3),$$

где  $D$  – наружный диаметр поковки после чеканки;  $d$  – внутренний диаметр поковки после чеканки;  $h$  – высота кольцевой поковки после чеканки;  $D_0$  – наружный диаметр поковки до чеканки;  $d_0$  – внутренний диаметр поковки до чеканки;  $h_0$  – высота кольцевой поковки до чеканки.

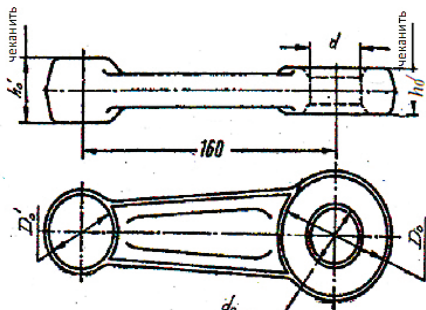


Рис. 1. Эскиз рычага

Для выполнения работы каждому студенту выдается номер варианта задания по таблицам 1, которая содержит материал, значения предела текучести, относительного удлинения трех точек на кривой упрочнения, основные размеры детали-рычага, эскиз которой необходимо изобразить на бланке. Определить усилие плоской чеканки для поковки поворотного рычага (рис. 1).

Коэффициент внешнего трения  $\mu = 0,23$ .

Порядок выполнения работы:

1. Определить постоянные кривой упрочнения.
2. Определить степень деформации при чеканке кольцевой головки:  $\varepsilon_1 = (h_0 - h)/h_0$
3. По формуле 2 определить удельное давление  $q_1$ .
4. Определить площадь поверхности кольцевой головки.
5. Определить усилие чеканки кольцевого элемента  $P_k = q_1 F_1$ , где  $F_1$  – площадь поверхности кольцевой головки рычага.
6. Определить степень деформации цилиндрической головки:  $\varepsilon_2 = (h_0' - h')/h_0'$ .
7. По формуле  $q = \sigma_c(1 + 0,25\mu D/h')$  определить удельное давление в цилиндрической головке.
8. Определить усилие чеканки цилиндрического элемента  $P_c = q_2 F_2$ , где  $F_2$  – площадь поверхности цилиндрической головки рычага.
9. Определить общее усилие чеканки рычага  $P = P_k + P_c$ .

### ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Таблица 1. Данные для определения постоянных кривой упрочнения металла:

№ варианта	Марка сплава	$\sigma_{SA}$ , кг/см <sup>2</sup>	$\varepsilon_a$	$\sigma_{SB}$ , кг/см <sup>2</sup>	$\varepsilon_b$	$\sigma_{SC}$ , кг/см <sup>2</sup>	$\varepsilon_c$
1.	Ст. 40	76	0,2	86	0,35	98	0,6
2.	Ст. 45	50	0,04	60	0,09	69	0,16

3.	Ст. 50	60	0,2	69	0,35	75	0,6
4.	Ст. 60	82	0,08	89	0,14	95	0,24
5.	У7	37	0,2	42	0,35	50	0,45
6.	У9А	65	0,2	74	0,35	80	0,6
7.	У12	80	0,2	94	0,35	110	0,6
8.	Ст15Х	60	0,2	70	0,35	79	0,6
9.	Ст20Х	70	0,2	80	0,35	88	0,6
10.	30ХГСА	50	0,25	57	0,45	65	0,75
11.	40ХНМА	100	0,1	108	0,25	120	0,45
12.	Д16Т	40	0,04	48	0,09	54	0,18
13.	Д19Т	78	0,2	86	0,35	92	0,6
14.	18ХН9Т	32	0,2	36	0,35	39	0,6
15.	18ХН10Т	100	0,2	130	0,35	140	0,6
16.	АМг6	32	0,2	36	0,35	39	0,6
17.	АК8	28	0,2	33	0,35	38	0,6
18.	12ХНЗА	67	0,2	75	0,35	83	0,6
19.	12Х2Н4А	54	0,2	65	0,35	74	0,6
20.	60С2А	55	0,2	63	0,35	68	0,6

#### 4. Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных и делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Какой вид деформирования влияет на результат обработки металлов давлением?
2. Как рассчитать усилие чеканки кольцевого элемента?
3. Как рассчитать усилие чеканки цилиндрического элемента?
4. Какие дефекты могут возникать при обработке давлением?

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ МАШИННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

#### 1. Цель занятия:

Практическое занятие имеет цель изучить основные параметры машинной обработки поверхностным пластическим деформированием. При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы:

1. Используя материал теоретической части составить ответ по выбору основных параметров режимов обработки. 2. Получить у преподавателя вариант индивидуального задания по таблице №1. Для изучения параметров режимов обработки, в соответствии с индивидуальным заданием, пользуясь учебниками и справочниками рассчитать и проанализировать полученные параметры. 4. Ответьте на контрольные вопросы.

