

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«ТЮМЕНСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Филиал ТИУ в г. Сургуте  
Кафедра нефтегазовое дело

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель директора по УМР



А.А. Акчурина

« 31 » 08 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины/модуля: **Материаловедение. Технология конструкционных материалов**

*(наименование дисциплины)*

направление подготовки: **21.03.01 Нефтегазовое дело**

*(код, наименование)*


**Профиль:** Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти  
форма обучения: (очная / очно-заочная)

Рабочая программа разработана в соответствии с утвержденным учебным планом от 23.06.2022г. и требованиями ОПОП 21.03.01 Нефтегазовое дело, профиль Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти

Рабочая программа рассмотрена  
на заседании кафедры \_\_\_\_\_ НД \_\_\_\_\_

*(наименование кафедры-разработчика)*

Протокол № \_\_1\_\_ от «\_31\_» \_\_\_\_08\_\_\_\_ 2022\_г.

Заведующий кафедрой НД \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Р.Д. Татлыев  
*(подпись)*

Рабочую программу разработал:

О.О. Горшкова, профессор кафедры НД, д.п.н., доцент  
*(И.О. Фамилия, должность, ученая степень, ученое звание)*



\_\_\_\_\_  
*(подпись)*

### **1. Цели и задачи освоения дисциплины**

Цель дисциплины: развитие у студентов навыка установления связи между составом и кристаллическим строением; изучение природы и свойств конструкционных материалов; формирование умений посредством корректировки химического состава и внешних воздействий влиять на структуру материалов, создавать принципиально новые материалы с особыми свойствами, проектировать рациональные, конкурентоспособные изделия, организации технологического обеспечения производства изделий.

Задачи дисциплины:

- изучение физико-химических свойств, структуры и строения конструкционных металлических и неметаллических материалов;
- установление связи между составом и кристаллическим строением конструкционного материала;
- изучение способов улучшения эксплуатационных характеристик (обеспечения определенных механических свойств) посредством корректировки химического состава и внешних воздействий;
- изучение методик подбора конструкционного материала с учетом требуемых эксплуатационных свойств;
- изучение технологий изготовления конструкционных материалов, заготовок, полуфабрикатов, изделий.
- использование содержания учебного материала, методов обучения, форм организации познавательной деятельности в их взаимодействии для осуществления формирования и развития нравственных, трудовых, эстетических, экологических качеств личности;
- воспитание адекватного отношения к общечеловеческим ценностям, воспитание толерантности, нравственных качеств обучающихся;
- формирование мировоззрения, развитие интеллекта, инженерной эрудиции, формировании компетенций.

### **2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» относится к дисциплинам обязательной части учебного плана.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются:

знание: положений неорганической химии; строения вещества; основных теоретических положений по электричеству, магнетизму; основ физики твердого тела; основных понятий и методов математического анализа, линейной алгебры, математической статистики.

умения: применять методы математического анализа, линейной алгебры, математической статистики.

владение: анализировать строение вещества, методами математического анализа, линейной алгебры, математической статистики.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин «Химия», «Физика» и служит основой для освоения дисциплин: Исследование скважин и пластов, Разработка нефтяных месторождений, Нефтегазопромысловая геология, Геология и разработка месторождений Западной Сибири.

### **3. Результаты обучения по дисциплине**

Процесс изучения дисциплины/модуля направлен на формирование следующих компетенций:

Таблица 3.1

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции (ИДК)	Код и наименование результата обучения по дисциплине
<p>УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач</p>	<p>УК-1.1. Осуществляет выбор актуальных российских и зарубежных источников, а также поиск, сбор и обработку информации, необходимой для решения поставленной задачи</p>	<p>Знать: УК-1.31 способы выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи</p>
		<p>Уметь: УК-1.У1 осуществлять выбор актуальных российских и зарубежных источников, а также поиск, сбор и обработку информации, необходимой для решения поставленной задачи</p>
		<p>Владеть: УК-1.В1 навыком выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи</p>
<p>ОПК-1. Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания.</p>	<p>ОПК-1.1.Выявление и классификация физических и химических процессов, протекающих на объекте профессиональной деятельности</p>	<p>Знать: ОПК-1.31 физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности</p>
		<p>Уметь: ОПК-1.У1 выявлять и классифицировать физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности</p>
		<p>Владеть: ОПК-1.В1 навыками выявления и классификации физических и химических процессов, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающих на объекте профессиональной деятельности</p>
<p>ОПК-5. Способен решать задачи в области профессиональной деятельности с применением современных информационных технологий и прикладных аппаратно-программных средств.</p>	<p>ОПК-5.1. Решение стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности</p>	<p>Знать: ОПК-5.31 способы решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности</p>
		<p>Уметь: ОПК-5.У1 решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности</p>
		<p>Владеть: ОПК-5.В1 навыком решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности</p>
<p>ОПК 6. Способен принимать обоснованные технические решения в профессиональной деятельности, выбирать эффективные и безопасные технические средства, и технологии.</p>	<p>ОПК-6.2. Выбор метода или методики решения задачи профессиональной деятельности.</p>	<p>Знать: ОПК-6.32 методы или методики решения задачи профессиональной деятельности.</p>
	<p>ОПК-6.4. Выбор материалов для технического объекта исходя из требований безопасности и эффективности</p>	<p>Уметь: ОПК-6.У2 выбирать метод или методики решения задачи профессиональной деятельности.</p>
	<p>Владеть: ОПК-6.В2 навыком выбора метода или методики решения задачи профессиональной деятельности.</p> <p>Знать: ОПК-6.34 способы выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.</p>	

		Уметь: ОПК-6.У4 выбирать материалы для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.
		Владеть:ОПК-6.В4 навыком выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.

#### 4. Объем дисциплины

Общий объем дисциплины/модуля составляет 4 зачетные единицы, 144 часов.

Таблица 4.1

Форма обучения	Курс/ семестр	Аудиторные занятия/контактная работа, час.			Самостоятельная работа, час.	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия		
Очная	2/3	18	-	34	56	экзамен
Очно-заочная	2/4	12	-	12	84	экзамен

#### 5. Структура и содержание дисциплины

##### 5.1. Структура дисциплины. очная форма обучения (ОФО)

Таблица 5.1.1

№ п/п	Структура дисциплины		Аудиторные занятия, час.			СРС, час.	Всего, час.	Код ИДК	Оценочные средства
	Номер раздела	Наименование раздела	Л.	Пр.	Лаб.				
1	1	Строение и свойства металлов и сплавов, диффузионные процессы в металлах	2		8	4	14	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/устный), - тест в рамках текущей аттестации
2	2	Конструкционные металлы и сплавы	3		4	4	11	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/устный), - тест в рамках текущей аттестации
3	3	Теория и технология термической обработки стали. Химико-термическая обработка	2		4	4	10	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/устный), - тест в рамках текущей аттестации
4	4	Цветные металлы и сплавы	2		2	4	8	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/устный), - тест в рамках текущей аттестации
5	5	Неметаллические и композиционные материалы	2		2	4	8	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/устный), - тест в рамках текущей аттестации
6	6	Технология конструкционных материалов	3		6	4	13	УК-1 ОПК-1	- отчет по лабораторной работе,

								ОПК-5 ОПК-6	- опрос (письменный/ устный), - тест в рамках текущей аттестации
7	7	Формообразование поверхностей деталей	4		8	5	17	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/ устный), - тест в рамках текущей аттестации - письменная самостоятельная работа
8	Экзамен		-	-	-	27	27		Экзаменационные вопросы
Итого:			18		34	56	108		

### очно-заочная форма обучения (ОЗФО)

Таблица 5.1.2

№ п/п	Структура дисциплины		Аудиторные занятия, час.			СРС, час.	Всего, час.	Код ИДК	Оценочные средства
	Номер раздела	Наименование раздела	Л.	Пр.	Лаб.				
1	1	Строение и свойства металлов и сплавов, диффузионные процессы в металлах	1		2	6	9	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/ устный), - тест в рамках текущей аттестации
2	2	Конструкционные металлы и сплавы	2		2	7	11	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/ устный), - тест в рамках текущей аттестации
3	3	Теория и технология термической обработки стали. Химико-термическая обработка	2		2	7	11	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/ устный), - тест в рамках текущей аттестации
4	4	Цветные металлы и сплавы	1		2	7	10	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/ устный), - тест в рамках текущей аттестации
5	5	Неметаллические и композиционные материалы	2		2	7	11	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/ устный), - тест в рамках текущей аттестации
6	6	Технология конструкционных материалов	2		-	7	9	УК-1 ОПК-1 ОПК-5 ОПК-6	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/ устный), - тест в рамках текущей аттестации
7	7	Формообразование поверхностей деталей	2		2	7	11	УК-1 ОПК-1 ОПК-5	- отчет по лабораторной работе, - опрос (письменный/ устный)

								ОПК-6	устный), - тест в рамках текущей аттестации - письменная самостоятельная работа
12	Экзамен	-	-	-	36	36			Экзаменационные вопросы
Итого:		12		12	84	108			

## 5.2. Содержание дисциплины.

### 5.2.1. Содержание разделов дисциплины (дидактические единицы).

Раздел 1 «Строение и свойства металлов и сплавов, диффузионные процессы в металлах».

Дидактическая единица: Строение металлов, типы кристаллических решеток, диффузионные процессы в металлах.

Дидактическая единица: Формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации.

Дидактическая единица: Основные типы диаграммы состояния.

Дидактическая единица: Свойства металлов и сплавов.

Раздел 2. «Конструкционные металлы и сплавы».

Дидактическая единица: Железо и его сплавы: сталь.

Дидактическая единица: Железо и его сплавы: чугун.

Дидактическая единица: Диаграмма состояния железо – цементит

Раздел 3. «Теория и технология термической обработки стали. Химико-термическая обработка».

Дидактическая единица: Теория и технология термической обработки стали.

Дидактическая единица: Химико-термическая обработка стали.

Раздел 4. № «Цветные металлы и сплавы ».

Дидактическая единица: Медь и ее сплавы: характеристика, свойства, классификация, маркировка, область применения.

Дидактическая единица: Алюминий и его сплавы: характеристика, свойства, классификация, маркировка, область применения.

Дидактическая единица: Магний и его сплавы: характеристика, свойства, классификация, маркировка, область применения.

Дидактическая единица: Титан, никель, хром , олово и их сплавы.

Раздел 5. «Неметаллические и композиционные материалы».

Дидактическая единица: Резины: классификация, свойства, технология приготовления резиновых смесей.

Дидактическая единица: Пластмассы: получение, классификация, свойства, получение композиционных материалов.

Раздел 6. «Технология конструкционных материалов ».

Дидактическая единица: Основы металлургического производства.

Дидактическая единица: Порошковая металлургия.

Дидактическая единица: Литейное производство.

Раздел 7. «Формообразование поверхностей деталей».

Дидактическая единица: Формообразование поверхностей деталей.

### 5.2.2. Содержание дисциплины по видам учебных занятий.

## Лекционные занятия

Таблица 5.2.1

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Объем, час.		Тема лекции
		ОФО	ОЗФО	
1	1	2	1	Строение и свойства металлов и сплавов, диффузионные процессы в металлах
2	2	3	2	Конструкционные металлы и сплавы
3	3	2	2	Теория и технология термической обработки стали. Химико-термическая обработка
4	4	2	1	Цветные металлы и сплавы
5	5	2	2	Неметаллические и композиционные материалы
6	6	3	2	Технология конструкционных материалов
7	7	4	2	Формообразование поверхностей деталей
Итого:		18	12	

## Практические занятия не предусмотрены учебным планом

### Лабораторные работы

Таблица 5.2.2

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Объем, час.		Наименование лабораторной работы
		ОФО	ОЗФО	
1	1	2	2	Строение металлов, диффузионные процессы в металлах. Кристаллизация.
2	1	2	-	Пластическая деформация и механические свойства металлов
3	1	2	-	Определение твердости материалов
4	1	2	-	Микроструктурный анализ металлов
5	2	2	2	Анализ диаграммы железо-цементит
6	2	2	-	Микроструктура чугуна
7	3	2	2	Термическая обработка сталей
8	3	2	-	Разработка технологического процесса термической обработки детали
9	4	2	2	Цветные металлы и сплавы. Микроструктура цветных сплавов
10	5	2	2	Неметаллические материалы. Получение изделий из пластмасс
11	6	2	-	Технология изготовления литейной формы
12	6	4	-	Определение параметров холодной листовой штамповки
13	7	4	2	Определение режима ручной дуговой сварки
14	7	4	-	Обработка металлов резанием
Итого:		34	12	

## Самостоятельная работа студента

Таблица 5.2.3

№ п/п	Номер раздела дисциплины	Объем, час.		Тема	Вид СРС
		ОФО	ОЗФО		
1	1	4	6	Строение и свойства металлов и сплавов, диффузионные процессы в металлах	- изучение теоретического материала; - подготовка к лабораторным работам, - оформление отчетов к лабораторным работам
2	2	4	7	Конструкционные металлы и сплавы	- изучение теоретического материала; - подготовка к лабораторным работам, - оформление отчетов к лабораторным работам
3	3	4	7	Теория и технология термической	- изучение теоретического



				обработки стали. Химико-термическая обработка	материала; - подготовка к лабораторным работам, - оформление отчетов к лабораторным работам
4	4	4	7	Цветные металлы и сплавы	- подготовка к лабораторным работам, - оформление отчетов к лабораторным работам
5	5	4	7	Неметаллические и композиционные материалы	- изучение теоретического материала; - подготовка к лабораторным работам, - оформление отчетов к лабораторным работам
6	6	4	7	Технология конструкционных материалов	- изучение теоретического материала; - подготовка к лабораторным работам, - оформление отчетов к лабораторным работам
7	7	5	7	Формообразование поверхностей деталей	- изучение теоретического материала; - подготовка к лабораторным работам, - оформление отчетов к лабораторным работам - выполнение письменной самостоятельной работы
		27	36		Подготовка к экзамену
Итого:		56	84		

5.2.3. Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий (традиционных и интерактивных): традиционная лекция; лекция – визуализация с использованием мультимедийного материала; работа в парах; индивидуальная работа; работа в малых группах.

## 6. Тематика курсовых работ/проектов

Курсовые работы/проекты учебным планом не предусмотрены

## 7. Контрольные работы

Для обучающихся ОФО, ОЗФО контрольные работы не предусмотрены учебным планом.

## 8. Оценка результатов освоения дисциплины

8.1. Критерии оценивания степени полноты и качества освоения компетенций в соответствии с планируемыми результатами обучения приведены в Приложении 1.

8.2. Рейтинговая система оценивания степени полноты и качества освоения компетенций обучающихся очной формы обучения представлена в таблице 8.1.

Таблица 8.1

№ п/п	Виды мероприятий в рамках текущего контроля	Количество баллов
1 текущая аттестация		
1	Выполнение и защита лабораторной работы №1	0-4
2	Выполнение и защита лабораторной работы №2	0-4
3	Выполнение и защита лабораторной работы №3	0-4

4	Выполнение и защита лабораторной работы №4	0-4
5	Выполнение и защита лабораторной работы №5	0-4
6	Аттестационный тест	0-10
	<b>ИТОГО за первую текущую аттестацию</b>	<b>0-30</b>
<b>2 текущая аттестация</b>		
7	Выполнение и защита лабораторной работы №6	0-4
8	Выполнение и защита лабораторной работы №7	0-4
9	Выполнение и защита лабораторной работы №8	0-4
10	Выполнение и защита лабораторной работы №9	0-4
11	Выполнение и защита лабораторной работы №10	0-4
12	Аттестационный тест	0-10
	<b>ИТОГО за вторую текущую аттестацию</b>	<b>0-30</b>
<b>3 текущая аттестация</b>		
13	Выполнение и защита лабораторной работы № 11	0-5
14	Выполнение и защита лабораторной работы № 12	0-5
15	Выполнение и защита лабораторной работы № 13	0-5
16	Выполнение и защита лабораторной работы № 14	0-5
17	Выполнение и защита письменной самостоятельной работы	0-10
18	Аттестационный тест	0-10
	<b>ИТОГО за третью текущую аттестацию</b>	<b>0-40</b>
	<b>ВСЕГО</b>	<b>0-100</b>

Рейтинговая система оценивания степени полноты и качества освоения компетенций обучающихся очно-заочной формы обучения представлена в таблице 8.2.

Таблица 8.2

п/п №	Виды мероприятий в рамках текущего контроля	Количество баллов
<b>1 текущая аттестация</b>		
1	Выполнение и защита лабораторной работы №1	0-5
2	Выполнение и защита лабораторной работы №2	0-5
3	Аттестационный тест	0-20
	<b>ИТОГО за первую текущую аттестацию</b>	<b>0-30</b>
<b>2 текущая аттестация</b>		
4	Выполнение и защита лабораторной работы №3	0-5
5	Выполнение и защита лабораторной работы №4	0-5
6	Аттестационный тест	0-20
	<b>ИТОГО за вторую текущую аттестацию</b>	<b>0-30</b>
<b>3 текущая аттестация</b>		
7	Выполнение и защита лабораторной работы № 5	0-5
8	Выполнение и защита лабораторной работы № 6	0-5
9	Выполнение и защита письменной самостоятельной работы	0-10
10	Аттестационный тест	0-20
	<b>ИТОГО за третью текущую аттестацию</b>	<b>0-40</b>
	<b>ВСЕГО</b>	<b>0-100</b>

#### Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

9.1. Перечень рекомендуемой литературы представлен в Приложении 2.