#### 2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по занятию.

#### 3. Методические указания к выполнению практического занятия.

Таблица 1. Данные вариантов для расчетов основных параметров машинной обработки ППД

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Материал/ параметры	Д16Т	Д16Т	Д16	30ХТСА	30ХТСА	30ХТСА	ВТ3-1	ВТ3-1	ВТ3-1	В95	12ХН13	30Х13	45	50	40Х	38Х3М	Х18Н10Т	40Х10	10Х13	Д19Т
$r$ , мм	30	35	40	30	35	40	30	35	40	45	50	35	40	45	50	25	30	50	20	50
$r_0$ , мм	2,5	3,0	3,5	3,0	3,5	4,0	2,5	3,0	3,5	4,5	4,5	3	3,5	4,5	4,5	2	3,5	4,5	2	5,0
$R$ , мм	25	30	35	30	35	40	25	30	35	35	45	30	35	40	45	25	25	50	20	45
$e$ , мм	0,20	0,20	0,2	0,20	0,2	0,2	0,20	0,20	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2
$e_1$	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
$e_2$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06
$e_3$	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08
$n$	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,0
$a_{об}$ , кг/см <sup>2</sup>	7670	7400	7000	7780	7350	7040	8200	7900	7500	7000	6800	6400	8200	8000	7800	7400	6800	6500	6800	6500
$L$ , мм	200	250	300	250	300	350	150	200	250	400	200	250	300	350	400	150	200	400	500	400
$S$ , мм/об	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2
$V_0$ , м/мин.	12	12	12	10	10	10	12	12	12	10	12	12	10	12	12	10	10	12	10	12
$i$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Машинная обработка поверхности пластическим деформированием повышает качество поверхностного слоя и улучшает их эксплуатационные свойства. Основным показателем, определяющим эффективность обработки, является степень пластической деформации  $\epsilon$  и величина зоны деформации поверхностного слоя.

Основным параметром режима машинной обработки являются, которые определяются по формулам:  $M$  – инерционная масса шариков;  $\alpha$  – величина пластического внедрения шариков в поверхность детали при заданной степени деформации детали ( $\alpha=0,5 d_{ш}(1-\sqrt{1-\epsilon^2})$ );  $a_0$  – постоянная пластичности обрабатываемого материала;  $n$  – показатель степени упрочнения обрабатываемого металла;  $d_{ш}$  – диаметр шариков.

Для выполнения работы каждому студенту выдается номер варианта задания по таблице 1, который содержит материал обрабатываемой детали, размеры шарика, детали и упрочнителя, величину сближения, значения относительного удлинения, величину постоянной пластичности, длину детали, подачу упрочнителя, скорость вращения детали и число проходов упрочнителя. Рассчитать основные параметры машинной обработки при заданных параметрах варианта и построить график  $(n)=f(\epsilon)$ .

Порядок выполнения работы: 1. Определить вес и массу шарика. 2. Определить угол удара шарика. 3. Определить величину пластического отпечатка шарика при заданной степени пластической деформации. 4. Определить нормальную скорость шарика. 5. Определить число оборотов упрочнителя. 6. Определить число оборотов детали. 7. Определить число шариков на торце упрочнителя. 8. Определить машинное время. 9. Определить производительность установки. 10. Построить график зависимости числа оборотов упрочнителя установки от величины значения пластического деформирования.

4. Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных, делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

**Контрольные вопросы:**

1. В чём сущность центробежно- шарикового способа обработки поверхности?
2. Как подготавливается поверхность перед обработкой данным способом?
3. Какие основные параметры данного способа вам известны?
4. Преимущества данного способа в сравнении с другими способами обработками

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ВИБРОУДАРНОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

1. Цель занятия:

Практическое занятие имеет цель изучить основные параметры режимов виброударной обработки поверхности детали поверхностным пластическим деформированием.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы:

1. Используя материал теоретической части составить ответ по выбору основных параметров режимов обработки. 2. Получить у преподавателя вариант индивидуального задания по таблице 1. 3. Для изучения параметров режимов обработки, в соответствии с индивидуальным заданием, пользуясь учебниками и справочниками рассчитать и проанализировать полученные параметры. 4. Ответьте на контрольные вопросы.

2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию. Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, различными слайдами.

### 3. Методические указания к выполнению практического занятия.

Виброударная обработка поверхности пластическим деформированием повышает качество поверхностного слоя и улучшает их эксплуатационные свойства. Сущность обработки поверхности детали заключается в следующем: деталь помещают в специальный контейнер, установленный на специальной платформе. В контейнер засыпают шарики диаметром  $d_{ш}$ . Платформу с контейнером приводят в колебательное движение с ускорением, превышающим ускорение свободного падения. В результате колебательного движения происходит периодическое соударение шариков о поверхность, что приводит к деформации поверхностного слоя детали. Основным показателем, определяющим эффективность обработки, является степень пластической деформации  $\epsilon$  и величина зоны деформации поверхностного слоя.

Основным параметром режима виброударной обработки являются амплитуда  $A$  и частота  $f$  колебательного движения платформы, которые определяются по формулам:

$$f = \frac{m \cdot g}{\sqrt{\frac{2^{n+2} a_0 \alpha_{max}^{(n+2)/2} d_{ш}^{(4-n)/2}}{M(n+2)}}} \text{ и } A = \frac{K \cdot g}{\omega^2}, \text{ где } m - \text{ параметр колебательного движения}$$

виброударной установки;  $K$  – виброперегрузка;  $g$  – ускорение свободного падения;  $M$  – инерционная масса шариков;  $\alpha$  – величина пластического внедрения шариков в поверхность детали при заданной степени деформации детали ( $\alpha=0,5 d_{ш}(1-\sqrt{1-\epsilon^2})$ );  $f$  – частота колебательной платформы;  $\omega$  – круговая частота колебательной платформы;  $a_0$  – постоянная пластичности обрабатываемого материала;  $n$  – показатель степени упрочнения обрабатываемого металла;  $d_{ш}$  – диаметр шариков.

Для выполнения работы каждому студенту выдается номер варианта задания по таблице 3, который содержит материал обрабатываемой детали, размеры шарика, значения относительного удлинения, степень поверхностного деформирования детали, величину постоянной пластичности, значение перегрузки, параметр колебательного движения установки. Рассчитать основные параметры виброударной обработки  $A$  и  $f$  при заданных параметрах варианта и построить график  $(A, f) = f(\epsilon)$

Порядок выполнения работы:

1. Определить вес и массу шарика.
2. Определить величину пластического отпечатка шарика при заданной степени пластической деформации.
3. Определить нормальную скорость шарика.
4. Определить частоту и амплитуду колебания установки.
5. Построить график зависимости частоты и амплитуды колебания установки от величины значения пластического деформирования.

Таблица 1. Данные вариантов для расчета параметров режима виброударной обработки

№ вар.	Марка материала	Диаметр шарика, мм	Значения $\epsilon$	$a_0$ , кг/мм <sup>2</sup>	$p$	$k$
1	V93	6	0,03;0,05;0,07	7400	2	6,2
2	V95	8	0,04;0,06;0,08	7600	2	6,2
3	V96	9	0,02;0,04;0,06	7000	2	6,2
4	BT3-1	5	0,05;0,07;0,09	6800	2	6,2
5	BT6	6	0,04;0,06;0,08	6400	2	6,2
6	BT9	9	0,02;0,04;0,06	7000	2	6,2
7	1420	8	0,03;0,05;0,07	6500	2	6,2

8	AK4-1	5	0,05;0,07;0,09	7900	2	6.2
9	AK6	6	0,02;0,04;0,06	7040	2	6.2
10	AK8	9	0,04;0,06;0,08	6700	2	6.2
11	AB	8	0,03;0,05;0,07	7670	2	6.2
12	Д1	5	0,04;0,06;0,08	8200	2	6.2
13	Д16	9	0,05;0,07;0,09	8000	2	6.2
14	Д19	6	0,03;0,05;0,07	7800	2	6.2
15	BT9	5	0,02;0,04;0,06	8050	2	6.2
16	AK4-1	8	0,04;0,06;0,08	7780	2	6.2
17	1420	9	0,03;0,05;0,07	6300	2	6.2
18	B96	6	0,05;0,07;0,09	7200	2	6.2
19	BT3-1	8	0,02;0,04;0,06	6900	2	6.2
20	Д16	5	0,04;0,06;0,08	8400	2	6.2

#### 4. Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных, делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в предствлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

#### **Контрольные вопросы:**

1. В чём сущность обработки поверхности данным способом?
2. Для чего применяется виброударная обработка?
3. Как определяются основные параметры виброударной обработки?
4. Как влияет обработка на показатели качества поверхностей и эксплуатационные свойства детали?

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА ОБРАБОТКИ И ОСНОВНОГО МАШИННОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТОКАРНЫХ РАБОТ**

1. Цель работы: освоение методики и получение навыков определения режимов резания при токарной обработке деталей.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы:

1. Определение режимов резания: глубины резания, подачи, скорости резания и основного машинного времени.
2. Ознакомление с паспортными характеристиками токарно-винторезного станка модели 1К62.
3. Ознакомление с геометрическими характеристиками инструмента.
4. Ответьте на контрольные вопросы.

#### 2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию. Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, различными слайдами.

#### 3. Методические указания к выполнению практического занятия.

Обработка металлов резанием заключается в срезании с поверхности заготовки слоя металла с целью получения изделия требуемых геометрической формы, размеров и шероховатости поверхностей. Срезание припуска производят с помощью режущего инструмента. Удаляемый припуск превращается в стружку.

Распространенным инструментом при токарной обработке являются резцы. Резец состоит из режущей части (головки) и стержня. Стержень резца служит для его установки и

закрепления в резцедержателе. Рабочая часть резца образуется при его заточке и содержит следующие элементы: переднюю поверхность, по которой сходит стружка, главную заднюю поверхность, вспомогательную заднюю поверхность, главную режущую кромку, вспомогательную режущую кромку и вершину режущей части резца (рис. 1).