9.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Таблица 9.1

## Перечень договоров ЭБС ТИУ БИК (за период 2022/2023 гг.)

2022/2023	Электронный каталог/Электронная библиотека Тюменского индустриального университета <a href="http://webirbis.tsogu.ru/">http://webirbis.tsogu.ru/</a>	
	Договор №09-11/21 от 14.10.2021 взаимного оказания услуг двухстороннего доступа к ресурсам научно-технической библиотеки ФГАОУ ВО РГУ Нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина и ФГБОУ ВО «ТИУ» <a href="http://elib.gubkin.ru/">http://elib.gubkin.ru/</a>	С 14.10.2021 по 13.10.2022
	Договор № И182/2021/09-14-2021 от 15.12.2021 на оказание услуг по предоставлению двустороннего доступа к ресурсам научно-технической библиотеки ФГБОУ ВО «УГНТУ» и ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» (срок действия договора-до 14.12.2022) <a href="http://bibl.rusoil.net">http://bibl.rusoil.net</a>	С 15.12.2021 по 14.12.2022
	Договор № 09-15/2021 от 07.12.2021 на оказание услуг двухстороннего доступа к ресурсам научно-технической библиотеки ФГБОУ ВО «УГТУ» и ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» <a href="http://lib.ugtu.net/books">http://lib.ugtu.net/books</a>	С 07.12.2021 по 06.12.2022
	Договор №7504 от 10.12.2021 на оказание услуг по предоставлению доступа к ресурсам базы данных «Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU» (эл.подписи)	С 01.01.2022 по 31.12.2022
	Договор №8846 от 31.08.2022 на предоставление права на использование программы для ЭВМ «Автоматизированная система управления Цифровой библиотекой IPRsmart между ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и ООО Компанией «Ай Пи Ар Медиа» <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>	01.09.2022 по 31.08.2023
	Гражданско-правовой договор № 8847 от 25.08.2022 на предоставление неисключительного права доступа к комплекту «Архитектура и строительство» к комплекту Издательского дома МЭИ, входящим в «электронную библиотечную систему «Консультант студента» между ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и ООО «Политехресурс» <a href="http://www.studentlibrary.ru">http://www.studentlibrary.ru</a>	01.09.2022 по 31.08.2023
	Гражданско-правовой договор №8848 от 18.08.2022 на оказание услуг по предоставлению доступа к ЭБС между ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и ООО «ЭБС ЛАНЬ» <a href="http://www.e.lanbook.com">www.e.lanbook.com</a>	01.09.2022 по 31.08.2023
	Гражданско-правовой договор №8849 от 19.08.2022 с ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ» на оказание услуг по предоставлению доступа к образовательной платформе между ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ» <a href="http://www.urait.ru">www.urait.ru</a>	01.09.2022 по 31.08.2023
	Гражданско-правовой договор №9488 от 31.08.2022 с ООО «Профобразование» на оказание услуг по предоставлению права на использование базы данных «База данных электронных изданий учебной, учебно-методической и научной литературы для Электронно-библиотечной системы «PROФобразование» между ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» и ООО «Профобразование»	01.09.2022 по 31.08.2023
	Договор №101НЭБ/6258/09/17/2019 о подключении к Национальной электронной библиотеке и предоставлении доступа к объектам Национальной электронной библиотеки (через терминалы доступа)	С 29.10.2019 по 28.10.2024

9.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в т.ч. отечественного производства:

- Microsoft Office Professional Plus (Договор №6714-20 от 31.08.2020 до 31.08.2021, Договор №7810 от 14.09.2021 до 13.09.2022);
- Microsoft Windows (Договор №6714-20 от 31.08.2020 до 31.08.2021, Договор №7810 от 14.09.2021 до 13.09.2022);
- Adobe Acrobat Reader DC (Свободно-распространяемое ПО).

#### **10. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения для проведения всех видов работы, предусмотренных учебным планом, укомплектованы необходимым оборудованием и техническими средствами обучения. Предусмотрено использование раздаточного материала по курсу «Материаловедение. Технология конструкционных материалов».

Таблица 10.1

№ п/п	Перечень оборудования, необходимого для освоения дисциплины	Перечень технических средств обучения, необходимых для освоения дисциплины (демонстрационное оборудование)
1	мультимедийная учебная аудитория	компьютер
2		проектор
3		настенный экран

#### **11. Методические указания по организации СРС**

##### 11.1. Методические указания к лабораторным занятиям.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Материаловедение. Технология конструкционных материалов». Лабораторные работы интегрируют теоретико-методологические знания и практические умения и навыки обучающихся в едином процессе деятельности учебно-исследовательского характера. При проведении лабораторных работ преимущественное предпочтение отдается контекстному типу обучения, реализуется принцип совместной деятельности, сотворчества студентов и преподавателей. В процессе их проведения студенты смогут на собственном опыте убедиться в истинности теории, получат опыт применения способов исследовательской деятельности как средства решения разных типов исследовательских задач, усвоят приемы исследовательской деятельности, научатся анализировать ход и результаты исследования.

На лабораторных занятиях обучающиеся приобретают опыт работы в творческих и проблемных группах. Результаты решения учебных лабораторных задач, выполнения исследовательских заданий студентами оцениваются преподавателем, сокурсниками и самими студентами.

*Требования к знаниям и умениям после проведения лабораторных работ по дисциплине:* для выполнения лабораторных работ обучающиеся должны изучить теоретический материал по теме работы, иметь четкое представление по теоретической составляющей рассматриваемого вопроса, что в компетентностной парадигме инженерного образования будет способствовать формированию компетенций, согласно ФГОС ВО (по данному направлению).

##### *Критерии оценки работы студента*

Оценивание работы студента осуществляется по следующим параметрам:

- оформление работы;
- расчет и графическая часть;
- защита лабораторной работы по контрольным вопросам.

За каждую успешно выполненную и защищенную работу студент получает определенное количество баллов (согласно рейтинговой таблицы Рабочей программы).

В отчете представляются результаты измерений, расчетов как в табличной форме, так и в произвольной форме, в зависимости от работы, представляются графические зависимости, даются ответы на контрольные вопросы. Заканчивается отчет выводом по работе.

## Лабораторная работа

### Строение металлов, диффузионные процессы в металлах. Кристаллизация.

#### Цель работы:

- Изучить процесс кристаллизации из жидкого состояния.
- Изучить процесс кристаллизации на изломах слитков, полученных из расплавленного состояния при различных условиях охлаждения.

#### Краткие теоретические положения

Металлом называется вещество, обладающее металлическим блеском, высокой электро- и теплопроводностью, сочетанием высокой прочности и пластичности.

Все эти свойства обусловлены атомным строением и типом связи между атомами металлов.

Особенностью строения металлов является то, что все они построены из таких атомов, у которых внешние электроны слабо связаны с ядром. Электроны заряжены отрицательно, и достаточно создать ничтожную разность потенциалов, чтобы началось перемещение валентных электронов по направлению к положительному заряженному полюсу. Поэтому металлы обладают большой электро- и теплопроводностью.

Исходя из указанных особенностей, теория металлического состояния рассматривает металл как вещество, состоящее из положительно заряженных ионов, окруженных отрицательно заряженными частицами - электронами, слабо связанными с ионами и приносящими заряд не одному какому-либо атому, а всей совокупности атомов. Свободные электроны как бы создают газ, который хаотично распространяется во всех направлениях, связывая ионы в металле. Между положительными ионами и свободным электронным газом возникают силы электростатического взаимодействия, которые обуславливают металлический тип связи между атомами.

Все металлы и металлические сплавы являются телами кристаллическими. Кристаллическое состояние объясняется внутренним строением металлов.

Атомы в металлах располагаются строго в определенном порядке в пространстве и образуют так называемую кристаллическую решетку. Металлический тип связи обуславливает появление сил, удерживающих атомы (ионы) в узлах кристаллической решетки, пользуются элементарной ячейкой, представляющей собой элементарный объем атомов, который при многократном повторении в пространстве может воспроизвести структуру металла.

Простейшей элементарной ячейкой является кубическая. Однако, атомы стремясь как можно ближе расположиться друг возле друга, создают и другие ячейки. Число комбинаций из-за стремления атомов уложиться в ячейке более плотно невелико - всего 14 кристаллических решеток.

Наиболее важные технические металлы, такие, как Fe, Cr, Ni, V, Mo, Al, Cu, Ag, Au, Pb - образуют объемно-центрированный куб (ОЦК); Fe, Ni, Si, Al, Ag, Au, Pb - гранецентрированный куб (ГЦК); Fe, Cr, Mo, Ti, V - гексагональную плотноупакованную кристаллическую решетку (ГПУ) и т.д.

Методы изображения кристаллической ячейки различны, чаще пользуются схемами из плотных шаров и в виде правильных геометрических фигур (рис. 1).

Любая кристаллическая решетка характеризуется определенными величинами.

1. Размер любой кристаллической решетки характеризуется параметром или периодом, т.е. расстоянием между двумя параллельными плоскостями в элементарной ячейке.

Параметром кубической решетки является длина ребра куба. Гексагональную решетку определяют два параметра - сторона шестигранника и высота призмы.

Когда отношение  $c/a = 1,633$ , то атомы упакованы наиболее плотно, и решетка называется плотноупакованной. Период решетки металлов находится в пределах  $0,1... 0,7$ , измеряется в нанометрах (нм).

2. Базисом кристаллической решетки является число атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку.

3. Плотность характеризуется объемом, который занимают атомы в кристаллической решетке.

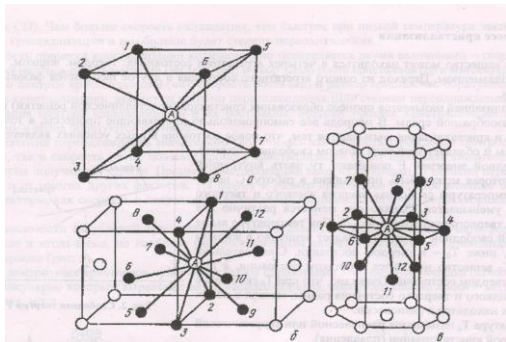


Рис.1 Типы кристаллических решеток: а) объемцентрированная, б) гранецентрированная, в) гексагональная плотноупакованная

Элементарная кристаллическая ячейка характеризуется также координационным числом, под которым понимают число атомов, находящихся на наиболее близком равном расстоянии от избранного атома.

В ОЦК решетке (рис. 1 а) атом А (в центре) находится на наиболее близком равном расстоянии от восьми атомов, расположенных в вершине куба, т.е. координационное число этой решетки равно 8 (К8).

В ГЦК решетке (рис. 1 б) атом А (на грани куба) находится на наиболее близком равном расстоянии от четырех атомов 1, 2, 3, 4, расположенных на гранях куба, и, кроме того, от четырех атомов 9, 10, 11, 12, принадлежащих расположенной рядом кристаллической ячейке. Атомы 9, 10, 11, 12 симметричны атомам 5, 6, 7, 8. Таким образом, для ГЦК решетки координационное число равно 12 (К12).

В ГПУ решетке при  $c/a = 1,633$  (рис. 1 в) атом А в центре шестигранного основания призмы находится на наиболее близком равном расстоянии от шести атомов 1, 2, 3, 4, 5, 6, размещенных в вершинах шестигранника, и от трех атомов 7, 8, 9, расположенных в средней плоскости призмы. Кроме того, атом А оказывается на таком же расстоянии еще от трех атомов 10, 11, 12, принадлежащих кристаллической ячейке, лежащей ниже основания. Атомы 10, 11, 12 симметричны атомам 7, 8, 9. Следовательно, для ГПУ решетки координационное число равно 12 (К12).

Металлам свойственна аллотропия, или полиморфизм, — способность металла изменять свою кристаллическую решетку при нагреве (охлаждении). Так, железо существует в 2-х аллотропических модификациях:  $\text{Fe}_\alpha$  - ОЦК и  $\text{Fe}_\gamma$  - ГЦК. Явление полиморфизма железа обеспечивает возможность термической обработки стали.

#### Процесс кристаллизации

Каждое вещество может находиться в четырех агрегатных состояниях: твердом, жидком, газообразном и плазменном. Переход из одного агрегатного состояния в другое называется фазовым превращением.

Кристаллизацией называется процесс образования кристаллов (кристаллической решетки) из жидкой или газообразной среды. В природе все самопроизвольно протекающие процессы, в том числе плавление и кристаллизация, вызываются тем, что новое состояние в иных условиях является более устойчивым и обладает меньшим запасом свободной энергии. Под свободной энергией  $P$  понимают ту часть внутренней энергии, которая может быть превращена в работу. С повышением температуры свободная энергия жидкого и твердого состояния уменьшается. Однако она меняется различно для жидкого и твердого состояния (рис. 2). При температуре выше  $T_0$  меньшей свободной энергией обладает вещество в жидком состоянии, ниже  $T_0$  - в твердом состоянии. Следовательно, при  $T > T_0$  вещество находится в жидком состоянии, а при  $T < T_0$  - в твердом состоянии. Очевидно, что при  $T_0$  свободные энергии жидкого и твердого состояния равны, металл в обоих состояниях находится в равновесии.

Температура  $T_0$  называется равновесной или теоретической температурой кристаллизации (плавления). При  $T_0$  не может происходить процесс кристаллизации, т.к. для начала процесса кристаллизации необходимо, чтобы процесс был термодинамически выгоден, т.е. необходимо создать такие условия, при которых свободная энергия твердой фазы будет меньше, чем свободная энергия жидкой фазы. Как видно из рис. 2, это возможно лишь при некотором переохлаждении сплава.



Рис.2 Свободная энергия F

Температура, при которой практически начинается кристаллизация, называется фактической температурой кристаллизации.

Степень переохлаждения  $\Delta T$  называется разность между равновесной (теоретической) и фактической температурами кристаллизации  $\Delta T = T_0 - T_{кр}$ , где  $T_0$  - равновесная температура,  $T_{кр}$  - фактическая температура кристаллизации. Для развития процесса кристаллизации необходима некоторая степень переохлаждения  $\Delta T$ . Движущей силой любого превращения является разность свободных энергий, зависящая от скорости охлаждения.

$$\Delta F = F_{ж} - F_{кр}$$

Процесс кристаллизации изучают по кривым охлаждения (рис. 3).

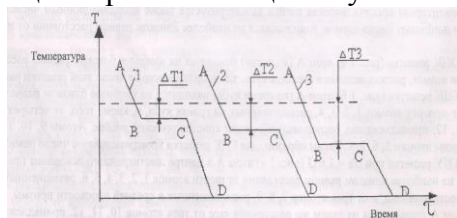


Рис.3 Кривые охлаждения

Охлаждение металла в жидком состоянии сопровождается плавным понижением температуры (участок АВ). Скорость охлаждения (наклон кривой) зависит от разности температур металла и охлаждающей среды. При достижении температуры кристаллизации на кривой появляется площадка (участок ВС), т.к. отвод тепла компенсируется так называемой открытой теплотой кристаллизации. По окончании кристаллизации (точка С), т.е. когда весь жидкий металл перейдет в кристаллическое состояние, температура опять начинает снижаться, происходит охлаждение затвердевшего металла (участок CD). Чем больше скорость охлаждения, тем быстрее при низкой температуре заканчивается процесс кристаллизации и тем больше будет степень переохлаждения.

Скорость процесса кристаллизации количественно определяется двумя величинами - скоростью зарождения центров кристаллизации ( $чц$   $1\text{см}^3/\text{сек}$ ) и скоростью роста кристаллов ( $ср$  в  $\text{мм}/\text{сек}$ ) (рис. 4).

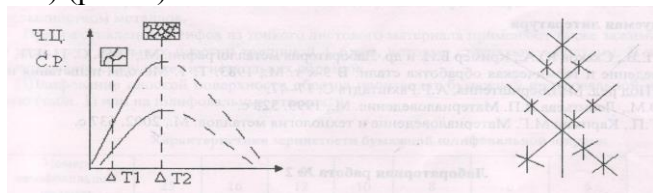


Рис.4

Рис.5

Число центров кристаллизации ( $чц$ ), скорость роста ( $ср$ ) и размер кристаллов, образующихся в результате кристаллизации, зависят от степени переохлаждения. Для степени переохлаждения скорость образования центров кристаллизации и их рост малы, поэтому процесс кристаллизации протекает медленно и зерна образуются крупные.

Для степени переохлаждения значительно увеличилась как скорость зарождения центров кристаллизации, так и скорость роста, поэтому процесс кристаллизации будет протекать значительно быстрее^ и зерна получаются мелкие. Процесс кристаллизации зависит не только от степени переохлаждения, но и от многих других факторов. На форму и размер кристаллов большое влияние оказывают такие факторы, как скорость и направление охлаждения изложницы, наличие нерастворившихся частиц.

В зависимости от условий кристаллизаций могут возникать кристаллы различной формы: пластинчатые и игольчатые, но наиболее распространенным является дендритный (древовидный) кристалл Чернова (рис. 5). Рост дендритных кристаллов происходит путем образования осей первого порядка (ствол) (рис. 5), перпендикулярно которым вырастают ветви второго порядка, перпендикулярно к ним - ветви третьего порядка, и т.д.

Процесс кристаллизации реальных сплавов начинается у стенок изложницы в местах, где жидкий металл охлаждается в первую очередь и последовательно подвигается к центру слитка.

Первая образовавшаяся зона - эта зона беспорядочно направленных равноосных кристаллов.

Мелкие кристаллы здесь получаются благодаря большой степени переохлаждения. Разориентированны они в результате того, что растут перпендикулярно неровностям внутренней поверхности стенки изложницы.

После образования первой зоны начинается рост второй зоны - зоны столбчатых кристаллов. Рост ~их кристаллов идет в направлении отвода тепла, и поскольку кристаллы растут одновременно, то они приобретают столбчатую вытянутую форму.

При медленном охлаждении в центре слитка образуется 3-я зона - зона равновесных произвольно ориентированных кристаллов, размер которых зависит от степени переохлаждения. В верхней части слитка обычно формируется усадочная раковина. Эту часть слитка удаляют.

#### **Методика выполнения работы**

1. Уясните цель работы.
2. Изучите процессы и условия, необходимые для протекания процесса кристаллизации.
3. Изучите типы кристаллических решеток.
4. Изучите дефекты кристаллического строения.
5. Изучите строение металлического слитка.
6. Составьте отчет о работе

#### **Содержание отчета**

1. Поставить цель работы и задание по ее выполнению.
2. Написать краткие сведения по кристаллизации металлов
3. Начертить схему строения стального слитка.
4. Объяснить причину образования трех зон в слитке и усадочной раковины. Дать объяснение транскристаллизации и случаям желательного ее развития.

#### **Контрольные вопросы**

1. В чем сущность кристаллического строения металлов?
2. Какие типы кристаллических решеток Вам известны?
3. Каков физический смысл температуры  $T_0$ , соответствующей точке пересечения кривых  $F_{ж}$  и  $F_{кр}$ ?
4. В чем принципиальное отличие жидкого состояния от кристаллического?
5. Как изменяется скорость кристаллизации металла, если степень переохлаждения возрастает?
6. При какой температуре выгоден процесс кристаллизации:  
а)  $T_{кр} < T_0$ ; б)  $T_{кр} = T_0$ ; в)  $T_{кр} > T_0$ ?
7. По схеме строения стального слитка (показанного в разрезе) укажите его наиболее ослабленные места.



## Лабораторная работа

### Пластическая деформация и механические свойства металлов

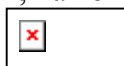
**Цель работы:** Изучить методику проведения испытаний на растяжение и определения механических свойств.

#### Краткие теоретические положения


Механические свойства определяют поведение металла под нагрузкой. Характеристики механических свойств получают при механических испытаниях. Для этого воздействуют на образец из данного материала какой-то силой и измеряют реакцию материала.