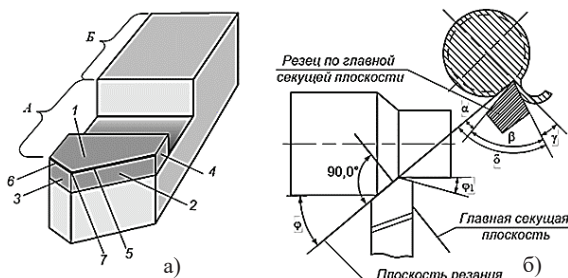


Рис. 1. Элементы (а) и главные углы (б) токарного резца: А — режущая часть; В — стержень; 1 — передняя поверхность; 2 — главная задняя поверхность; 3 — вспомогательная задняя поверхность; 4 — пластина из твердого сплава; 5 — главная режущая кромка; 6 — вспомогательная режущая кромка; 7 — вершина режущей части;  $\gamma$  — главный передний угол;  $\alpha$  — главный задний угол;  $\beta$  — угол заострения;  $\delta$  — угол резания;  $\varphi$  — главный угол в плане;  $\varphi_1$  — вспомогательный угол в плане

уменьшению прочности режущего лезвия, увеличению изнашивания режущего лезвия за счет выкрашивания, к ухудшению теплоотвода от инструмента. Обычно угол выбирают в пределах  $5 \dots 30^\circ$ . При обработке твердых материалов угол выбирают меньше, чем при обработке мягких материалов. Угол в плане  $\varphi$  влияет на шероховатость обработанной поверхности. С его уменьшением шероховатость обработанной поверхности и износ инструмента снижаются и выбирают его в пределах  $10 \dots 90^\circ$ .

В зоне резания выделяется тепло, которое нагревает стружку, заготовку и инструмент. Вся гамма физико-химических процессов при резании металлов приводит к изнашиванию режущего инструмента. Время работы инструмента от переточки до переточки определяет стойкость инструмента. Наибольшее влияние на стойкость инструмента оказывает скорость резания.

Выбор режима резания состоит в определении глубины резания, числа проходов, величины подачи и скорости резания.

Рентабельными называют режимы резания, при которых получается наименьшая трудоемкость с учетом минимальной стоимости изготовления изделия и достигается правильным выбором конструкции инструмента, геометрических параметров его рабочей части, материала инструмента, качественной заточкой, правильной установкой и креплением заготовки и инструмента, исправным состоянием станка.

Для назначения режима резания на чертеже изготавливаемого изделия указывают требуемые точность размеров, форма и чистота поверхностей после механической обработки, характеристики материала изделия.

Глубина резания определяется припуском на обработку. Целесообразно механическую токарную обработку вести с меньшим числом проходов. Подача определяется с учетом требований к чистоте обрабатываемой поверхности, прочности инструмента и его геометрии. Скорость резания определяется с учетом свойств обрабатываемого материала и инструмента, глубины резания и подачи.

Машинное время определяется в зависимости от геометрических размеров обрабатываемого материала, числа проходов, подачи инструмента и числа оборотов вращения заготовки.

У токарного резца рис. 1. различают: главный задний угол  $\alpha$ , главный передний угол  $\gamma$ , главный угол в плане  $\varphi$  и вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$ . Наличие угла  $\alpha$  уменьшает трение между главной задней поверхностью резца и поверхностью резания заготовки, что снижает износ инструмента и выбирают его в пределах  $6 \dots 10^\circ$ .

Главный передний угол  $\gamma$  оказывает большое влияние на процесс резания, с его увеличением уменьшаются деформации срезаемого слоя, улучшаются условия схода стружки, уменьшаются силы резания, повышается качество обработки. Однако чрезмерное увеличение угла  $\gamma$  приводит к

Для выполнения занятия студенты получают эскиз детали с указанием ее размеров и требований к обработке поверхностей рис. 2. Свойства материала заготовки, паспортные данные токарно-винторезного станка модели 1К62 выбирается из соответствующих таблиц (табл. 1 и 2).

Таблица 1. Число оборотов шпинделя  $n$ , (об/мин) станка 1К62

12,5	16	20	25	31,5	40	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
------	----	----	----	------	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Таблица 2. Величины продольных подач  $S_0$ , (мм/об) станка 1К62

0,32	0,34	0,42	0,44	0,46	0,51	0,56	0,61	0,65	0,75	0,84	0,88	0,95	1,02	1,11
1,22	1,3	1,5	1,68	1,76	1,86	2,04	2,23	2,44	2,6	3	3,36	3,52	3,72	4,08

Виды применяемых инструментов и их геометрические характеристики выбираются изображения:

- токарный проходной резец, оснащенный пластиной из твердого сплава для чистовой обработки стали на проход со следующими геометрическими характеристиками:  $\varphi=45^\circ$ ,  $\varphi_1=15^\circ$ ,  $\alpha=10^\circ$ ,  $\gamma=12^\circ$ ,  $r=1$ мм.

- токарный проходной упорный резец, оснащенный пластиной из твердого сплава для чистовой обработки стали на проход со следующими геометрическими характеристиками:  $\varphi=90^\circ$ ,  $\varphi_1=10^\circ$ ,  $\alpha=12^\circ$ ,  $\gamma=15^\circ$ ,  $r=1$ мм.

Далее осуществляется выбор марки материала рабочей части инструмента (табл. 3).

После выбора материала рабочей части инструмента студенты определяют: количество элементов станочной операции (установок и

переходов).

Величину припуска на первом переходе определяют по формуле:

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

где:  $D_1$  – диаметр заготовки до обработки, мм;  $D$  – диаметр заготовки после обработки, мм.

Таблица 3. Марка материала рабочей части инструмента

Обрабатываемый материал	Вид обработки	Характер обработки	Марка инструментального материала
Углеродистые легированные стали	Точение и растачивание	Черновая и грубая обработка по корке, а также после сварки. Черновая обработка без корки. Чистовая обработка	T5K10  T14K8; T15K6 T30K4; T60K6

Число проходов определяется по формуле:

$$I = \frac{\delta_1}{t}, \quad (2)$$

где:  $\delta$  – величина припуска, мм;  $t$  – глубина резания, мм.

Расчетную длину обработки заготовки на первом переходе определяют по формуле:

$$L_p = l_2 + l_b + l_n, \quad (3)$$

где:  $l_2$  – длина средней ступени заготовки, мм;  $l_b$  – врезание инструмента, мм (табл. 4);  $l_n$  – перебега инструмента, мм (табл. 4).

Таблица 4. Величины врезания и перебега инструмента, мм

$\varphi^\circ$	$l, \text{MM}$							
	1	2	4	6	8	10	12	16
	$l_b$							



30	1,7	3,5	6,9	10,4	13,8	17,3	20,8	26,0
45	1,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	15,0
60	0,6	1,2	2,3	3,5	4,6	5,8	6,9	8,7
75	0,3	0,6	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	4,0
90	0							
$l_n$ – перебеги инструмента: вне зависимости от $\varphi$								
	1	2	4					

На втором переходе заготовка обрабатывается до диаметра  $d$  на длину  $l_1 - l_2$  с одновременной подрезкой торца. Затем определяется припуск на сторону по формуле:

$$\delta = \frac{(d_1 - d)}{2}, \quad (4)$$

где:  $d_1$  – диаметр заготовки до обработки, мм;  $d$  – диаметр заготовки после обработки, мм.

Число проходов определяется по формуле:

$$I = \frac{\delta_2}{t}, \quad (5)$$

Длина второй ступени заготовки определяется по формуле:

$$L = l_1 - l_2, \quad (6)$$

На третьем переходе второй установки также обточить заготовку до диаметра  $d$  на длину  $l = L - l_1$  с подрезкой торца и определить припуск, число проходов.

Выбор подачи  $S_0$ .

Величина подачи при токарных работах зависит от: прочности и жесткости стержня резца; прочности пластины из твердого сплава; величины допустимой силы на механизм продольной подачи станка; жесткости обрабатываемой детали; качества точности обрабатываемой поверхности детали и ее шероховатости.

Выбор величины продольной подачи в зависимости от требований шероховатости, предъявляемым к поверхностям стальных деталей, при получистовой и чистовой обработках проводится по табл. 5. Подачи даны для резцов со значениями главных углов в плане  $\varphi = 30 \dots 90^\circ$  при обработке стальных деталей с пределом прочности 700...900 МПа. Для сталей с другими показателями прочности подачи рассчитываются с учетом поправочных коэффициентов (табл. 6).

Выбранную по табл. 6 подачу с учетом поправочного коэффициента скорректировать с паспортными данными станка 1К62 по табл. 2.

Таблица 5. Рекомендуемые продольные подачи  $S_0$  при обработке сталей

Шероховатость по ГОСТ 2789-73	Угол в плане $\varphi^\circ$	Скорость резания $V$ , м/мин	Радиус при вершине резца $r$ , мм	
			1,0	2,0
			Подача $S_0$ , мм/об	
3,2√	5	< 50	0,25 – 0,35	0,30 – 0,45
		50 – 100	0,35 – 0,40	0,45 – 0,55
		> 100	0,40 – 0,50	0,55 – 0,60
	10 – 15	< 50	0,25 – 0,30	0,30 – 0,40
50 – 100		0,30 – 0,40	0,40 – 0,50	
> 100		0,35 – 0,40	0,50 – 0,55	
2,5√	5	30 – 50	0,11 – 0,15	0,14 – 0,22
		50 – 80	0,14 – 0,20	0,17 – 0,25
		80 – 100	0,16 – 0,25	0,23 – 0,35
		100 – 130	0,20 – 0,30	0,30 – 0,39
		> 130	0,25 – 0,30	0,35 – 0,39
1,25√	5	100 – 110	0,12 – 0,15	0,14 – 0,17
		110 – 130	0,13 – 0,18	0,17 – 0,23
		> 130	0,17 – 0,20	0,21 – 0,27

Таблица 6. Поправочные коэффициенты  $K_s$  в зависимости от  $\sigma_b$

$\sigma_b$ , МПа	До 500	500 – 700	700 – 900	900 – 1000
Значения $K_s$	0,7	0,75	1,0	1,25

Определение скорости резания при продольном точении резцами, оснащенными твердым сплавом, проводится с учетом свойств обрабатываемого материала, материала рабочей части инструмента и его стойкости, глубины резания и подачи инструмента по формуле:

$$V = \frac{C_v}{T^m t^x S_0^y} \quad \text{м/мин}, \quad (7)$$

где:  $C_v$  – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала и материала рабочей части резца;  $T$  – стойкость резца, мин;  $t$  – глубина резания, мм;  $S_0$  – подача, мм/об;  $m$ ,  $x$ ,  $y$  – показатели степеней при  $T$ ,  $t$ ,  $S_0$  соответственно.