Под действием различных внешних сил металл деформируется и разрушается. Но величиной приложенной нагрузки нельзя охарактеризовать условия нагружения. Важно знать, на какую площадь поперечного сечения эта нагрузка действует.

За характеристику нагружения принимают напряжение – отношение силы к площади сечения, на которую она действует:



Напряжение, действующее на любую произвольно взятую площадку, можно разложить на нормальную составляющую  $\sigma$ , перпендикулярную площадке, и касательную  $\tau$ . Нормальное

напряжение  и касательное напряжение  $t = \frac{P}{F} \times \sin \alpha$  (рис. 1).

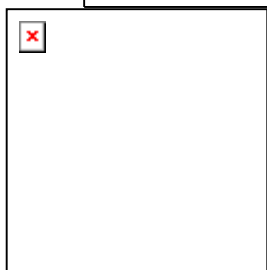


Рис. 1. Схема составляющих сил

Напряжение, которое выдерживает металл, является его основной механической характеристикой, не зависящей от размеров изделия.

Прочность – это способность металла сопротивляться деформации и разрушению под действием внешних и внутренних напряжений.

Государственные стандарты предусматривают получение характеристик прочности при испытаниях на растяжение, сжатие, изгиб, кручение. Все это – статические испытания, с постепенным, плавным возрастанием нагрузки.

Наиболее информативно испытание на растяжение на разрывной машине; его и проводят в большинстве случаев для получения стандартных характеристик прочности (рис.2).

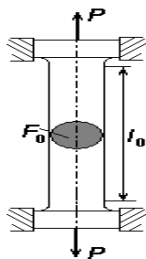


Рис. 2. Стандартный образец для испытаний на растяжение и схема испытания на разрывной машине

Разрывная машина снабжена устройством для записи так называемой диаграммы растяжения – графика зависимости между приложенной нагрузкой  $P$  и удлинением образца  $\Delta l$  (рис. 3). Современные машины имеют выход на компьютер, который не только записывает диаграмму, но и рассчитывает характеристики прочности.

При росте нагрузки Р длина образца l изменяется нелинейно.

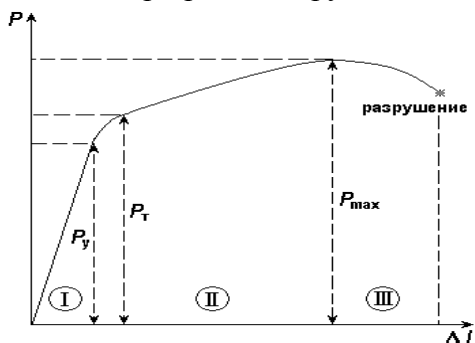


Рис. 3. Диаграмма растяжения пластичного металла: I – область упругой деформации, II – область пластической деформации, III – область развития трещин

Из этого испытания можно получить следующие характеристики прочности:

- предел упругости  [МПа] – это наибольшее напряжение, после которого образец возвращается к прежней форме и размерам;

- предел текучести  [МПа] – это напряжение пластического течения металла без увеличения нагрузки;

- предел прочности  [МПа] – это наибольшее напряжение, которое металл выдерживает, не разрушаясь.

Истинный, или физический предел текучести  определить трудно: не у всех металлов образуется «площадка текучести». Поэтому чаще всего определяют условный предел текучести , который вызывает остаточную деформацию 0,2 %:  ≈ .

Прочностные расчеты чаще ведут по пределу текучести, так как значительная пластическая деформация большинства деталей и конструкций недопустима. Но и предел прочности знать необходимо, так как он показывает, при каком напряжении начнется разрушение.

Пластичность – это способность металла деформироваться без разрушения. Характеристики пластичности определяют из того же испытания на растяжение. Это:

- относительное удлинение  $\delta = \frac{l_{\text{к}} - l_0}{l_0} \cdot 100$  [%]

- относительное сужение  [%],

где  $l_0$  и  $l_{\text{к}}$ , мм – длина образца до и после испытания;

$F_0$  и  $F_{\text{к}}$ , мм<sup>2</sup> – начальная и конечная площадь поперечного сечения образца.

Относительное удлинение и относительное сужение являются одновременно и критериями надежности: материал, имеющий бóльшие значения  $\delta$  и  $\psi$ , более надежен.

#### Проведение испытаний

Перед испытанием определяют начальную площадь поперечного сечения  $F_0$ . Метками (неглубокими кернами или рисками) на рабочей длине  $l$ , обозначают расчетную длину  $l_0$ . Подготовленный образец закрепляют в захватах испытательной машины.

Включают электропривод машины и наблюдают за процессом испытания. В процессе испытания при деформировании образца возрастает нагрузка.

На диаграмме по оси ординат откладывается нагрузка  $P$  в ньютонах (или кгс), а по оси абсцисс - величина абсолютных удлинения  $\Delta l$  в определенном масштабе. После разрыва образца выключают электропривод, вынимают из захватов обе части образца.

### Порядок выполнения работы

Изучить основные теоретические положения и условия проведения испытаний на растяжение.

Испытать на растяжение образцы различных материалов с записью диаграммы растяжения. Результаты занести в протокол (табл. 1).

Обработать результаты, определить механические свойства испытанных материалов и сравнить их с табличными значениями.

Провести обработку результатов измерений для величин  $\sigma_T$ ,  $\sigma_{пц}$ ,  $\sigma_B$ .

Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 1

### Протокол испытаний на растяжение

Показатели		Ед. измер.	Материалы		
Диаметр образца	До испытания, $d_0$	мм			
	После испытания, $d_k$	мм			
Площадь поперечного сечения образца	До испытания, $F_0$	мм <sup>2</sup>			
	После испытания, $F_k$	мм <sup>2</sup>			
Длина расчетной части образца	До испытания, $l_0$	мм			
	После испытания, $l_k$	мм			
Нагрузки, соответствующие	Пределу упругости $R_y$	Н			
	Пределу текучести $R_T$	Н			
	Пределу прочности $R_B$	Н			
Предел пропорциональности, $\sigma_y$		МПа			
Предел текучести $\sigma_T$		МПа			
Предел прочности $\sigma_B$		МПа			
Относительное удлинение	$\delta$	%			
Относительное сужение	$\psi$	%			

### Контрольные вопросы

1. Какие свойства материалов называются механическими?
2. Механические напряжения их виды.
3. Для чего необходимо знать количественные показатели механических свойств материалов?
4. Основные стадии процесса деформации металлических материалов.
5. Какие показатели характеризуют прочность материала?
6. Какие показатели характеризуют пластичность материала?
7. Что называется пределом текучести и пределом прочности?
8. Какие механические свойства материала можно определить по диаграмме растяжения?
9. На какой испытательной машине выполняется работа?
10. Как определяют предел текучести, если на диаграмме растяжения имеется участок, параллельный оси удлинения?
11. По какой величине относительного остаточного удлинения определяют условный предел текучести?
12. Как определяют условный предел текучести по диаграмме растяжения?
13. Для какого участка диаграммы растяжения справедлив закон Гука?
14. Как изменяются свойства материала, если он подвергался предварительной вытяжке за предел текучести?

## Лабораторная работа Определение твердости материалов

**Цель работы:** изучение методик и приобретение навыков определения твердости материалов.

### Краткие теоретические положения

Твердость - способность материала сопротивляться упругой и пластической деформации при внедрении в него более твердого тела (индентора).

Наибольшее распространение в практике нашли методы Бринелля, Роквелла, они просты в исполнении. Приборы для определения твердости этими методами могут располагаться непосредственно в производственных цехах.

*Метод Бринелля* - основан на использовании в качестве индентора стального закаленного шарика, который вдавливается в испытуемый образец на специальном прессе. В результате на поверхности образца образуется отпечаток в виде сферической лунки (рис. 1, а). Диаметр  $d$  отпечатка измеряется в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с помощью микроскопа Бринелля в виде лупы со шкалой. Твердость обозначается латинскими буквами «НВ», например 200 НВ.

Значения твердости определяются как отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка. В практике для определения твердости используют таблицу, в которой значения твердости указаны в зависимости от диаметра отпечатка.

Диаметр шарика  $D$  и нагрузку выбирают такими, чтобы соблюдалось соотношение  $d = (0,25... 0,50)D$ , т. е. для разных материалов эти параметры различаются. При определении твердости сталей и чугунов приняты диаметр шарика (индентора) 10 мм, нагрузка 3 000 кгс (29430 Н) и длительность выдержки под нагрузкой 10 с, при этом в обозначении твердости указываются только цифры единиц твердости, например, 200 НВ. При изменении условий испытаний помимо значений твердости необходимо указывать диаметр шарика, усилие и длительность выдержки под нагрузкой, например, 185 НВ/5/750/20 (здесь 5 — диаметр шарика, мм; 750 — нагрузка, кгс; 20 — длительность выдержки под нагрузкой, с).

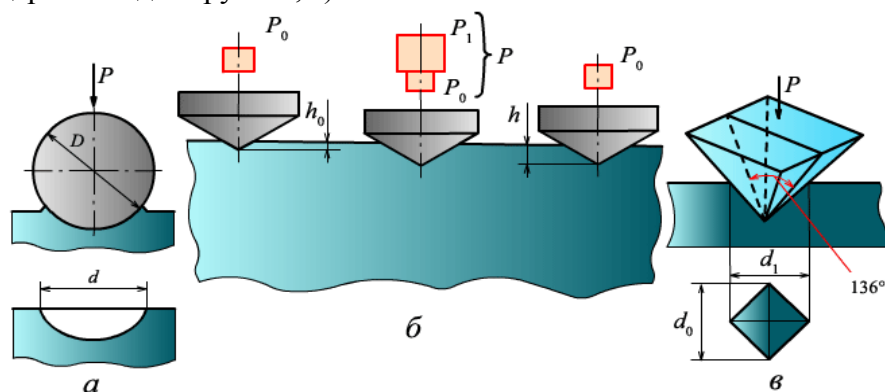


Рис. 1. Схема определения твердости:

а — по Бринеллю; б — по Роквеллу; в — по Виккерсу

Метод Бринелля не является универсальным. Он не применяется для испытания материалов с твердостью более 450 НВ, так как при этом может деформироваться индентор (шарик), а также для образцов толщиной менее 1... 2 мм, так как под усилием шарика они продавливаются.

Между твердостью по Бринеллю и прочностью разных материалов выявлена взаимосвязь, наблюдаются следующие примерные соотношения: для стали  $\sigma_b = \text{НВ}/3$ ,  $\sigma_T - \text{НВ}/6$ ; для алюминиевых сплавов  $\sigma_b = 0,362 \text{ НВ}$ ; для медных сплавов  $\sigma_b = 0,26 \text{ НВ}$ .

*Метод Роквелла* - принципиально отличается от метода Бринелля тем, что твердость определяется не по площади поверхности отпечатка, а по глубине проникновения индентора в исследуемый образец (рис.1, б).

В качестве индентора используют алмазный конус (при испытаниях твердых материалов) и стальной закаленный шарик (при испытаниях мягких материалов). При использовании алмазного

конуса устанавливается нагрузка 150 или 60 кгс в зависимости от твердости материала — большая для менее твердых материалов (например, закаленные стали) и меньшая для материалов с очень высокой твердостью (твердые сплавы, режущая керамика), чтобы избежать скола алмазного конуса. Стальной шарик вдавливают с нагрузкой 100 кгс.

Испытания выполняются на специальном приборе, имеющем две шкалы — черную и красную, с которых непосредственно считываются значения твердости. *Черная шкала* используется при испытаниях алмазным конусом, *красная* — стальным закаленным шариком. В данном методе твердость обозначается *HRC* для алмазного конуса и нагрузки 150 кгс (например, 64 HRC), *HRA* для алмазного конуса и нагрузки 60 кгс (90 HRA) и *HRB* для шарика и нагрузки 100 кгс (120 HRB).

Значения твердости в зависимости от глубины проникновения индентора определяются из следующих соотношений:

$$100 - (h - h_0)/0,02 \text{ и } 130 - (h - h_0)/0,02$$

для шкал «А» и «В» соответственно (здесь  $h$  и  $h_0$  — глубина проникновения индентора, мм, под действием предварительной (10 кгс) и окончательной нагрузок). Значения твердости в единицах HRC примерно в 10 раз меньше, чем в единицах HB, т.е., например, 30 HRC приблизительно соответствует 300 HB. Между значениями твердости по шкалам «С» и «А» имеется следующая зависимость:  $HRC = 2 HRA - 102$ .

*Метод Виккерса* - основан на вдавливании четырехгранной алмазной пирамидки с углом  $136^\circ$  между противоположными гранями (рис.1, в). Твердость обозначается HV (например, 1000 HV) и определяется отношением нагрузки к площади поверхности отпечатка. Значения твердости вычисляются по формуле  $HV = 1,854 P/d^2$ , где  $d$  — среднее значение длины диагонали отпечатка. Нагрузку можно изменять в пределах от 1 до 100 кгс. Длину диагонали определяют с помощью специального микроскопа, встроенного в прибор. Метод является исследовательским, приборы устанавливаются в лаборатории, измерения требуют достаточно высокой квалификации оператора. Значения твердости по Бринеллю и Виккерсу практически равны между собой.

Метод Шора - в отличие от рассмотренных основывается на определении высоты отскока индентора от исследуемой поверхности образца. Индентор-боек при этом не деформируется, так как оснащен алмазным наконечником. Чем выше твердость образца, тем больше высота отскока бойка. Шкала твердости имеет 130 единиц (делений) и рассчитана таким образом, что твердость закаленной стали соответствует 100 единицам. Этот метод часто используют для определения твердости непосредственно на деталях, особенно крупногабаритных.

### **Назначение твердомера ТЭМП-2**

Твердомер предназначен для экспрессного измерения твердости сталей, сплавов и их сварных соединений по шкалам Бринелля (HB), Роквелла (HRC), Шора (HSD), Виккерса (HV), а также определения предела прочности на растяжение  $R_m$  ( $\sigma_b$ ) (кгс/мм<sup>2</sup>) по ГОСТ 22761-77 для углеродистых сталей перлитного класса.

Объектами измерений могут быть крупногабаритные изделия, узлы и детали сложной формы, имеющие труднодоступные зоны измерений, в том числе: сосуды давления различного назначения, (парогенераторы, коллекторы, котельные барабаны, газгольдеры и т.д.), трубопроводы, роторы турбин и генераторов, валки прокатных станков, коленчатые валы, шестерни, детали и узлы различных транспортных средств, рельсы, промышленные полуфабрикаты, (отливки, листы, трубы, обечайки, в том числе тонкостенные - менее 7 мм) и т.д.

Прибор может быть применен для оперативного контроля твердости деталей массового производства в цеховых условиях, например, для оценки стабильности технологических процессов: термической, химико-термической (цементации, азотирования, оксидирования), механической обработок, сварки, обработки давлением, поверхностного упрочнения и т.д. Прибор можно использовать для диагностирования эксплуатируемого оборудования с целью оценки и продления его остаточного безопасного ресурса.

Прибор позволяет проводить измерения на плоских, выпуклых и вогнутых поверхностях изделий с различным радиусом кривизны и параметром шероховатости не более Ra 2,5 по ГОСТ 2789-73, а также на изделиях различной массы и толщины.

#### Устройство и принцип работы твердомера

Твердомер представляет собой портативный электронный программируемый прибор динамического действия, состоящий из электронного блока, вмонтированного в корпус (1) см.рис. 2 и датчика (2), соединенных экранированным кабелем (3), а также двух элементов питания типа А-316, вставляемых в батарейный отсек корпуса электронного блока.

Принцип измерения твердости прибором – динамический, основанный на определении соотношения скоростей падения и отскока ударника (4) датчика, которое преобразуется электронным блоком в условные единицы НL. Единицы НL по соответствующему алгоритму пересчитываются микропроцессором прибора в числа твердости НВ, HRC, HV или HSD. Алгоритм пересчета создается при программировании прибора и хранится в его энергонезависимой памяти. Шкалы твердости программируются в прибор по соответствующим образцовым мерам твердости, либо по образцам с известной твердостью.

Датчик (2) состоит из направляющей трубки (5), механизма взвода (6) (включающего цанговый узел (7), шток (8), основную пружину (9) и спусковую кнопку (10)), ударника (4) (состоящего из твердосплавного шаровидного индентора (11), постоянного магнита (12), корпуса (13) и пробки (14)), индукционной катушки (15) и опорного кольца (16).

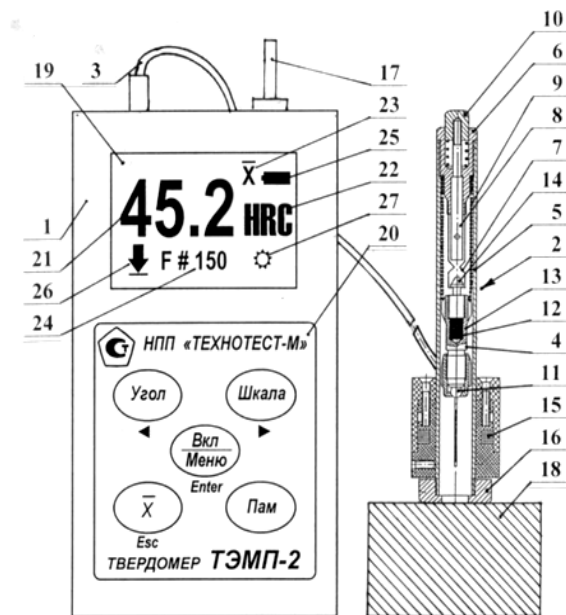


Рис. 2. Общий вид твердомера ТЭМП-2

Взвод датчика осуществляется перед каждым измерением твердости толкателем (17) до ощутимого защелкивания (фиксации) пробки ударника в цанговом узле. При этом происходит сжатие ударником основной пружины.

При нажатии на спусковую кнопку шток разжимает цанговый узел и пружина «выстреливает» ударник. Перемещаясь внутри направляющей трубки, ударник ударяется индентором о поверхность измеряемого изделия (18) и отскакивает от него. При этом, постоянный магнит наводит в индуктивной катушке ЭДС, которая пропорциональна соответствующим скоростям падения и отскока ударника. Сигнал, полученный в индуктивной катушке при падении и отскоке ударника, передается по экранированному кабелю в электронный блок.

Электронный блок твердомера встроен в пластмассовый (или металлический) корпус (1). На лицевой стороне корпуса прибора расположены жидкокристаллический индикатор - ЖКИ (в дальнейшем «индикатор») (19) и клавиатура (20), имеющая пять следующих кнопок:

- включения «Вкл/Меню» (при включенном приборе кнопка позволяет войти в «Меню» прибора, а после входа в «Меню» выполняет функции клавиши «Enter»);
- выбора положения датчика «Угол» (после входа в «Меню» выполняет функции: выбора пунктов «Меню» и уменьшения чисел);
- выбора шкалы твердости «Шкала» (после входа в «Меню» выполняет функции: выбора пунктов «Меню» и увеличения чисел);
- усреднения результатов измерения «X» (после входа в «Меню» выполняет функции клавиши «Esc»);
- запоминания данных «Пам».