Значения коэффициента  $C_v$  и показателей степеней  $m$ ,  $x$ ,  $y$  приведены в табл. 7.

Таблица 7. Значения коэффициента  $C_v$  и показателей степеней  $m$ ,  $x$ ,  $y$

Обрабатываемый материал	Подача, мм/об	Коэффициент $C_v$			Показатели степеней			Стойкость, мин
		T5K10	T15K6	T30K4	$m$	$x$	$y$	
Стали конструкционные углеродистые, хромистые	$\leq 0,3$	273	420	585	0,20	0,15	0,20	$T_0$
	$\leq 0,75$	227	364	487	0,20	0,15	0,35	60
	$> 0,75$	221	340	475	0,20	0,15	0,45	60

Для второго и третьего перехода скорость резания установить по табл. 8.

Таблица 8. Параметры резания при точении углеродистых конструкционных сталей упорными резцами с пластинками T15K6

Глубина резания	Подача $S_0$ , мм/об				
	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70
	Скорость резания $V$ , м/мин				
1,0	240	180	197	184	103
1,5	224	206	186	173	153
2,0	215	198	178	165	147
3,0	202	186	168	156	138

Определение расчетного числа оборотов шпинделя проводится по формуле:

$$n = \frac{1000V_n}{\pi D} \quad \text{об/мин}, \quad (8)$$

где:  $D$  – диаметр первой обрабатываемой ступени, мм;  $d$  – диаметр второй и третьей обрабатываемой ступени, мм;  $V_1$  – скорость резания на первой ступени, мм/мин;  $V_2$  – скорость резания на второй и третьей ступени, мм/мин.

Стандартное число оборотов шпинделя выбрать по паспорту станка таблица 1.

Определение основного технологического времени проводится по формулам: для первой ступени:

$$T_0' = \frac{(l_2 + l_B + l_P)i}{S_0 n_1} \quad \text{мин}, \quad (9)$$

для второй ступени:  $T_0'' = \frac{(l_1 - l_2)i}{S_0 n_2} \quad \text{мин}, \quad (10)$

для третьей ступени:  $T_0''' = \frac{(L - l_1)i}{S_0 n_3} \quad \text{мин}, \quad (11)$

где:  $l_2$ ,  $l_1$  – длина соответствующей ступени, мм;  $l_B$  – длина врезания, мм;  $l_P$  – длина перебега, мм;  $S_0$  – подача, мм;  $i$  – число проходов соответствующей ступени;  $n$  – число оборотов;

Производительность станка рассчитывается по формуле:

$$Q = \frac{1 \cdot 60}{\sum T_0^n} \quad \text{шт/час}, \quad (12)$$

где:  $\sum T_0^n$  – суммарное время обработки детали, мин.

$$\sum T_0^n = T_0' + T_0'' + T_0''', \quad (13)$$

Таблица 9. Протокол оформления результатов практического занятия

Операция	Установка	Переходы	Станок	Инструмент	Пластина	Параметры обработки						
						$t$ , мм	$S$ , мм/об	$i$	$V$ , м/мин	$n$ , об/мин	$T_0$ , мин	$Q$ шт/час

Таблица 10. Варианты заданий к практическому занятию

№	$D_1$ , мм	$d_1$ , мм	$D$ , мм	$d$ , мм	$L$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$\sigma_b$ , МПа
1	60	50	55	48	200	150	100	700
2	70	60	66	56	250	200	150	800
3	80	70	73	66	240	190	140	900
4	85	65	78	60	220	160	100	1000
5	90	70	84	65	300	225	150	1100
6	75	55	70	50	250	175	100	1100
7	100	78	82	73	280	185	175	1100
8	95	70	89	66	260	190	120	1100
9	88	68	83	65	290	200	110	800
10	104	70	99	68	270	195	120	1000
11	100	97	82	79	250	180	110	900
12	106	66	100	62	300	170	120	1100
13	89	82	87	78	400	325	250	1000
14	102	70	98	66	320	220	120	1100
15	87	67	84	63	340	240	140	950
16	90	60	87	56	360	260	160	850
17	105	85	100	80	380	280	180	1100
18	110	65	106	60	400	300	200	1000
19	65	55	60	50	300	140	90	750
20	105	85	100	80	340	170	140	850

#### 4. Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполненных расчетов своего варианта задания проводит анализ полученных данных, делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится зачита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы:

1. Назовите основной режущий элемент любого лезвийного инструмента.
2. Какие токарные резцы используются для обработки внутренних цилиндрических поверхностей?
3. Какие токарные резцы используются для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей?
4. Какие токарные резцы используются для разрезания заготовок?
5. Что такое глубина резания при точении?
6. Что такое скорость резания при точении?
7. Чему равна глубина резания при обтачивании наружной цилиндрической поверхности?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ

1. Цель работы: анализ условий работы заданной детали, выбор материала и технологических процессов получения выбранного материала, изготовления заготовок деталей.