В разных режимах работы прибора на индикаторе могут индцироваться :результат (21) измерения по разным шкалам твердости (HB, HRC, HV, HSD) или значение предела прочности Rm; наименование (22) шкалы твердости или предел прочности; символ «X» (23) усреднения данных кнопкой «X»; номер (24) ячейки памяти, запоминаемый кнопкой «Пам»; уровень (25) заряда батарей; положение (26) датчика относительно поверхности измеряемого изделия, символ (27) включения подсветки дисплея прибора.

#### *Подготовка к работе*

1. По необходимости зачистить шлифовальной машинкой поверхность в зоне измерения диаметром около 20 мм с обеспечением параметра шероховатости не более Ra 2,5 мкм и протереть ветошью место зачистки.
2. Предварительно удалить с поверхности окалину, окисную пленку, смазку, ржавчину и т.д.
3. Соединить датчик с электронным блоком. Привернуть толкатель к корпусу прибора.
4. Проверить, чтобы опорное кольцо датчика было плотно завернуто на направляющую трубку.
5. Включить прибор нажатием на кнопку «Вкл/Меню». При этом надисплее должна появиться индикация в соответствии с рис. 2.
6. Выбрать по необходимости (см. п. «Порядок работы») шкалу твердости, угол измерения и режим подсветки. Обнулить если надо буферы памяти и усреднения.

#### *Порядок работы*

1. Включить прибор кнопкой «Вкл/Меню» - на дисплее прибора появится индикация в соответствии с рис. 2.
2. Кнопкой «Шкала» выбрать требуемую шкалу твердости (HB, HRC, HSD, HV, Rm).
3. Кнопкой «Угол» выбрать угол установки датчика на измеряемую поверхность изделия (сверху вниз, сбоку горизонтально, снизу вверх).
4. Нажав кнопку «Вкл/Меню», войти в «Меню» прибора, кнопками «< >» выбрать режим «Подсветка». Нажать «Enter» и кнопками «< >» выбрать режимы подсветки: ON - включена, OFF - выключена, 15с - включена на 15 сек. Выйти в рабочий режим прибора, нажав «Esc».
5. При необходимости можно стереть запомненные кнопкой «Пам» данные из буфера памяти. Для этого надо войти в «Меню» нажав «Вкл/Меню», выбрать кнопками «< >» режим «Стереть Файл» и дважды нажав «Enter», удалить данные из буфера памяти.
6. Нажать на кнопку «X» для стирания предыдущих результатов в буфере усреднения.
7. Толкателем загрузить ударник с торцевой части датчика до защелкивания и вынуть толкатель из датчика.
8. Датчик установить нормально к испытываемой поверхности, плотно прижав его одной рукой, а другой - нажать на спусковую кнопку. После соударения ударника с контролируемой поверхностью на дисплее прибора появится результат измерения в числах выбранной шкалы.
9. Последующие измерения, в количестве не менее 3-х.

10. Для определения среднего значения результатов измерений нажать кнопку «X» - на дисплее прибора появится результат усреднения и символ «X», после чего все исходные данные из буфера усреднения автоматически стираются.

11. Каждый результат измерения (включая усредненные значения) может быть внесен в энергонезависимый буфер памяти прибора нажатием кнопки «Пам» (буфер вмещает 200 результатов).

12. Для просмотра запомненных данных надо войти в «Меню» прибора, нажав «Вкл/Меню», выбрать кнопками «< >» пункт «Файл», нажать «Enter» и просмотреть кнопками «< >» все запомненные данные.

13. Выйти в рабочий режим прибора, нажав «Esc».

14. Прибор отключается автоматически через 2 минуты во всех режимах работы. Для последующей активации дисплея необходимо кратковременно нажать кнопку «Вкл/Меню».

15. Для получения корректных результатов измерения твердости минимальное расстояние между точками измерений (отпечатками) должно быть не менее 3 мм, повторные измерения в одной и той же точке не допускаются.

Протокол испытания к лабораторной работе

Материал	Шкала	Твердость					
		1	2	3	4	5	средняя

Контрольные вопросы

1. Что понимают под твердостью материала?
2. Назвать достоинства испытаний на твердость.
3. Назвать основные способы определения твердости материалов.
4. Что такое индентор, из каких материалов они выполняются.
5. Назвать требования, предъявляемые к испытываемой поверхности образца и к его толщине.
6. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Бринелля?
7. Как обозначается твердость, измеренная по методу Бринелля, и как рассчитывается?
8. Изобразите схему измерения твердости по Бринеллю.
9. Какова размерность единиц измерения твердости HB, HR, HV ?
10. Какая существует зависимость между твердостью по Бринеллю и пределом прочности?
11. В чем сущность измерения твердости металлов по методу Роквелла?
12. Изобразите схему измерения твердости по Роквеллу.
13. Как обозначается твердость, измеренная по методу Роквелла?
14. Чему равна твердость, измеренная по методу Роквелла?
15. Какие шкалы существуют при измерении твердости по Роквеллу?
16. В чем заключается физический смысл числа твердости по Виккерсу?
17. В чем заключаются преимущества метода Виккерса, по сравнению с методом Бринелля?



## Лабораторная работа Микроструктурный анализ металлов

**Цель работы:** изучение методических основ и приемов микроструктурного анализа металлов.

### Краткие теоретические положения

Микроструктура - строение металла, выявляемое с помощью микроскопа. Для изучения микроструктуры необходимо подготовить поверхность металла - сделать микрошлиф.

Поскольку металлы непрозрачны, то рассмотрение микроструктуры производят в потоке лучей, отраженных от исследуемой поверхности микрошлифа. Пучок лучей от искусственного источника света направляется на поверхность микрошлифа, отражается от нее и, пройдя через оптическую систему микроскопа, попадает в глаз наблюдателя.

Чем больше лучей отражает участок поверхности, тем светлее он выглядит (рис. 1). Границы между зернами (после травления) рассеивают лучи, поэтому они видны как темные линии. Если отдельные структурные составляющие отличаются по цвету, то их окраска видна в потоке отраженных лучей.

Впервые микроскоп для исследования металлов применил в 1831 г. русский ученый Павел Петрович Аносов.

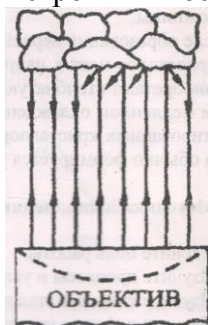


Рис. 1 Схема отражения световых лучей от поверхности микрошлифа  
*Методика приготовления микрошлифа*

Процесс приготовления микрошлифа включает операции вырезки образца и подготовки его поверхности: шлифование, полирование, травление/ В некоторых случаях, например, при изучении неметаллических включений в сталях, под микроскопом исследуют поверхность микрошлифа в нетравленном состоянии. Площадь поверхности образца, используемого для приготовления микрошлифа, обычно составляет 1-4 см, а его высота определяется удобствами манипулирования при шлифовании и полировании и равна 10-15 см.

Вырезку образцов следует проводить так, чтобы не вызвать изменения структуры из-за нагрева или наклепа. Для вырезки образцов используют отрезные станки с абразивными кругами и охлаждающую жидкость.

Получить плоскую поверхность, необходимую для шлифа, можно также путем токарной обработки, фрезерования, шлифования или опилования. Образцы небольших размеров или сложной конфигурации помещают в пластмассы или легкоплавкие сплавы, используя заливку или запрессовку в цилиндрические обоймы. Во многих отношениях удобен, прост и производителен метод холодной заделки образцов с помощью эпоксидных, полиэфирных и акриловых смол. Образцы устанавливают в металлические, пластмассовые или стеклянные кольца и заливают смесью смолы с отвердителем. Наиболее часто для холодной заделки шлифов применяют эпоксидные смолы, которые обладают достаточной твердостью, наименьшей объемной усадкой при отверждении и хорошо соединяются с большинством металлов.

При изготовлении шлифов из тонкого листового материала применяют также зажимы (струбцины) в виде двух стальных пластин толщиной 4-6 мм, которые стягиваются болтами. В зажиме можно монтировать сразу пакет из нескольких образцов.

Шлифование плоской поверхности образца производят бумажной шлифовальной шкуркой вручную (табл. 1) или на шлифовальных станках.

Таблица 1

Номер шлифовальной шкурки (ГОСТ 6436–75)	25	16	12	10	8	6	5	4	M40
Размер абразивных частиц, мкм (ГОСТ 3647–80)	320–200	200–160	160–120	120–100	100–80	80–63	63–50	50–40	40–28

При ручном шлифовании шкурку помещают на плоское твердое основание (обычно толстое стекло). Образец прижимают шлифуемой поверхностью к шкурке и ритмично перемещают вперед по прямой линии. При механическом шлифовании шкурку закрепляют на вращающемся круге с помощью зажимных колец или клеевого покрытия на обратной стороне шкурки, а образец прижимают к шкурке вручную или устанавливают в зажимное приспособление станка. При этом образец не вращают. В результате этого как при ручном, так и при механическом шлифовании образуется ряд параллельных рисок, глубина которых соответствует размеру абразивных частиц.

Шлифование проводят, используя шкурку нескольких номеров с последовательно уменьшающейся зернистостью (предварительное грубое - на первых пяти номерах, а окончательное чистовое - на номерах 5-M40), причем во время шлифования следует сохранять одно и то же положение образца, чтобы все риски на его поверхности были параллельны. При переходе к шлифованию шкуркой следующего номера направление шлифования изменяют на 90° и проводят его до полного удаления всех рисок, образовавшихся во время предыдущей операции. Для оценки качества шлифования можно исследовать поверхность образца при переходе от одной ступени к другой под микроскопом. После каждой ступени шлифования поверхность должна быть покрыта равномерными по величине и отчетливо видимыми царапинами. Никаких следов царапин от предыдущего шлифования наблюдаться не должно.

После каждой ступени шлифования поверхность образца следует тщательно очищать во избежание переноса сравнительно крупных частиц абразива на более мелкозернистый абразивный материал и на используемый в дальнейшем полировальный материал. Поэтому с целью удаления абразивных частиц после окончания каждой ступени шлифования образец промывается водой.

Полирование производится для удаления мелких рисок, оставшихся после шлифования, и получения гладкой, зеркальной поверхности микрошлифа. С этой целью применяют механический, электрохимический и химико-механический методы полирования.

Широко распространенное механическое полирование производят на вращающемся диске с натянутым полировальным материалом (мягкое сукно, фетр, драп или специальная ткань). В качестве абразивного вещества обычно применяется паста ГОИ, состоящая из оксида хрома со стеарином, олеиновой кислотой, содой и керосином, или водные суспензии очень мелких оксидов хрома, алюминия, железа или других металлов. При этом полировальный круг должен быть влажным, а нажатие на образец - слабым.

Полирование осуществляют вручную или на автоматических станках. При ручном полировании образец непрерывно перемещают от центра к периферии круга, что обеспечивает равномерное распределение абразивного вещества и однородный износ полировального материала. Кроме того, образец периодически вращают или перемещают «восьмеркой», чтобы исключить образование «хвостов» около неметаллических включений и частиц выделившихся фаз.

Полирование считается законченным, когда поверхность образца приобретает зеркальный блеск и на поверхности микрошлифа под микроскопом не просматриваются риски и царапины. Полированный образец очищают от остатков абразива промыванием поверхности

микрошлифа водой, затем протирают спиртом для удаления влаги, после чего просушивают фильтровальной бумагой.

правление для выявления структуры полированного микрошлифа производится реактивами, различающимися по своему воздействию на разные структурные составляющие/Наиболее широко применяемые в металлографии реактивы, вызывающие избирательное растворение металлических или других фаз, а также их пограничных участков вследствие различия физических и химических свойств, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Некоторые реактивы для химического травления микрошлифов		
Наименование реактива	Состав реактива	Назначение
Спиртовой раствор азотной кислоты (реактив Ржешотарского)	1–5, обычно 4 мл азотной кислоты, 100 мл этилового или метилового спирта	Травление стали и чугуна
Спиртовой раствор пикриновой кислоты (реактив Ижевского)	3–5, обычно 4 г пикриновой кислоты (кристаллической), 100 мл этилового или метилового спирта	То же
«Царская водка»	Соляная и азотная кислота в соотношении 3:1	Травление нержавеющей сталей
Солянокислый раствор хлорного железа	5 г хлорного железа, 50 мл соляной кислоты, 100 мл воды	Травление меди, латуни, бронзы

На поверхности микрошлифа образуется рельеф, и при наблюдении под микроскопом сильно растворившиеся участки в связи с рассеиванием световых лучей представляются более темными, а нерастворившиеся ввиду более полного отражения световых лучей в объектив микроскопа - более светлыми. Например, перлит, состоящий из феррита и цементита, имеет более темный цвет, чем однородные зерна феррита.

Травление осуществляют погружением полированной поверхности шлифа в реактив или нанесением реактива на поверхность ваткой, пипеткой и т.д. Травление считается законченным, когда полированная поверхность станет слегка матовой. Затем быстро смывают реактив с поверхности шлифа водой, просушивают фильтровальной бумагой, протирают спиртом для удаления влаги и вновь просушивают фильтровальной бумагой.

#### *Принцип действия и устройство металлографического микроскопа*

Металлографический (световой, оптический) микроскоп - прибор для наблюдения и фотографирования структуры непрозрачных объектов в отраженном свете. Микроскоп представляет собой комбинацию двух увеличивающих систем: объектива и окуляра.

Металлографический микроскоп состоит из осветительной, механической и оптической систем (рис. 2).

К осветительной системе относятся: источник света - лампа накаливания 1, набор линз, светофильтров и диафрагм. Набор линз введен в осветительную систему для уменьшения рассеивания световых лучей и повышения четкости изображения. Диафрагмы ограничивают сечение светового луча и позволяют регулировать интенсивность освещения.

Набор светофильтров в виде цветных и матовых стеклянных пластинок позволяет отфильтровать лучи требуемой длины волны, уменьшить хроматическую абберацию и повышать четкость изображения. Кроме того, при работе на микроскопе следует учитывать, что глаза человека обладают повышенной чувствительностью к желто-зеленым цветам.

Механическая система состоит из корпуса 2, предметного столика 3, на который устанавливается микрошлиф, и визуального тубуса 4. Для наблюдения различных участков поверхности микрошлифа предметный столик можно перемещать в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных направлениях винтами 5. Предметный столик с микрошлифом может перемещаться в вертикальном направлении для предварительного наведения на фокус макрометрическим винтом 6, а для точной фокусировки - микрометрическим винтом 7.

Оптическая система является основной системой микроскопа. Она состоит из системы смонтированных в корпус 2 призм и зеркал, обеспечивающих определенное направление лучей

в микроскопе, сменных объективов 8 и окуляров 9 для визуального наблюдения и фотографирования структуры, прилагаемых в комплекте к микроскопу, а также фотокамеры 10.

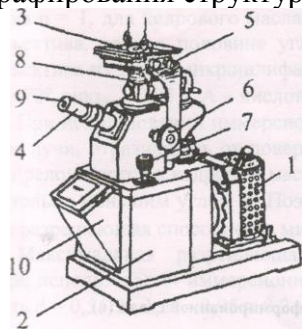


Рис. 2 Общий вид микроскопа МИП-7

Основным элементом оптической системы является объектив, дающий действительное увеличенное обратное изображение рассматриваемой структуры. Окуляр лишь увеличивает изображение, получаемое объективом. При этом с помощью окуляра получается мнимое увеличенное прямое изображение структуры, выявленное объективом.

Объектив состоит из фронтальной плосковыпуклой линзы, дающей увеличение, и ряда коррекционных линз, предназначенных для уменьшения хроматической и сферической aberrаций, возникающих при прохождении лучей через фронтальную линзу.

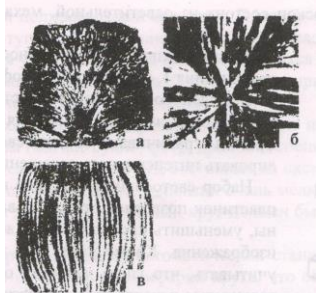


Рис. 3 Микроструктура излома слитков цинка (а), меди (б), деформированной стали (в)

Хроматическая aberrация вызывается неодинаковым преломлением линзой лучей различного цвета, в результате чего луч белого света разлагается линзой на монохроматические лучи, которые не фокусируются в одной точке. В объективе для уменьшения хроматической aberrации белого света устанавливаются коррекционные линзы из специальных материалов, например, плавикового шпата (флюорита). Хроматическую aberrацию можно полностью устранить только применением монохроматического света.

Причина сферической aberrации заключается в том, что лучи, преломляемые краем линзы и ее центральной частью, не сходятся в одной точке, и изображение получается нерезким. Для уменьшения сферической aberrации объектив собирается из выпуклой и вогнутой линз, имеющих одинаковую, но различно направленную aberrацию.

В объективах, дающих большое увеличение, фронтальная линза имеет полушаровую форму, и сферическую aberrацию удается избежать путем помещения шлифа в апланатический фокус, т.е. в особую точку на оптической оси объектива. Такие объективы называются апланатами.

Все объективы в отношении оптических свойств делятся на ахроматы и апохроматы. Апохроматы более сложны, чем ахроматы, но зато дефекты изображения от aberrаций у них сведены до минимума. Апохроматы одновременно являются апланатами. Из-за своей конструкции они дают не плоское, а несколько искривленное изображение, вследствие чего не представляется возможным получить одинаковую резкость в центре и по краям изображения. Поэтому при работе с апохроматами применяют компенсационные окуляры, исправляющие этот недостаток объектива.

В то же время объективы бывают сухие и иммерсионные. Объектив считается иммерсионным, когда между ним и микрошлифом находится слой жидкости, увеличивающий

коэффициент преломления лучей (например, при использовании кедрового масла коэффициент равен 1,51).

Окуляры, прилагаемые к микроскопу, делятся на простые (Гюйгенса), компенсационные и проекционные. Простые окуляры применяются в сочетании с ахроматическими объективами, компенсационные - с ахроматическими, а проекционные - при фотографировании.

Объективы обычно имеют увеличение от 9 до 95 раз, простые окуляры - от 3 до 15, а компенсационные - до 20 раз.

При работе на микроскопе микрошлиф помещают на предметный столик перед объективом, затем макро- и микрометрическими винтами перемещают в вертикальном направлении так, чтобы он находился немного дальше фокуса объектива. При этом последний дает увеличенное действительное изображение структуры, которое с помощью специальной линзы переносится в плоскость, близкую к фокусу окуляра. Он, действуя на луч, дает окончательное (увеличенное и мнимое) изображение структуры.