При подготовке к практическому занятию и в ходе его проведения обучающиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, а также используют навыки, полученные ими в результате проведения лабораторных работ.

Выполнение задания в ходе практического занятия предусматривает следующие этапы:

1. Анализ конструкции и условий работы детали. 2. Выбор материала для заданных условий эксплуатации и назначения детали. 3. Способ получения полуфабрикатов. 4. Ответьте на контрольные вопросы

2. Учебно-материальное обеспечение практического занятия.

Практическое занятие проводится в специализированной аудитории кафедры, в которой находятся справочная литература, калькуляторы, образец заполнения отчета по практическому занятию. Аудитория может быть оснащена мультимедийной установкой, программным обеспечением, различными слайдами.

3. Методические указания к выполнению практического занятия.

3.1. Анализ условий работы детали

В начале необходимо уяснить назначение данной детали, условия её работы. Условия работы детали определяются величиной и характером механических нагрузок (постоянно действующая статическая нагрузка, переменная статическая, динамическая, контактные нагрузки), внешними условиями (температура и рабочая среда), другими дополнительными факторами.

3.2. Выбор материала для изготовления детали.

Оценив условия работы детали необходимо сформулировать требования к свойствам материала, из которого должна быть изготовлена деталь. К таким свойствам относятся твёрдость, прочность, вязкость, сопротивление износу, коррозионная стойкость, теплостойкость и т.п. Иногда выбор материала может быть продиктован необходимостью минимальной массы детали, в этом случае выбор падает на лёгкие сплавы, например, на основе Al. Во всех случаях следует выбирать наиболее дешёвый материал, удовлетворяющий комплексу предъявляемых требований. Это позволит определить группу материалов, обладающих свойствами, близкими к требуемым (конструкционные стали, сплавы цветных металлов и т.п.) Для этого нужно вспомнить раздел курса, посвящённый конструкционным материалам, а также их технологическим свойствам.

Выбрав материал, полностью отвечающий условиям работы детали, и позволяющий изготовить её с применением наиболее эффективного (т.е. наименее энергоёмкого, трудоёмкого и безотходного) процесса, и более внимательно изучив конструкцию детали, Вы убедитесь, что её невозможно изготовить должным способом из-за её конструктивных особенностей (конструкция детали нетехнологична). Так, в рассматриваемом далее примере изготовления втулки (рис. 1) из чугуна толщина её стенки, указанная конструктором на чертеже, может оказаться слишком малой, не позволяющей получить качественную отливку. В этом случае придётся отливать заготовку с более толстой стенкой и удалять значительный объём металла обработкой резанием, что значительно увеличит трудоёмкость и стоимость детали. Здесь мы вновь возвращаемся к тезису о неразрывной связи конструкции, материала и технологии изготовления детали.

3.3. Как получить требуемый материал и полуфабрикат?

В этой части кратко описать процессы производства выбранного материала и дать краткое описание предлагаемого варианта технологического процесса, указать его параметры.

На выбор технологического процесса существенное влияние оказывает объём производства. Давайте посмотрим, как можно получить заготовку для стальной втулки, изображенной на рисунке 1.

Перечислим все возможные способы получения заготовки необходимой формы.

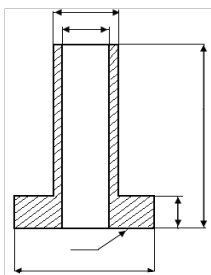


Рис. 1. Втулка

Заготовка может быть получена различными методами литья, ковкой, горячей и холодной штамповкой, сваркой разными методами трубной заготовки и фланца, точением, прессованием из порошка. Если мы конкретизируем марку материала, указав, например, что втулка может быть изготовлена из высокоуглеродистой стали 70, то сварка этой стали затруднительна из-за её плохой свариваемости, и этот способ получения заготовки вряд ли целесообразен, а холодная высадка втулки из этой стали может оказаться невозможной из-за её недостаточной технологической пластичности (предельной допустимой деформации).

Если мы укажем, сравнивая ковку и горячую штамповку, мы отдадим предпочтение последнему процессу, а при единичном производстве изготовление специальной дорогостоящей оснастки явно нецелесообразно и следует предпочесть ковку. Если вместо стальной будет предложено изготовить эту же деталь из чугуна, наш выбор однозначно падает на процесс литья.

Как же в условиях многообразия технологических процессов выбрать оптимальный? В самом общем виде условия оптимальности процесса можно сформулировать так: технологический процесс должен обеспечивать необходимое количество изделия при минимальной его стоимости.

Качество продукции – это совокупность её свойств, удовлетворяющих определённым потребностям в соответствии с её назначением. Эти свойства отражаются в технической документации на продукцию. Так, чертёж детали (инструмента) определяет форму, размеры, точность их выполнения, шероховатость поверхности. Другие требования определяются техническими условиями – нормативно-техническим документом, характеризующим показатели качества продукции.

Стоимость изделия определяется стоимостью материала, трудоёмкостью, энергоёмкостью процесса изготовления. На стоимость изделия будут влиять и такие факторы, как стоимость оборудования и оснастки, затраты на природоохранные мероприятия при осуществлении выбранного технологического процесса.

#### 4. Порядок выполнения работы

Получить у преподавателя вариант индивидуального задания в соответствии с таблицей. Провести выбор материала по ниже приведенной последовательности, а также ответить на контрольные вопросы.

##### 4.1. Анализ конструкции и условий работы детали.

В этом разделе привести технические условия, определить и описать функции, выполняемые деталью, условия эксплуатации, т.е. характер и величину нагрузок, среду, температуру, и сформулировать требования к свойствам материала, способного обеспечить надёжную и долговечную работу изделия.

##### 4.2. Выбор материала

Сопоставьте свойства нескольких материалов, которые могли бы удовлетворять предъявляемым требованиям. Обоснуйте Ваш выбор, учитывая стоимость материала, возможность изготовления из него изделия наиболее эффективным методом. В этом разделе необходимо, пользуясь справочниками, ГОСТами и другими источниками, указать химический состав и основные свойства выбранного материала, в том числе технологические свойства и эксплуатационные свойства.

##### 4.3. Способ получения полуфабрикатов

В этом разделе приведите краткое описание технологии получения выбранного материала, опишите кратко технологию получения полуфабрикатов (слитков, чушек, профилей и т.п.),

##### 4.4. Оформление результата занятия.

Каждый студент после выполнения варианта задания проводит анализ полученных данных, делает вывод о полученных результатах практического занятия.

После выполнения задания производится защита практического занятия, состоящая в представлении преподавателю полученных результатов и ответа на контрольные вопросы.

### ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

№ варианта		№ варианта	
1	Пружина	11	Вал двигателя
2	Шестерня	12	Шарики подшипников
3	Обшивка самолета	13	Трубопроводы
4	Корпус компрессора ГТД	14	Крепежные детали самолёта
5	Диски турбины ГТД	15	Сопло ГТД
6	Шпангоут	16	Камера сгорания
7	Лонжероны	17	Сварной цилиндр шасси ВС
8	Вал винта вертолѐта	18	Лопатки турбины ГТД
9	Лопатки компрессора низкого давления ГТД	19	Лопатки компрессора высокого давления ГТД
10	Нервюра крыла	20	Стойки шасси самолета

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие нагрузки испытывает деталь в процессе эксплуатации?
2. Какие факторы оказывают влияние на выбор материала детали?
3. Какими способами можно осуществить выплавку стали углеродистой, легированной?
4. На каком оборудовании и как можно получить полуфабрикаты: слитки, чушки, профили и т.д.?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фетисов Г. П., Карпман М. Г. и др. Материаловедение и технология металлов. – М.: Высшая школа, 2016. – 621 с.
2. Колесов С. Н., Колесов И. С. Материаловедение и технология конструкционных материалов; Учебник для вузов / С. Н. Колесов, И. С. Колесов – 2 изд. перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2007. – 535 с.
3. В. М. Самойленко, О. Е. Зубов, Д. Н. Кочкин, А. А. Сорокин. Технология материалов учебное пособие. – М. МГТУ ГА, 2014. – 104 с.
4. Абраимов Н. В., Елисеев Ю. С., Крымов В. В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 560 с.
5. Герасимова Н.С. Химико-термическая обработка. Учебное пособие по курсу «Материаловедение». – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017 г. 52с.
6. Гуляев А.П. Материаловедение. – М.: Металлургия, 1986. – 542с.
7. Самойленко В.М., Зубов О.Е., Кочкин Д.Н. Материаловедение и технология материалов: учебно-методическое пособие по выполнению практических занятий и лабораторных работ. Часть IV. – М.: МГТУ ГА, 2017. – 24 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

№ п/п	Наименование практического занятия	Стр.
1.	Основные сведения из теории сплавов. Анализ диаграмм состояния двойных сплавов	3
2.	Выбор режима ТО сталей для получения заданных свойств	11
3.	Определение структуры сталей после термической обработки	16
4.	Определение механических свойств металлов и сплавов при различных видах нагружения	20
5.	Механические свойства сплавов: твердость, ударная вязкость и усталость	26
6.	Цветные сплавы, их применение и свойств	31
7.	Исследование качества сварных соединений	39
8.	Определение усилий деформирования при обработке металлов давлением	40
9.	Исследование основных параметров машинной обработки поверхностным пластическим деформированием	42
10.	Исследование основных параметров режима виброударной обработки поверхностей пластическим деформированием	44
11.	Определение режима обработки и основного машинного времени при выполнении токарной обработки	46
12.	Выбор материала и технология производства заготовок деталей	52
13.	Литература	55
14.	Содержание	56