Разрешающая способность микроскопа и его полезное увеличение имеют важное значение в микроструктурном анализе металлов. Разрешающая способность определяет минимальные детали структуры, которые можно увидеть с помощью микроскопа. Она характеризуется минимальным расстоянием  $<3$  между двумя соседними деталями структуры, которые еще могут быть различимы отдельно, не сливаясь. Разрешающая способность оптического микроскопа определяется дифракционными явлениями и при прямом освещении в отраженном свете соответствует условию

$d = \lambda/2n - \sin \alpha = \lambda/2A$ , где  $\lambda$  - длина волны белого света, равная 0,55 мкм;  $n$  - показатель преломления между объективом и микрошлифом (для воздуха  $n = 1$ , для кедрового масла  $n = 1,51$ );  $\alpha$  - угловая апертура объектива, равная половине угла, под которым виден зрачок объектива из точки микрошлифа, лежащей на оптической оси;  $A$  - числовая апертура, равная  $n \times \sin \alpha$ .

При использовании иммерсионного объектива (рис. 4) световые лучи, отразившись от поверхности микрошлифа под углом  $\alpha$  преломляются в кедровом масле и входят в объектив под значительно меньшим углом  $\varphi$ . Поэтому чем больше  $n$  и  $\alpha$ , тем выше разрешающая способность микроскопа.

Максимальная разрешающая способность микроскопа (при использовании иммерсионного объектива) может составить  $d = 0,55/2 * 1,51 * 0,95 = 0,2$  мкм.



Рис. 4 Влияние коэффициента преломления среды на ход световых лучей в сухом и иммерсионном объективе

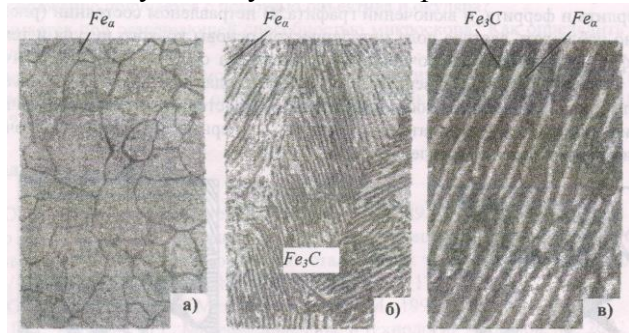


Рис.5 Микроструктура железа (а) и стали (б,в)

Поскольку разрешающая способность человеческого глаза составляет 0,3 мм, т.е. две точки видны для глаза отдельно, если расстояние между ними 0,3 мм = 300 мкм, тогда

максимальное полезное увеличение, при котором полностью реализуется его разрешающая способность, равно 1500. В соответствии с этим металлографические микроскопы имеют максимальное увеличение при визуальном наблюдении не более 1500 раз.

При исследовании структуры металла объектив выбирают, исходя из необходимого полезного увеличения микроскопа, определяемого из выражения  $M=300/d'$ , где  $d'$  - минимальный размер интересующих деталей структуры в мкм. Зная  $M$ , можно по табл. 3 определить соответствующую числовую апертуру и выбрать объектив и окуляр.

В практике металлографических исследований иногда приходится в ущерб разрешающей способности повышать контрастность изображения и увеличивать глубину резкости, характеризуемую величиной вертикального смещения деталей микроструктуры, что не приводит к потере фокусировки; при более рельефной поверхности микрошлифа целесообразно использовать объективы с малой апертурой. Контрастность изображения растёт до тех пор, пока общее увеличение микроскопа не превысит полезного увеличения. Поэтому увеличение окуляра не должно быть очень высоким, так как это вызовет различное изображение деталей структуры.

С помощью металлографического микроскопа может быть выполнен как качественный, так и количественный микроструктурный анализ, например, измерение величины зерна, размера включений графита в чугунах, глубины цементированного слоя и др. Измерение деталей изучаемой структуры осуществляется с помощью окуляр-микрометра - окуляра, в который вставлено стекло с нанесенной шкалой. Цена деления окуляр-микрометра определяется увеличением микроскопа (произведением увеличений объектива и окуляра), для точного определения которого в качестве объекта используется специальная пластинка с микрометрической шкалой (объект-микрометр), на которой нанесены через каждые 0,01 мм деления на общей длине 1 мм.

Для определения цены деления окуляр-микрометра на предметный столик вместо микрошлифа устанавливается объект-микрометр, и после наведения на фокус происходит совмещение шкал обоих микрометров (рис. 6).

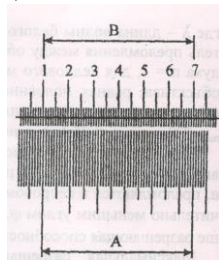


Рис. 6 Совмещение шкалы объект-микрометра (А) и окуляр-микрометра (В)

Цена деления окуляр-микрометра равна  $C_{ок} = C_{об} \cdot A/B$ , где  $C_{об}$  - цена деления объект-микрометра, равная 0,01 мм; А и В - соответственно число совмещенных делений объект-микрометра и окуляр-микрометра.

После определения цены деления окуляр-микрометра им, как обычной линейкой, можно измерить любой исследуемый элемент структуры микрошлифа, помещенного на предметный столик вместо объект-микрометра.

#### *Микроструктурный анализ ковкого феррито-перлитного чугуна*

Одним из объектов микроструктурного анализа в работе является ковкий феррито-перлитный чугун, состоящий из металлической основы в виде зерен перлита и феррита, и включений графита. В нетравленном состоянии (рис. 7 а) под микроскопом можно наблюдать светлое поле металлической основы ковкого чугуна и темные (черные) хлопьевидной формы графитные включения. Кроме того, на светлом поле металлической основы можно увидеть трещины, раковины, твердые и мягкие (со следами от них на поле металлической основы) неметаллические включения. После травления выявляется структура металлической основы. При наблюдении в микроскоп просматриваются темные (черные) графитные включения, светлые зерна феррита и темные (серые) зерна перлита (рис. 7 б)

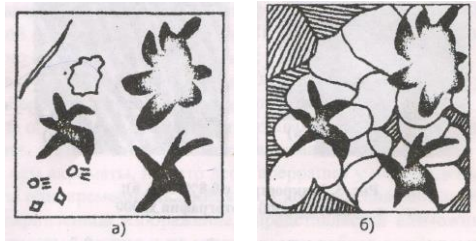


Рис. 7 Схема микроструктуры ковкого чугуна в нетравленном состоянии (а), после травления (б)

При больших увеличениях микроскопа выявляется двухфазное строение перлита в виде светлых пластин феррита и цементита, которое и следует изображать на схемах микроструктур. Наблюдаемая картина строения ковкого чугуна обусловлена характером отражения световых лучей от различных участков структуры микрошлифа.

#### **Методика выполнения работы**

1. Изучите методические основы и приемы микроструктурного анализа металлов.
2. Изучите микроструктуру различных металлических материалов.
3. Подготовьте микрошлиф образца ковкого феррито-перлитного чугуна.
4. Изобразите схему структуры ковкого феррито-перлитного чугуна в нетравленном состоянии и после травления 4%-ным спиртовым раствором НМОз.

#### **Содержание отчета**

1. Поставить цель работы.
2. Определить микроструктуру, описать принцип видимости под металлографическим микроскопом.
3. Дать краткое описание устройству металлографического микроскопа, определить его разрешающую способность и полезное увеличение, описать возможности количественного микроструктурного анализа.
4. Описать методику приготовления микрошлифа.
5. Нарисовать схему микроструктуры ковкого феррито-перлитного чугуна в нетравленном состоянии, дать его микроструктурный анализ.
6. Описать методику травления микрошлифа.

#### **Контрольные вопросы**

1. Что называется микроструктурой?
2. На чем основан принцип видимости под металлографическим микроскопом?
3. Какие операции включает в себя процесс приготовления микрошлифа?
4. Какова методика приготовления микрошлифа?
5. Что можно наблюдать при рассмотрении в микроскоп микрошлифа в нетравленном состоянии и после травления?
6. С какой целью производится травление поверхности микрошлифа?
7. Какое изображение получается с помощью объектива и окуляра?
8. Что понимается под разрешающей способностью микроскопа? Как определить его максимальное полезное увеличение?
9. Как определить цену деления окуляр-микрометра? Как измерить величину одного из элементов структуры?

## Лабораторная работа

### Анализ диаграммы железо-цементит

**Цель работы:** изучить линии, точки и области диаграммы железо-цементит, ее фазы и структуры превращения в сплавах с различным содержанием углерода при нагревании и охлаждении, применение правил фаз и отрезков.

#### Краткие теоретические положения

Диаграмма железо-цементит (рис. 1) служит основой для уяснения процессов, происходящих при нагревании и охлаждении железоуглеродистых сплавов (сталей и чугунов). В железоуглеродистых сплавах при нагревании или охлаждении получают следующие структурные составляющие: феррит, аустенит, цементит, перлит, ледебурит. В таблице 1 приведена характеристика структурных составляющих железоуглеродистых сплавов.

Анализ диаграммы в настоящей работе проводится по упрощенной диаграмме, без ее левого верхнего уголка. При анализе рассматриваются линии и точки диаграммы (табл. 2 и 3), применяются правила фаз и отрезков.

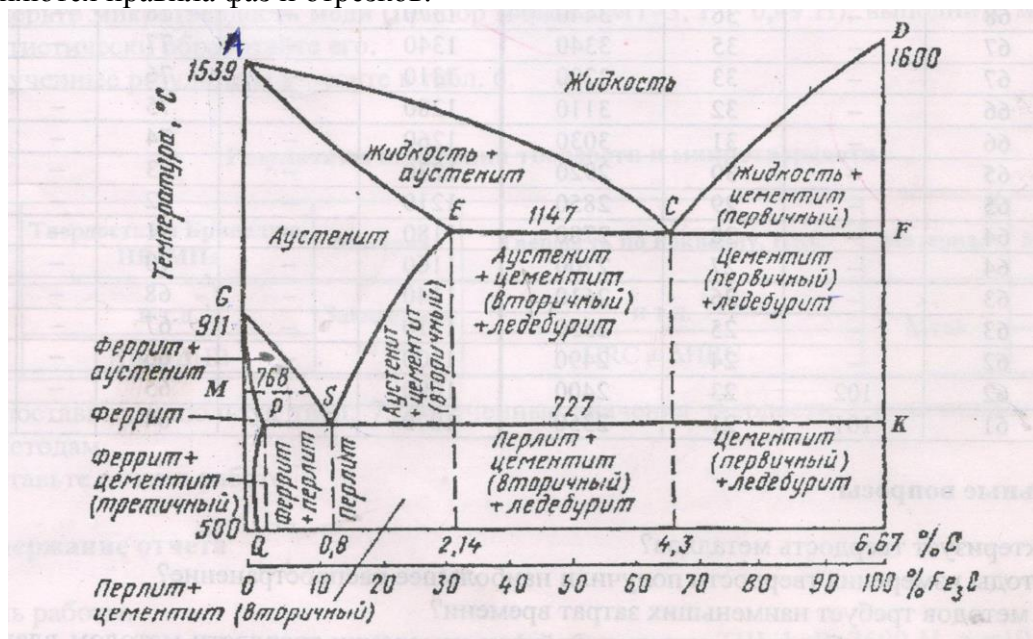


Рис. 1 Диаграмма состояния железо-цементит

Анализ диаграммы в данной работе проводится по упрощенной диаграмме. При анализе рассматриваются линии и точки диаграммы, применяются правила отрезков и фаз. Выше линии AC все сплавы находятся в жидком состоянии, и число степеней свободы  $C = K - \Phi + 1 = 2 - 1 + 1 = 2$  (см. рис. 1). Это значит, что сплавы можно нагревать и охлаждать, менять их концентрацию и они остаются жидкими в состоянии равновесия. Между линиями AC и AEC и линиями CD и CP сплавы двухфазны, состоят из твердой фазы и жидкости, и при этом число степеней свободы равно  $C = 2 - 2 + 1 = 1$  (табл. 2). Из вышеуказанного следует, что система в данных областях располагает одной степенью свободы, и для сохранения ее равновесия можно менять лишь один фактор равновесия - либо температуру, либо концентрацию. Две фазы и одна степень свободы имеются также во всех других областях диаграммы, кроме аустенитной, где между линиями AE и GSE система однофазна и располагает двумя степенями свободы  $C = 2 - 1 + 1 = 2$ . На горизонтальных линиях ECP и PSK система трехфазна, и число степеней свободы  $C = 2 - 3 + 1 = 0$  (см. табл. 2). На линии ECF при охлаждении образуется ледебурит, на линии PSK - перлит. Нулевая степень свободы на этих линиях обуславливает строго постоянные температуры при образовании ледебурита (1147 °C) и перлита (727 °C). Из таблицы 3 видно, что две фазы и одну степень свободы имеют все кривые линии и точки A, D, G, Q; три фазы и нулевую степень свободы - точки P, S, E, C; в точках K и F фазовых превращений нет.



Таблица 1

## Характеристика структурных составляющих железоуглеродистых сплавов

Название структуры	Типы структуры	Содержание углерода	Число фаз	Механические свойства			Характеристика структуры
				$\sigma_B$ , кгс/мм <sup>2</sup>	$\sigma$ , %	НВ, кгс/мм <sup>2</sup>	
Феррит	Твердый раствор С в $\alpha$ -Fe с ограниченной растворимостью	от 0,006 (при 0 <sup>0</sup> C) до 0,025 (при 727 <sup>0</sup> C)	1	30	40	80-100	пластинчатая
Аустенит	Твердый раствор С в $\gamma$ -Fe с ограниченной растворимостью	от 0,08 (при 727 <sup>0</sup> C) до 2,14 (при 1147 <sup>0</sup> C)	1	60	60	180-200	пластичная
Цементит	Химическое соединение Fe с C (Fe <sub>3</sub> C)	6,67	1	200	0	800	твердая, хрупкая
Перлит	Механическая смесь феррита и цементита	0,8	2	60	20	200	средняя пластичность и прочность
Ледебурит	Механическая смесь перлита и цементита	4,3	2	100	1-2	450-500	твердая, хрупкая

Таблица 2

## Фазовые превращения на линиях диаграммы железо-цементит

Обозначение линий	Фазовые превращения на линиях	Перечень фаз	Кол-во фаз	Число степеней свободы
AC	Начало выделения аустенита из жидкости	Аустенит+жидкость	2	1
AE	Конец выделения аустенита из жидкости	Аустенит+жидкость	2	1
EC	Конец выделения аустенита из жидкости и образование ледебурита	Аустенит+цементит+жидкость	3	0
CD	Начало выделения цементита (первичного) из жидкости и образование ледебурита из жидкости	Жидкость+цементит	2	1
CF	Конец выделения цементита (первичного) из жидкости и образование ледебурита из жидкости	Жидкость+цементит+аустенит	3	0
ECF	Образование ледебурита из жидкости	Жидкость+аустенит+цементит	3	0
GS	Начало выделения феррита из аустенита	Аустенит+феррит	2	0
GP	Конец выделения феррита из аустенита	Аустенит+феррит	2	1
PS	Конец выделения феррита из аустенита и образование перлита из аустенита	Аустенит+феррит+цементит	3	0
PSK	Образование перлита из аустенита	Аустенит+феррит+цементит	3	0
SE	Начало выделения цементита (вторичного)	Аустенит+цементит	2	1
SK	Конец выделения цементита (вторичного) из аустенита и образование перлита из аустенита	Аустенит+цементит+феррит	3	0
PQ	Начало выделения цементита (третичного) из феррита	Феррит+цементит	2	1

Линии диаграммы

*ABCBD* (линия ликвидус - место точек начала кристаллизации) и *AHJECF* (линия солидус - место точек конца кристаллизации) характеризуют начало и конец первичной кристаллизации, происходящей при затвердевании жидкой фазы.

Линии *ES* и *PQ* показывают предельную растворимость углерода соответственно в аустените и феррите. При понижении температуры растворимость уменьшается и избыток

углерода выделяется в виде цементита. Цементит, выделяющийся из жидкого сплава, принято называть первичным, из аустенита - вторичным, из феррита - третичным.

Три горизонтальные линии *HJB*, *ECF* и *PSK* указывают на протекание трех превращений при постоянной температуре. При 1499°C (горизонталь *HJB*) происходит перитектическая реакция  $L_B + \Phi_H \rightarrow A_J$ . В результате реакции образуется аустенит. При 1147°C (горизонталь *ECF*) протекает эвтектическая реакция  $L_C \rightarrow A_E + \Psi$  (жидкость, состав которой соответствует точке С, превращается в эвтектическую смесь аустенита, состав которого соответствует точке *E*, и цементита, называемую ледебуритом).

Таблица 3

Фазовые превращения в точках диаграммы

Обозначение точек	Фазовые превращения	Содержание С, %	Температура, °С	Перечень фаз	Кол-во фаз/степени свободы
A	Температура плавления и затвердевания чистого Fe	0	1539	Жидкость+ кристаллы Fe	2/-
D	Температура плавления и затвердевания цементита	6,67	1680	Жидкость+ цементит (I)	2/-
C	Плавление и образование ледебурита	4,3	1147	Жидкость+ цементит +аустенит	3/0
E	Максимальное растворение С в аустените	2,14	1147	Жидкость+ цементит +аустенит	3/0
S	Минимальное растворение С в аустените	0,8	727	Аустенит+ феррит+ цементит	3/0
G	Превращение $\gamma$ -Fe в $\alpha$ -Fe или наоборот	0	911	$\gamma$ -Fe+ $\alpha$ -Fe	2/-
P	Максимальное растворение С $\alpha$ -Fe	0,025	727	Аустенит+ феррит_+ цементит (II)	3/0
Q	Минимальное растворение С $\alpha$ -Fe	0,006	0	Феррит+ цементит (III)	2/1
K	нет	6,67	727	Цементит (I)	1/-
F	нет	6,67	1147	Цементит (I)	1/-
M	Магнитные превращения	0	768	Чистое Fe	1/-

При 727 °С (горизонталь *PSK*) протекает эвтектоидная реакция  $A \rightarrow \Phi_P + \Psi$  (в отличие от эвтектики, образующейся из жидкости, эвтектоид возникает из твердых фаз). Продукт превращения - эвтектоидная смесь феррита и цементита, называемая перлитом. Перлит чаще имеет пластинчатое строение, т.е. состоит из чередующихся пластинок феррита и цементита. После специальной термической обработки перлит может иметь зернистое строение.

Сплавы железа с углеродом, содержащие до 0,02% С, называют *техническим железом*.

Сплавы железа с углеродом при содержании углерода от 0,02 до 2,14% носят название *сталей* (от 0,02 до 0,8% - *доэвтектоидные стали*, от 0,8 до 2,14 % - *заэвтектоидные стали*).

Сплавы железа с углеродом , содержащие от 2,14 до 6,67 %С называются *чугунами* (от 2,14 до 4,3 % С – *доэвтектические*, от 4,3 до 6,67 %С - *заэвтектические* чугуны).

Правилом отрезков или правилом рычага пользуются уже определения процентного и весового состава жидкой и твердой фаз или двух различных твердых фаз (количество структурных составляющих и их концентраций). В двухфазных областях в любой точке можно определить количество фаз и их концентрацию, используя правило отрезков. Например, определим химический состав и количество фаз для сплава системы *железо-цементит* в точке *a*, находящейся в области *GSP* (рис. 2). В этой области структурные составляющие феррит и аустенит. Проведем горизонтальную линию через точку *a* до пересечения с линиями *GP* (точка *b*) и *GS* (точка *c*). Проекция точки *b* (*b'*) указывает химический состав феррита, а проекция точки *c* (*c'*) – состав аустенита. Количество аустенита:  $\frac{ba}{bc} \cdot 100\%$ . Количество феррита:  $\frac{ac}{bc} \cdot 100\%$ .

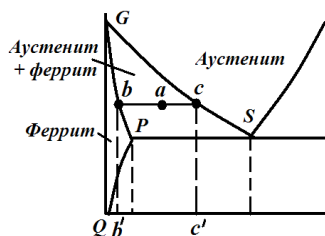


Рис. 2. Использование правила отрезков для анализа диаграммы

Рассмотрим кристаллизацию некоторых сплавов, содержащих различное количество углерода. При анализе кристаллизации доэвтектоидной стали проведем для примера расчет числа степеней свободы по формуле  $s = k - f + 1$ , где  $s$  – число степеней свободы,  $k$  – количество компонентов,  $f$  – число фаз. Кристаллизация доэвтектоидной стали, содержащей более 0,51 %C (рис. 3), начинается в точке 1, где в жидкой фазе зарождаются первые зерна аустенита, и заканчивается в точке 2. В процессе кристаллизации состав жидкой фазы изменяется по линии ликвидус *BC*, а аустенита - по линии солидус *JE*. Между точками 1 и 2 число степеней свободы  $s = 2 - 2 + 1 = 1$  (два компонента – железо и углерод, две фазы – жидкость и аустенит), следовательно, процесс может идти со снижением температуры.

После затвердевания сплав имеет однофазную структуру аустенита. Между точками 2 и 3 идет охлаждение аустенита. Между точками 2 и 3 число степеней свободы  $s = 2 - 1 + 1 = 2$  (два компонента – железо и углерод, одна фаза – аустенит), следовательно, процесс может идти со снижением температуры. В интервале от точки 3 до точки 4 происходит превращение аустенита - выделяя низкоуглеродистый феррит, аустенит обогащается углеродом в соответствии с линией *GS* и в точке 4 концентрация углерода в нем достигает эвтектоидной - 0,8%С. Между точками 3 и 4 число степеней свободы  $s = 2 - 2 + 1 = 1$  (два компонента – железо и углерод, две фазы – аустенит и цементит), следовательно, процесс может идти со снижением температуры. При постоянной температуре 727 °С (площадка 4-4') происходит эвтектоидное превращение  $A \rightarrow \Phi_P + \text{Ц}$  аустенита в мелкодисперсную механическую смесь феррита и цементита, называемую перлитом. В точке 4 число степеней свободы  $s = 2 - 3 + 1 = 0$  (два компонента – железо и углерод, три фазы – аустенит, феррит и цементит), что подтверждает выделение перлита при постоянной температуре. При дальнейшем охлаждении до точки 5 происходит выделение из феррита избыточного углерода (в связи с понижением растворимости по линии диаграммы *PQ*) в виде третичного цементита. Между точками 4 и 5 число степеней свободы  $s = 2 - 2 + 1 = 1$  (два компонента – железо и углерод, две фазы – феррит и цементит), следовательно, процесс может идти со снижением температуры. Конечная структура  $\Phi + \text{Ц} + \text{Ц}_{III}$  (феррито-перлитная).

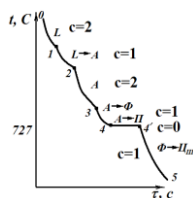


Рис. 3. Кривая охлаждения доэвтектоидной стали

Количественное соотношение между ферритом и перлитом в доэвтектоидных сталях определяется содержанием углерода (чем выше содержание углерода, тем больше перлита).

Кристаллизация заэвтектоидных сталей (рис. 4) начинается в точке 1 выделением из жидкого расплава аустенита и заканчивается в точке 2. Состав жидкого расплава изменяется по линии  $BC$ , а аустенита - по линии  $JE$ . После затвердевания сплав имеет однофазную структуру аустенита. При дальнейшем охлаждении от точки 2 до точки 3 структурных превращений сталь не претерпевает, идет простое охлаждение. В интервале точек 3-4 происходит выделение вторичного цементита в связи с уменьшением растворимости углерода в аустените согласно линии  $ES$  диаграммы. При медленном охлаждении цементит выделяется по границе аустенитных зерен. Состав аустенита изменяется согласно линии  $ES$  и в точке 4 при температуре  $727^\circ\text{C}$  аустенит содержит  $0,8\%$   $C$ . На линии  $SK$  (на кривой - площадка 4-4') происходит эвтектоидное превращение аустенита в перлит.

При дальнейшем охлаждении ниже точки 4 из феррита, входящего в перлит, выделяется третичный цементит. Третичный цементит, наслаиваясь на кристаллы вторичного цементита и цементита перлита, не оказывает заметное влияние на свойства. Поэтому при рассмотрении структур заэвтектоидных сталей о третичном цементите обычно не упоминают. Конечная структура  $\text{П} + \text{Ц}_{\text{II}} + \text{Ц}_{\text{III}}$  - перлито-цементитная.

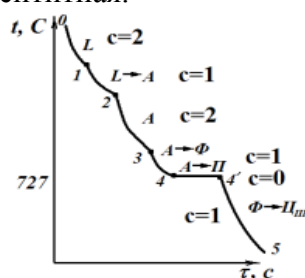


Рис. 4. Кривая охлаждения заэвтектоидной стали

Доэвтектические чугуны (рис. 5) начинают кристаллизацию в точке 1, где при последующем охлаждении происходит выделение из жидкой фазы кристаллов аустенита переменного состава, концентрация которого определяется линией  $JE$ , а жидкого расплава - линией ликвидус  $BC$ . В точке 2 содержание углерода в расплаве достигает  $4,3\%$  и при постоянной температуре  $1147^\circ\text{C}$  оставшийся расплав кристаллизуется в эвтектику (дисперсную смесь аустенита, содержащего  $2,14\%C$ , и цементита), называемая ледебуритом  $L_C \rightarrow A_E + \text{Ц}$ . Ледебурит имеет сотовое или пластинчатое строение. При дальнейшем охлаждении (участок 2 - 3) аналогично заэвтектоидной стали из аустенита (структурно свободного и входящего в состав ледебурита) выделяется избыточный углерод в виде вторичного цементита. Аустенит при этом обедняется углеродом и при температуре  $727^\circ\text{C}$  приобретает состав, соответствующий эвтектоидному. В точке 3 начинается эвтектоидное превращение аустенита в перлит при постоянной температуре  $727^\circ\text{C}$  (площадка 3-3'). Перлит образуется из структурно свободного аустенита и из аустенита, входящего в состав ледебурита. Ледебурит, состоящий из смеси цементита и перлита, носит название видоизмененного ледебурита  $L_{\text{вид}}$  ( $\text{П} + \text{Ц}$ ) в отличие от ледебурита состава  $L$  ( $A + \text{Ц}$ ). При дальнейшем охлаждении от точки 3' до точки 4 происходит выделение избыточного углерода из феррита, входящего в перлит и видоизмененный ледебурит, в виде третичного цементита, наслаивающегося на цементит перлита и ледебурита. Третичный цементит не влияет на свойства чугунов из-за незначительного количества, по сравнению с общим количеством цементита в чугунах. Конечный состав доэвтектического чугуна  $\text{П} + L_{\text{вид}} + \text{Ц}_{\text{III}}$ , поэтому такой чугун называют перлитно-ледебурито-цементитным чугуном.

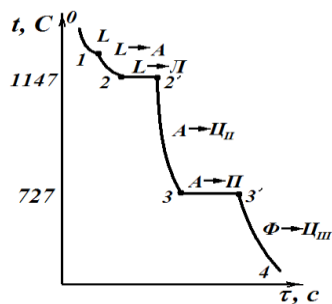


Рис. 5. Кривая охлаждения доэвтектического чугуна

Кристаллизация заэвтектических чугунов (рис. 6) начинается в точке 1 выделением из жидкого расплава первичного цементита. При этом состав расплава изменяется по линии  $DC$ . Выделяя высокоуглеродистую фазу - цементит, расплав обедняется углеродом и при температуре  $1147^{\circ}\text{C}$  содержит  $4,3\% \text{C}$ . При постоянной температуре расплав кристаллизуется с образованием ледебурита. При дальнейшем охлаждении из аустенита, входящего в ледебурит, выделяется избыточный углерод в виде вторичного цементита, и состав аустенита изменяется по линии  $ES$ . При достижении температуры  $727^{\circ}\text{C}$  аустенит, содержащий  $0,8\% \text{C}$ , превращается в перлит  $A \rightarrow \Phi_P + \text{Ц}$  и образуется видоизмененный ледебурит. При дальнейшем охлаждении от точки  $3'$  до точки 4 из феррита, входящего в состав перлита видоизмененного ледебурита, выделяется избыточный углерод согласно кривой  $PQ$  в виде третичного цементита, наслаивающегося на цементит перлита. Конечная структура заэвтектического чугуна  $L_{\text{вид}} + \text{Ц}_I + \text{Ц}_{II}$  носит название ледебуритно-цементитного чугуна.

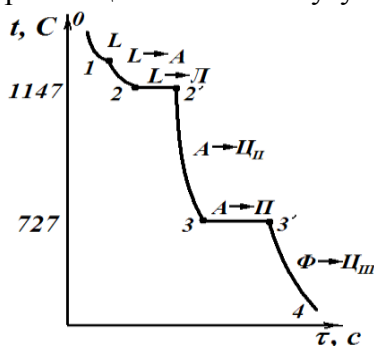


Рис. 6. Кривая охлаждения заэвтектического чугуна

Таким образом, у всех сталей, содержащих менее  $2,14\% \text{C}$ , в результате первичной кристаллизации получается структура аустенита, а после затвердевания не содержится хрупкой структурной составляющей - ледебурита; у всех чугунов, содержащих более  $2,14\% \text{C}$ , структура первичной кристаллизации состоит из ледебурита с первичным аустенитом или цементитом, а при комнатной температуре структура состоит из видоизмененного ледебурита, цементита и, у доэвтектического чугуна, перлита. Стали при высоком нагреве имеют аустенитную структуру, обладающую высокой пластичностью, поэтому они легко деформируются при нормальных и повышенных температурах. Чугуны обладают лучшими литейными свойствами, в том числе более низкой температурой плавления и имеют меньшую усадку.

#### *Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей*

*Углерод* - основной элемент, оказывающий определяющее влияние на свойства и структуру стали. Увеличение содержания углерода в стали до  $0,8\%$  приводит к повышению прочностных свойств, твердости и снижению пластичности (рис.7) за счет замены мягкого феррита на более прочный перлит. Снижение прочности при содержании углерода свыше  $0,8\%$  в сталях, не подвергнутых термической обработке, связано с появлением хрупкой цементитной сетки по границам перлитных зерен.

Постоянными примесями в сталях считают марганец, кремний, фосфор, серу, а также газы (водород, азот, кислород).

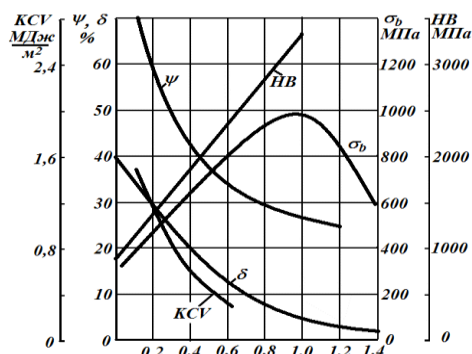


Рис. 7. Влияние углерода на механические свойства сталей ( $\sigma_b$  – временное сопротивление разрыву; НВ – твердость по Бринелю; KCV – ударная вязкость (характеристика надежности);  $\delta$  – относительное удлинение;  $\psi$  - относительное сужение)

*Марганец* вводится в сталь для раскисления (удаления кислорода) и устранения вредного влияния сернистых соединений железа. Марганец повышает прочность горячекатанной стали. Содержание марганца в стали 0,3 - 0,8%.

*Кремний* раскисляет сталь и сохраняется в ней до 0,4%.

*Фосфор* - вредная примесь, содержащаяся в рудах железа и топливе. Растворяясь в феррите, фосфор вызывает хладоломкость стали, т.е. хрупкость при низких температурах.

*Сера* - вредная примесь, попадающая в металл из руды и топлива и вызывающая красноломкость - хрупкость при 800°C и выше, что препятствует горячей обработке давлением.

*Водород, азот, кислород* могут растворяться в металле или образовывать неметаллические включения (нитриды, оксиды). И в том, и в другом случае стали охрупчиваются.

#### Порядок выполнения работы

1. Изучить структурные составляющие диаграммы железо-цементит по содержанию углерода, числу фаз, кристаллическим решеткам и свойствам.

2. Изучить структурные превращения железоуглеродистых сплавов по диаграмме железо-цементит при нагреве и охлаждении.

3. Выработать навыки по применению к диаграмме железо-цементит правила фаз и правила отрезков с пояснением условий для сохранения сплавов в равновесном состоянии. Научиться определять процентный и количественный состав сплавов.

4. Приобрести навыки вычерчивания кривых охлаждения и нагревания по диаграмме состояния сплавов с применением правила фаз Гиббса.

5. Изучить влияние примесей на свойства сталей.

#### Содержание отчета

В отчет необходимо включить:

- схему диаграммы состояния сплавов железо-цементит;
- описание фаз, структур железоуглеродистых сплавов и их свойства, две кривые охлаждения для стали и чугуна с любым содержанием углерода (табл. 1), построенные по диаграмме железо-цементит, описание на основе этих кривых фазовых превращений, происходящих в сплавах при нагревании и охлаждении, с применением правила фаз и правил отрезков.

Таблица 4

Исходные данные для анализа процесса кристаллизации железоуглеродистых сплавов в равновесных условиях

Номер варианта	Содержание углерода в сплаве, %	Температура, t, °C
1	0,1	650
2	0,2	750
3	0,25	1200
4	0,3	1480
5	0,4	700
6	0,45	800
7	0,5	740
8	0,6	900
9	0,7	1000
10	0,8	1450
11	1	1400
12	1,5	800
13	2	1300
14	2,5	700
15	3	900
16	3,5	1200
17	4	800
18	4,3	1147
19	5	650
20	5,5	1000
21	6	1200
22	6,5	1100
23	6,8	770
24	0,55	1250
25	4,7	1400

### Лабораторная работа Микроструктура чугуна

**Цель работы:** изучение микроструктуры чугуна.

#### Краткие теоретические положения

Чугоном называется железоуглеродистый сплав с содержанием углерода более 2,14% (последние данные 2,06% ).

Промышленный чугун, кроме основных компонентов железа и углерода, содержит постоянные примеси (кремний, марганец, серу, фосфор и др.), как правило, в больших количествах, чем углеродистая сталь.

Основой для изучения чугуна, как и стали, являются диаграммы состояния систем железо-цементит и железо-графит.

В зависимости от скорости охлаждения, содержания примесей, модифицирования и последующей термической обработки может быть получен чугун белый, серый, ковкий, высокопрочный.

Белый чугун не содержит графита; в его структуре углерод полностью находится в химически связанном состоянии в виде цементита (карбида железа  $Fe_3C$ ). В структуре серого, ковкого и высокопрочного чугуна углерод частично или полностью находится в свободном состоянии в виде графита различной формы. В сером чугуне форма графита пластинчатая (рис. 1 а, б) в ковком - хлопьевидная (рис. 1 в), в высокопрочном - шаровидная (рис. 1 г).

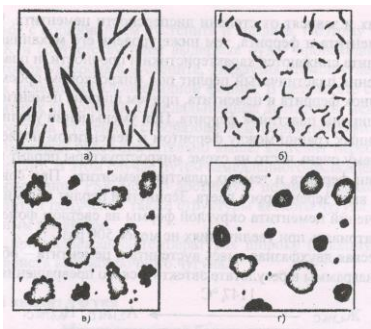


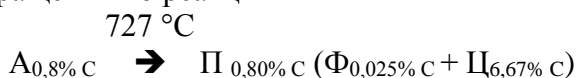
Рис. 1 Схемы микроструктур чугуна серого (а- крупный прямолинейный пластинчатый графит; б- мелкий завихренный пластинчатый графит), ковкого (в – хлопьевидный графит), высокопрочного (г- шаровидный графит) в нетравленном состоянии

При нормальной (комнатной) температуре чугун состоит из следующих фаз: феррита, цементита и графита, - образующих однофазные: феррит, цементит, графит - и двухфазные: перлит, ледебурит -структурные составляющие.

Феррит представляет собой ограниченный твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе, имеет объемноцентрированную кубическую кристаллическую решетку, твердость HB600...800 МПа, очень пластичен, ферромагнитен до температуры 768 °С. На диаграмме состояния железо-цементит занимает две области: АНН и GPC). Максимальное содержание углерода в феррите составляет 0,025% при температуре 727 °С (точка P диаграммы) и 0,0067% при нормальной температуре (точка Q диаграммы). Микроструктура феррита состоит из однородных зерен светлой или зачастую различной окраски, что объясняется неодинаковой травимостью зерен, срезанных по различным кристаллографическим плоскостям при изготовлении микрошлифа .

Цементит - химическое соединение  $Fe_3C$ , представляющее собой карбид железа, содержащий 6,67% углерода, имеет сложную кристаллическую решетку с плотной упаковкой атомов, обладает высокой твердостью HB 10000 МПа и хрупкостью. После обычного травления с использованием универсального реактива - 4% раствора азотной кислоты в этиловом спирте - цементит, как и феррит, просматривается в микроскопе в виде светлых участков. Вследствие слабой растворимости цементита в кислотах его участки в структуре выступают над окружающим ферритом и остаются более гладкими и блестящими по сравнению с ферритом. Для четкого выявления цементита можно применять специальное травление пикратом натрия, после которого цементит окрашивается в темный цвет, а феррит остается светлым. Различают первичный цементит (Ц), кристаллизующийся из жидкой фазы в виде игл или пластин у сплавов, содержащих более 4,3% углерода; вторичный (Ц<sub>п</sub>), выделяющийся при вторичной кристаллизации из аустенита по границам его зерен у сплавов с содержанием углерода более 0,8%; третичный (Ц<sub>т</sub>), выделяющийся при кристаллизации из феррита по границам его зерен у всех сплавов с содержанием углерода более 0,0067%. Начало первичной кристаллизации цементита соответствует температурам линии DC диаграммы состояния железо-цементит (1252— 1147 °С), начало выделения вторичного цементита - температурам линии ES (1147-727 °С), начало выделения третичного цементита - температурам линии PQ.

Перлит представляет собой эвтектоидную смесь двух фаз - феррита и цементита, - которая образуется при температуре линии PSK диаграммы (727 °С) в результате эвтектоидного превращения по реакции



В зависимости от формы цементита различают пластинчатый перлит с межпластиночным расстоянием более 0,3 мкм, получаемый в результате отжига, и зернистый перлит, получаемый путем специальной термической обработки. Твердость HB пластинчатого и зернистого перлита составляет соответственно 2000-2500 МПа и 1600-2200 МПа и зависит от степени измельченности (дисперсности) цементита. Другие характеристики механических свойств



перлита также обуславливаются свойствами его фазовых составляющих и зависят от степени дисперсности цементита. Чем крупнее составляющие перлит пластинки цементита и феррита, тем ниже уровень его механических свойств, причем у крупнопластинчатого перлита снижаются характеристики и прочности, и пластичности.

После обычного травления пластинчатый перлит под микроскопом просматривается в виде чередующихся светлых пластинок феррита и цементита, причем ширина цементитных пластинок приблизительно в 7 раз меньше ширины пластинок феррита. При уменьшении увеличения микроскопа в связи со слиянием растравленных границ между ферритом и цементитом последний просматривается в виде темных пластин, почему очень часто на схеме микроструктуры перлит изображают в виде чередующихся светлых пластинок феррита и темных пластинок цементита. При совсем малых увеличениях перлит просматривается в виде зерен серого цвета. Зернистый перлит под микроскопом просматривается в виде светлых включений цементита округлой формы на светлом фоне феррита. Строение перлита рассматривают при увеличениях не менее 500 раз.

Ледебурит - эвтектическая двухфазная смесь аустенита и цементита - образуется при температуре линии ECF (1147 °C) диаграммы в результате эвтектического превращения. Выявленный металлографически как смесь, ледебурит по своей природе представляет собой бикристаллическое образование, двухфазный бикристалл.

При дальнейшем охлаждении в соответствии с линией E8 диаграммы происходит выделение из аустенита вторичного цементита и после достижения аустенитом эвтектоидного состава при температуре линии P8K (727 °C) - эвтектоидное превращение, в связи с чем при температурах ниже 727 °C ледебурит представляет собой двухфазную смесь перлита и цементита. Ледебурит тверд (~ HB7000 МПа) и хрупок. Под микроскопом ледебурит просматривается в виде темных включений перлита на светлом фоне цементита.

Графит представляет собой аллотропическую модификацию углерода с кристаллической решеткой типа гексагональной, имеет слоистое строение, ничтожно малые значения прочностных характеристик, его влияние на металлическую основу чугуна сказывается подобно действию надрезов. Графит обладает смазывающим действием, под микроскопом имеет вид темных включений.

Все чугуны, кроме белого, получают в результате графитизации и, как конструкционный материал, находят широкое применение в машиностроении.

Процесс кристаллизации графита как из жидкой фазы при затвердевании чугуна, так и из твердой фазы (аустенита) называется графитизацией.

Образование структуры чугуна в процессе графитизаций можно рассматривать по двойной - совмещенной диаграмме состояния систем железо-графит и железо-цементит, а также с успехом можно объяснить по диаграмме состояний железо-цементит.

На процесс кристаллизации графита, в основном, оказывают влияние химический состав чугуна и скорость охлаждения.

Химические элементы, входящие в состав чугуна, оказывают различное влияние на процесс графитизации.

Углерод способствует процессу графитизации чугуна. Кремний-графитообразующий элемент - способствует кристаллизации графита из жидкого и твердого растворов или разложению цементита при нагреве по реакции

Ц —► А+Г, Наличие в чугуне элементов - алюминия, никеля, меди, оксидов кремния, алюминия нитридов алюминия, нерастворившихся частиц графита, также благоприятно влияет на графитизацию чугуна. Сера и марганец при повышенном содержании тормозят образование графита и, подобно ускоренному охлаждению, вызывают «отбел» в чугуне.

Быстрое охлаждение препятствует графитизации чугуна. Медленное охлаждение оказывает положительное влияние на процессы графитизации, и чем меньше скорость охлаждения, тем более полно они завершаются. Поэтому для получения структуры серого чугуна в его состав вводится 2,5-4% углерода, 1-4% кремния и осуществляется медленное

охлаждение отливок в литейных формах. При затвердевании и медленном охлаждении серого чугуна графит пластинчатой формы выделяется как из жидкой фазы, так и из твердого раствора - аустенита. Структура чугуна после графитизации, разумеется, будет состоять из металлической основы и неметаллических графитных включений. Металлическая основа чугуна после графитизации определяется по диаграмме состояния железо-цементит в зависимости от содержания в чугуне оставшегося связанного углерода в виде цементита.

В железоуглеродистых сплавах, кроме описанного процесса образования графита при кристаллизации серого чугуна, возможен и другой путь графитизации. Образовавшийся в структуре белого чугуна цементит является неустойчивым (нестабильным) соединением и при определенных условиях нагреве) может распадаться с образованием аустенита и графита. Поэтому в белом чугуне при температуре выше линии P8K и соответствующей выдержке будет происходить графитизация-распад цементита, растворение атомов углерода в аустените, диффузия атомов углерода к центрам кристаллизации и рост графитных включений хлопьевидной формы. В результате структура будет состоять из зерен аустенита и графитных включений. При дальнейшем достаточно медленном охлаждении 10-20°/час можно добиться распада аустенита с образованием феррито-графитной структуры ковкого чугуна. Если скорость охлаждения будет значительно выше, аустенит переохладится до линии P8K (727 °C) и превратится в перлит. В этом случае путем замедленного охлаждения или длительной изотермической выдержки ниже линии P8K можно достигнуть полного разложения эвтектоидного цементита, входящего в перлит, и получения также структуры ковкого чугуна с ферритной металлической основой и хлопьевидным графитом.

Процесс графитизации при надлежащих температурах широко используется для регулирования металлической основы и свойств высокопрочного чугуна.

#### *Микроструктура белого чугуна*

В соответствии с диаграммой состояния железо-цементит белый чугун может быть доэвтектическим с содержанием углерода менее 4,3%, эвтектическим при 4,3% углерода и заэвтектическим с концентрацией углерода более 4,3%. При охлаждении доэвтектического состава из жидкого состояния до линии ликвидус BC никаких превращений не происходит. От температур линии ликвидус BC до линии солидус EC кристаллизуется аустенит переменного состава, что приводит (при 1147 °C) к увеличению содержания в жидком чугуне углерода до 4,3% и эвтектическому превращению, при котором происходит одновременная кристаллизация из жидкости двух фаз - аустенита с концентрацией 2,14% C и цементита, приводящая к образованию ледебурита. Дальнейшее охлаждение за счет выделения вторичного цементита в соответствии с линией E8 сопровождается снижением содержания углерода в аустените до 0,8% C, эвтектоидным превращением по линии P8K, в результате чего микроструктура доэвтектического белого чугуна ниже 727 °C, состоит из перлита в виде темных участков, ледебурита в виде темных точечных перлитных включений на белом фоне цементита и вторичного цементита, который может быть в виде светлых отдельных включений и игл, и может сливаться с цементитом ледебурита. С увеличением содержания углерода в чугуне количество ледебурита возрастает, а перлита уменьшается.



Рис.2 Схема микроструктуры доэвтектического белого чугуна  
Ледебурит и перлит

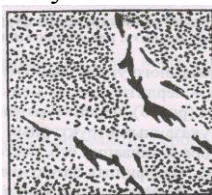


Рис.3 Схема микроструктуры эвтектического белого чугуна  
Ледебурит

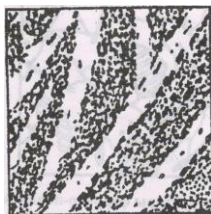


Рис. 4 Схема микроструктуры заэвтектического белого чугуна. Ледебурит и первичный цементит

Микроструктура эвтектического белого чугуна состоит из ледебурита, представляющего собой при температурах выше линии PSK ( $727\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) смесь аустенита и цементита (эвтектического и вторичного), а ниже - смесь перлита и цементита (рис. 3).

Микроструктура заэвтектического белого чугуна состоит из крупных светлых пластин первичного цементита и ледебурита (рис. 4).

В результате кристаллизации первичного цементита ниже линии DC диаграммы жидкий чугун обезуглероживается и при температуре  $1147\text{ }^{\circ}\text{C}$  (линия ECP) с содержанием углерода  $4,3\%$  затвердевает в эвтектику (ледебурит), которая при нормальной температуре представляет собой смесь перлита и цементита; с повышением содержания углерода в заэвтектическом чугуне количество первичного цементита возрастает, количество ледебурита уменьшается. Высокое содержание эвтектического, первичного и вторичного цементита в белом чугуне придает ему высокую твердость, хрупкость и износостойкость. Белый чугун очень плохо обрабатывается режущим инструментом, применяется при литье только износостойких отливок, не требующих обработки (шары для шаровых мельниц, прокатные валики, вагонные колеса с отбеленным ободом и т.д.). Белый чугун своим названием обязан матово-белому цвету излома.

#### *Микроструктура серого чугуна*

Серый чугун, как уже было отмечено, получается непосредственно в процессе кристаллизации из жидкого состояния при медленном охлаждении в литейных формах.

В структуре серого чугуна ледебурит отсутствует, а углерод находится в форме пластинчатого графита (в виде прожилок, лепестков, чешуек).

Металлическая основа (матрица) серого чугуна зависит от количества связанного углерода (цементита), оставшегося в структуре после графитизации.



Рис. 5 Схема микроструктуры белого чугуна.



Рис.6 Схема микроструктуры заэвтектического перлитного серого чугуна

Если связанного углерода почти нет, то металлическая основа - ферритная; если связанного углерода  $0,8\%$  - перлитная; если меньше  $0,8\%$  - феррито-перлитная. Соответственно и чугун называют ферритным (рис. 5), перлитным (рис. 6), феррито-перлитным (рис. 7).

Кроме указанных структурных составляющих в сером чугуне, благодаря повышенному содержанию фосфора и ликвиации его, часто образуются участки фосфидной эвтектики характерного точечного строения. Фосфидная эвтектика состоит из феррита, цементита и фосфида железа  $\text{Fe}_3\text{P}$ . Крупные образования фосфидной эвтектики сильно увеличивают хрупкость чугуна.



Рис.7 Схема микроструктуры ферритно-перлитного серого чугуна.

Пластинчатая форма графита в значительной степени разупрочняет металлическую основу и придает серому чугуну повышенную хрупкость.

изводятся в соответствии с ГОСТом 1412-79. По серому цвету излома чугун называется серым.

#### *Микроструктура ковкого чугуна*

Ковкий чугун получается путем отжига (графитизации) белого доэвтектического чугуна. В зависимости от режима отжига металлическая основа, также как и у серого чугуна, может быть ферритной (рис. 8), перлитной (рис. 9) и феррито-перлитной (рис. 10).

При отжиге белого чугуна графит кристаллизуется в виде хлопьев и называется графитом отжига (см. рис. 1 в).

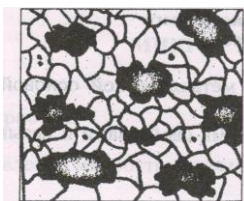


Рис. 8



Рис. 9



Рис.10

Ковкий чугун, благодаря равновероятной форме хлопьев, снижающей концентрацию напряжений, обладает повышенными характеристиками прочности и пластичности. Марки механических свойств ковкого чугуна предусмотрены ГОСТом 1215-79.

Несмотря на название, ковкий чугун практически не куется, но может, в случае коробления отливок, подвергаться рихтовке.

#### *Микроструктура высокопрочного чугуна*

Получение высокопрочного чугуна основано на обработке (модифицировании) серого чугуна в жидком состоянии присадками магния, церия. От степени графитизации (количества оставшегося связанного углерода в структуре) металлическая основа чугуна с шаровидным графитом может быть ферритной (рис. 11), феррито-перлитной (рис. 12) и перлитной (рис. 13).

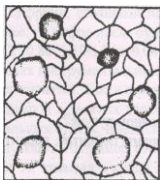


Рис. 11

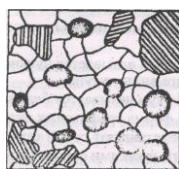


Рис. 12

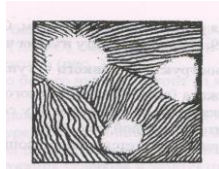


Рис.13

Таким образом, у серого, ковкого и высокопрочного чугуна металлической основой является сталь, разобшенная графитными включениями различной формы.

Чугун с шаровидным графитом обладает высокими механическими свойствами и называется высокопрочным (ГОСТ 7293-79).

#### **Методика выполнения работы**

1. Уясните цель работы.
2. Сопоставьте, каким образом получают различные виды чугуна.
3. Изучите микроструктуру чугунов при нормальной температуре.
4. Изобразите схемы микроструктур различных видов чугуна в нетравленном состоянии и после травления универсальным реактивом - 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте.
5. Выполните микроструктурный анализ различных видов чугуна.
6. Проследите за формированием структуры одного из сплавов белого чугуна при охлаждении из жидкого состояния.
7. Составьте отчет о работе.

#### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Определение чугуна.
3. Классификация чугуна.
4. Определение структурных составляющих чугуна.

5. Характеристика белого, серого, ковкого, высокопрочного чугунов, особенности их получения, структуры и свойств.

6. Схемы микроструктур чугуна.

7. Микроструктурный анализ чугуна.

8. Схемы вероятных микроструктур одного из сплавов белого чугуна при охлаждении из жидкого состояния.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какой сплав называется чугуном?

2. Назовите виды чугуна.

3. Какой чугун называется белым?

4. Какова форма графитовых включений в сером, ковком и высокопрочном чугуне?

5. Что представляют собой структурные составляющие чугуна - феррит, цементит, перлит, ледебурит, графит, и какими основными свойствами они обладают?

6. Какие факторы влияют на процесс графитизации чугуна?

7. Какая металлическая основа может быть у чугунов, содержащих графит, и от чего она зависит?

8. Что представляет собой фосфидная эвтектика и в каком чугуне она встречается?

9. Какой процесс называется графитизацией?

10. Какие факторы влияют на процесс графитизации?

### **Лабораторная работа Термическая обработка сталей**

#### **Цель работы:**

1. Ознакомиться с оборудованием для термической обработки стали.

2. Изучить технологию нормализации и закалки углеродистых сталей.

3. Определить влияние скорости охлаждения на твердость углеродистых сталей после термической обработки.

#### **Краткие теоретические положения**

Термической обработкой стали называется технологический процесс, состоящий из нагрева стали до определенной температуры, выдержки и последующего охлаждения с заданной скоростью. При термической обработке получают необходимые свойства стали, изменяя ее структуру без изменения химического состава.

Любой режим термической обработки может быть представлен графически в координатах «температура - время». Температура нагрева углеродистой стали, ориентировочно в зависимости от содержания углерода, выбирается по диаграмме железо - цементит (рис. 1), по справочным данным и уточняется экспериментальным путем. Время определяется расчетом, по справочным данным и опытом. Основные виды термической обработки - отжиг, нормализация, закалка и отпуск. В настоящей работе рассматриваются только отжиг, нормализация и закалка, т.е. те виды термообработки, которые осуществляются за счет превращений аустенита при охлаждении.

*Отжигом* стали называют термическую обработку, при которой доэвтектоидную сталь нагревают выше критической точки АС3, а заэвтектоидную - выше АС1 на 30...50 °С (см. рис. 1) и после выдержки медленно охлаждают в печи. При этом получают наиболее равновесные структуры: феррит с перлитом, перлит или перлит с цементитом. Основное назначение отжига - перекристаллизация зерна стали, снижение твердости и снятие внутренних напряжений.

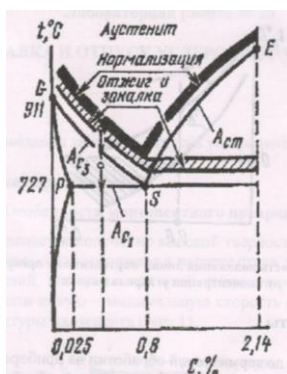


Рис. 1 Температурные интервалы термической обработки стали

*Нормализацией* стали называют нагрев доэвтектоидных сталей выше критической точки  $A_{с3}$  эвтектоидных и заэвтектоидных сталей — выше критической точки  $A_{сm}$  на  $30...50\text{ }^{\circ}\text{C}$  с непродолжительной выдержкой и последующим охлаждением на воздухе. После нормализации углеродистые стали имеют ту же структуру, что и при отжиге, но перлитные смеси получают более мелкодисперсными, так как распад аустенита происходит при больших степенях переохлаждения. Цель нормализации - перекристаллизация зерна стали, снятие внутренних напряжений, подготовка стали к дальнейшей пластической деформации, механической или термической обработке. Нормализация - дешевый и простой вид термической обработки углеродистых сталей, содержащих менее  $0,5...0,6\%$  C при подготовке их к обработке резанием, и может заменять отжиг.

В заэвтектоидных сталях нормализация температуры выше  $A_{сm}$  предназначена для устранения цементитной сетки.

*Закалкой* называется термообработка, состоящая из нагрева доэвтектоидных сталей выше критической точки  $A_{с3}$ , эвтектоидных и заэвтектоидных сталей выше  $A_{с1}$  на  $30...50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , выдержки при данной температуре и последующего охлаждения со скоростью больше критической (минимальная скорость охлаждения, обеспечивающая превращение переохлажденного аустенита в мартенсит). При скорости охлаждения больше критической углерод не успевает выделиться из кристаллической решетки, в результате чего образуется однофазный перенасыщенный твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе который получил название мартенсита.

При этом наблюдаются значительные искажения пространственной решетки, создается высокая плотность порогов дислокации, нарушается равенство межатомных сил и в стали накапливается значительная внутренняя потенциальная энергия. Сталь приобретает высокую твердость, но ее пластичность при этом падает. В зависимости от температуры нагрева стали различают следующие виды закалок.

Полная закалка - нагрев стали выше критической точки  $A_{с3}$  на  $30...50\text{ }^{\circ}\text{C}$  с последующим охлаждением со скоростью больше критической. Структура стали при этом состоит из мелкоигльчатого мартенсита, а при содержании углерода более  $0,6\%$ , кроме мартенсита, имеется небольшое количество остаточного аустенита. Полная закалка применяется только для доэвтектоидных сталей.

При нагреве доэвтектоидных сталей между линиями  $A_{с1}$  и  $A_{с3}$  получается структура, состоящая из аустенита и феррита, и поэтому после закалки в этой области температур структура состоит из мартенсита и феррита. Такая закалка называется неполной. Наличие феррита ведет к снижению твердости закаленной стали и не вызывает заметного увеличения ударной вязкости. Подобный технологический процесс термической обработки - брак производства.

Перегрев стали, т.е. нагрев ее до температур, превышающих температуры критической точки  $A_{с3}$  на  $150...200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вызывает рост зерен аустенита, что увеличивает склонность стали к появлению деформации и образованию трещин при закалке. Структура такой стали состоит из крупноигльчатого мартенсита и обладает пониженной ударной вязкостью.

Неполная закалка применяется для заэвтектоидных сталей; нагрев стали выше критической точки АС1 на 30...50 °С с последующей выдержкой и охлаждением со скоростью больше критической. Структура заэвтектоидной стали после неполной закалки состоит из мартенсита, вторичного цементита и остаточного аустенита. Цементит обладает высокой твердостью и не снижает твердости закаленной стали; аустенит, наоборот, мягче мартенсита и снижает общую твердость. Закалка заэвтектоидных сталей с температур, превышающих линию АСМ, ведет к получению крупноиглочатого мартенсита с большим количеством остаточного аустенита. Такая структура создает в стали повышенные внутренние напряжения, коробление, трещины и пониженную ударную вязкость. Повышение содержания углерода в заэвтектоидных сталях значительно снижает линии начала и конца мартенситных превращений (рис. 2). Конец мартенситного превращения оказывается в области отрицательных температур, что приводит к увеличению количества остаточного аустенита при закалке.

Охлаждающими средами при закалке стали служат вода, водные растворы солей, щелочей, кислот, масло. В воде закалывают углеродистые стали, содержащие более 0,3% С. При меньшем содержании углерода эти стали практически не закалывают, так как скорость охлаждения стали даже в воде меньше необходимой критической скорости закалки. Аустенит только частично превращается в мартенсит или в феррито-цементитную смесь. Масло охлаждает металл медленнее, чем вода, и в нем обычно закалывают высокоуглеродистые и легированные стали, которые имеют небольшую критическую скорость закалки.

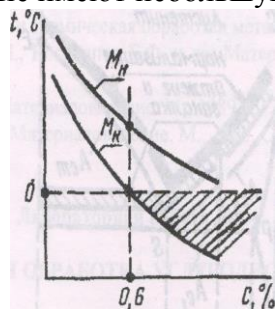


Рисунок 2. Зависимость положения линий мартенситных превращений от концентрации углерода в стали

#### Методика выполнения работы

1. Измерить твердость образцов до термической обработки на приборе Бринелля.
2. Определить по справочным данным режимы термической обработки стали 40 и У8 (отжига, нормализации и закалки).
3. Загрузить образцы в печь и после заданной выдержки последовательно, по одному, охладить в воде, масле и на воздухе.

Образцы подвергаются отжигу до лабораторного занятия.

4. Измерить твердость образцов после термической обработки на приборе Роквелла.

#### Содержание отчета

- описание видов термообработки и их практическое применение;
- участок диаграммы состояния железо-цементит для сталей, указать на нем области оптимальных температур нагрева для отжига, нормализации и закалки;
- протокол результатов испытаний (сводная таблица); график изменения твердости сталей 40 и У8 в зависимости от вида термообработки (скорости охлаждения).

В выводах указать, как влияют скорость охлаждения и температура закалки на твердость сталей 40 и У8, когда и почему получается наивысшая твердость.

#### Контрольные вопросы

1. Какова цель термической обработки стали?
2. В чем заключается термическая обработка стали?
3. Какую структуру имеют углеродистые стали после термической обработки?
4. В чем заключается полная и неполная закалка?
5. Какие вы знаете охлаждающие среды при закалке, их недостатки и преимущества.

## Лабораторная работа

### Разработка технологического процесса термической обработки детали

**Цель работы:** практическое ознакомление с методикой разработки технологического процесса термической обработки деталей (нефтепромыслового оборудования); приобретение навыков самостоятельной работы со справочной литературой и более глубокое усвоение курса.

#### Введение

Разработать технологический процесс термической обработки стальной детали\_ Марка стали\_\_\_\_\_.

Твердость после окончательной термообработки\_\_\_\_\_.

#### Порядок выполнения работы

1. Расшифровать марку заданной стали, описать ее микроструктуру, механические свойства до окончательной термообработки и указать, к какой группе по назначению она относится.

2. Описать характер влияния углерода и легирующих элементов заданной стали на положение критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ ,  $A_{ст}$  рост зерна аустенита, закаливаемость и прокаливаемость, на положение точек  $M_n$  и  $M_k$ , на количество остаточного аустенита и на отпуск. При отсутствии легирующих элементов в заданной марке стали описать влияние постоянных примесей (марганца, кремния, серы, фосфора, кислорода, азота и водорода) на ее свойства.

3. Выбрать и обосновать последовательность операций предварительной и окончательной термообработки деталей, увязав с методами получения и обработки заготовки (литье, ковка или штамповка, прокат, механическая обработка).

4. Назначить и обосновать режим операций предварительной и окончательной термообработки деталей (температура нагрева и микроструктура в нагретом состоянии, охлаждающая среда).

5. Описать микроструктуру и механические свойства материала детали после окончательной термообработки.

#### Методика выполнения задания

Разработку технологии термообработки заданной детали следует начинать с оценки особенностей свойств исходной стали, способа изготовления заготовки и условий работы детали. При выполнении 1 -го пункта задания в расшифровке марки заданной стали указать содержание ее основных элементов, назвать и зарисовать микроструктуру исходной стали (в состоянии поставки), зарисовать и указать механические свойства (твердость, предел прочности при растяжении, пластичность и ударную вязкость), отметить их особенности в связи с предполагаемым назначением.

При выполнении 2-го пункта задания дать анализ влияния углерода и легирующих элементов стали на технологию ее термообработки и полученные результаты. Температуры критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ ,  $A_{ст}$  для заданной углеродистой стали определяют по диаграмме состояния железо-цементит или по справочным данным, а для легированной стали -только по справочным данным (указывается характер их смещения).

При оценке влияния состава стали на рост зерна аустенита отметить склонность ее к перегибу и дать рекомендации по режиму нагрева заданной стали (медленно или быстро). Особое внимание следует обратить на анализ закаливаемости и прокаливаемости предлагаемой стали, так как от них зависят ее конечные свойства (твердость, глубина закалки и др.). В зависимости от закаливаемости и прокаливаемости<sup>TM</sup> стали по справочным данным или по диаграмме изотермического превращения аустенита выбрать соответствующую охлаждающую закалочную среду. При этом следует отметить склонность рассматриваемой стали к образованию в ней после закалки повышенных внутренних напряжений и трещин.

По справочным данным или диаграмме превращения переохлажденного аустенита при охлаждении определить положение точек начала и конца мартенситного превращения  $M_n$  и  $M_k$ , а затем оценить возможность получения в стали после закалки остаточного аустенита и его



влияние на конечные свойства. При наличии остаточного аустенита указать способ его устранения. При оценке влияния состава закаленной стали на превращения при отпуске определить степень этого влияния и вид отпуска. Если в заданной стали несколько легирующих элементов, оказывающих взаимно противоположное влияние на превращения, то оценку следует дать приближенно, по средним величинам их влияния.

В 3-м пункте задания необходимо обосновать последовательность операций предварительной термообработки заготовки и окончательной термообработки детали, увязав ее с местом механической обработки. В качестве предварительной термической обработки применяют отжиг или нормализацию. Нормализации рекомендуется подвергать штампованные заготовки из низко- и среднеуглеродистых сталей (10, 20, 30, 40, 45 и др.) и из легированных сталей с пониженным содержанием легирующих элементов (15X, 30X, 35X, 40X, 40P, 50Г, 18ХГТ и др.). Отжиг назначают преимущественно для крупных и сложных отливок и штамповок, проката, которые могут быть изготовлены из высокоуглеродистых сталей или сталей с повышенным содержанием легирующих элементов (Л65, 60С2, 65Г, 45Г2, У8А, 50ХФЛ, 45ХН, 12ХН3А, 20ХН3А, 12Х2Н4А, 20ХНМ, 35ХГС, 40Х9С2, ШХ9, Р18, ХВГ и др.). После предварительной термической обработки выполняют основную механическую обработку заготовок (точение, фрезерование, сверление, протягивание, нарезание резьб и др.). Окончательную термическую обработку в виде закалки и низкого отпуска выполняют после основной массы операций механической обработки абразивным инструментом (шлифование, хонингование). Если окончательной термической обработкой детали является ее улучшение (закалка и высокий отпуск) и твердость стали  $HV < 200 \dots 300$ , то операции окончательной термообработки выполняют после операций черновой механической обработки. В этом случае после ТО проводят чистовую обработку точением, фрезерованием, шлифованием и др.

Пример. Последовательность операций обработки зубчатого колеса, изготовленного из стали 12ХН3А; штамповка - отжиг - механическая обработка - цементация - закалка - низкий отпуск - механическая обработка (шлифовка отверстия и, если надо, зубьев). В 4-м пункте задания назначается и обосновывается режим каждой операции. С использованием данных, приведенных во 2-м пункте, а также справочных источников указываются температура нагрева и структура, получающаяся при этом. При высокочастотном нагреве температура закалки устанавливается по справочнику. Температуру нагрева детали для химико-термической обработки выбирают по справочным данным в зависимости от ее вида, назначения и состава стали. Нужно указать, какая охлаждающая среда должна быть использована после предварительной термообработки (отжига, нормализации), после химико-термической обработки (цементации, цианирования), после отпуска.

В последнем пункте задания описать микроструктуру стали после окончательной термической обработки, зарисовать ее и указать особенности механических свойств стали (твердость, прочность, пластичность и ударная вязкость).

#### *Варианты заданий*

Вариант	Наименование деталей	Марка стали	Твердость после ТО
1	Коленчатый вал	45Г2	HRC 56-58
2	Поршневой палец	12ХН3А	HВ207-255 ; HRC 58-62
3	Полуось конической передачи	35ХГС	HВ255-302
4	Ось задняя ведущих колес	45Х11	HВ235-311
5	Вал коробки передач	20ХН3А	HВ 331-375 ; HRC 56-62
6	Палец звеньев гусеницы	50Г	HВ 43-49
7	Червяк руля	20ХНР	HRC 56-62
8	Сошка руля	40Х	HR 331-401-62; HВ 255-302
9	Зубчатое колесо бортовой передачи	12Х2Н4А	HRC 56-62
10	Диск муфты сцепления	45Х11	HВ 331-35
11	Шатун двигателя	40Х	HВ 217-285
12	Пружина клапана	50ХФА	HRC 42-49
13	Впускной клапан	40Х9С2	HВ 293-375
14	Шарики для подшипника	ШХ9	HRC 52-58
15	Коленчатый вал	45	HВ248-285 ; HRC 52-58

## Лабораторная работа

### Цветные металлы и сплавы. Микроструктура цветных сплавов

**Цель работы:** изучение микроструктуры цветных сплавов в условиях равновесия.

#### Краткие теоретические положения

Диаграммы состояния определяют фазовый состав и структуру сплавов в условиях равновесия, дают возможность решать вопросы их упрочнения путем термической обработки и поэтому являются основой классификации сплавов цветных металлов. По технологическим свойствам сплавы делят на деформируемые, находящиеся в состоянии твердых растворов и хорошо обрабатываемые давлением, и литейные, имеющие в структуре эвтектику и обладающие наилучшей жидкотекучестью. По способности упрочняться с помощью термической обработки цветные сплавы подразделяют на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой - закалкой без полиморфного превращения и старением.

Упрочняемыми термической обработкой являются сплавы, для которых характерно уменьшение растворимости компонентов в твердом состоянии при снижении температуры до нормальной (комнатной). В промышленности широкое применение находят как двойные, тройные, так и поликомпонентные сплавы цветных металлов, фазовый состав и структура которых в условиях равновесия определяются соответствующими диаграммами состояния. Несмотря на это, при небольшом содержании легирующих элементов в большинстве случаев вполне достаточным для качественного описания изменений фазового состава структуры является использование наглядных двойных диаграмм состояния «цветной металл - основной легирующий элемент». В соответствии с подобной диаграммой «алюминий - легирующий элемент» (рис. 1) сплавы с содержанием легирующего элемента до проекции точки В на ось концентраций являются деформируемыми, а с большим содержанием - литейными. При этом сплавы с содержанием легирующего элемента до точки И не упрочняются в результате термической обработки, а сплавы с большим содержанием являются упрочняемыми термической обработкой. Наиболее широко распространены цветные сплавы на основе алюминия, меди, магния, олова.

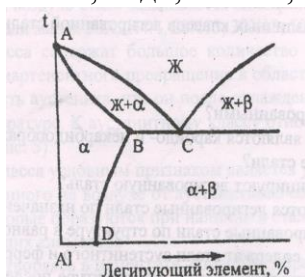


Рисунок 1. Фрагмент диаграммы состояния системы алюминий-легирующий элемент

Алюминиевые сплавы в соответствии с диаграммой состояния «алюминий - легирующий элемент» (см. рис. 1) делят на деформируемые и литейные.

Промышленное применение находят как двойные деформируемые сплавы алюминия с медью, магнием, марганцем, кремнием, так и поликомпонентные сплавы систем А1-Си-М§ (дуралюмины), А1-Си-§1 (авиали) и др. Значительное место среди этих сплавов занимают дуралюмины, маркируемые буквой Д и цифрами, характеризующими порядковый номер сплава по ГОСТе 484-74, например, Д1, Д6, Д16.

Наиболее распространенный из них сплав марки Д1 содержит в качестве легирующих элементов 3,8-4,8% Си; 0,4-0,8% М§; 0,4-0,8% Мп. Дуралюмины относятся к сплавам, упрочняемым термической обработкой. К литейным относятся сплавы алюминия с кремнием, медью, магнием. Литейные сплавы маркируются буквами АЛ и цифрами, обозначающими порядковый номер сплава (ГОСТ 2685-75), например, АЛ2, АЛ3. Наибольшее распространение получили силумины (сплавы алюминия с кремнием), содержащие от 5 до 13% 8ь Фазовый состав, структуру и свойства силуминов можно варьировать изменением химического состава, модифицированием - введением веществ, которые уже в малых количествах (обычно не более

десятых долей процента) способствуют кристаллизации структурных составляющих в измельченной форме, а также термической обработкой. В качестве модифицирующих добавок используются марганец, никель, хром, титан, ванадий и некоторые другие элементы. Силумины обычно модифицируют натрием, который в жидкий сплав вводят в виде смеси фтористых и хлористых солей натрия в соотношении  $2/3\text{CaP}+1/3\text{]4aC1}$ .

Важнейшими сплавами на основе меди являются латуни (сплавы меди с цинком) и бронзы (сплавы меди со всеми элементами, кроме цинка). По технологическим свойствам медные сплавы подразделяют на деформируемые и литейные, по способности упрочняться - на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Двойные деформируемые латуни маркируются буквой Л и цифрой, показывающей среднее содержание меди в процентах (ГОСТ 15527-70), например, Л96, Л90, Л80, Л70, Л62, Л59. Латуни с содержанием меди 90% и более называются томпаком (например, сплав марки Л96), при 80-85% - полу-томпаком (Л80). В марках легированных деформируемых латуней, кроме цифры, показывающей содержание меди, указываются буквы и цифры, обозначающие легирующий элемент и его содержание в процентах. Например, сплав ЛАН59-3-2 содержит 59% Си, 3% А1, 2% №, остальное 2п. В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а содержание каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, его обозначающей. Например, сплав ЛЦ40Мц3А содержит 40% 2п, 3% Мп, 1% А1, остальное Си.

Бронзы по основным легирующим элементам подразделяют на оловянистые, свинцовистые, кремнистые и др. В бронзах в качестве легирующей добавки в небольших количествах может присутствовать и цинк. Деформируемые бронзы маркируют буквами Бр, за которыми следуют буквы и цифры, обозначающие название и содержание в процентах легирующих элементов (ГОСТ 5017-74). Например, сплав БрОЦС4-4-2,5 содержит 4% 8п, 4% 2п, 2,5% РЬ, остальное Си. В марках литейных бронз (ГОСТ 613-73) содержание каждого легирующего элемента указывается сразу после буквы, обозначающей его название. Например, сплав БрО6Ц6С3 содержит 6% 8п, 6% 2п, 3% РЬ, остальное Си.

Магниевые сплавы, легирующими элементами которых являются алюминий, цинк, кремний, а также редкие металлы - неодим, торий и другие, подразделяются на деформируемые и литейные, маркируемые соответствующими буквами МА и МЛ и цифрами, соответствующими номеру сплава ГОСТ 14957-76 и 2856-79). Магниевые сплавы, как деформируемые, так и литейные, подвергают модифицированию и упрочняющей термической обработке.

Сплавы на основе олова (оловянистые баббиты) являются высококачественными антифрикционными материалами, для которых важным является наличие гетерогенной (неоднородной) структуры, состоящей из мягкой, пластичной основы, обеспечивающей прирабатываемость подшипника к валу, и твердых включений, упрочняющих материалы и препятствующих схватыванию трущихся поверхностей. Оловянистые баббиты представляют собой трехкомпонентные сплавы системы олово-сурьма-медь. Наиболее широкое применение имеет сплав марки Б83 (ГОСТ 1320-74), содержащий 83% РЬ, 11% 8Ь и 6% Си.

#### *Микроструктурный анализ цветных сплавов*

Микроструктура цветных сплавов в условиях равновесия или близких к ним может быть определена с помощью их диаграмм состояния.

В качестве характерных представителей деформируемых и литейных алюминиевых сплавов в боте используются соответственно литой дуралюмин марки Д1 и силумин марки АЛ12.

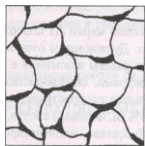


Рисунок 2. Схема микроструктуры дуралюмина марки Д1 в литом состоянии

Основу сплавов типа дуралюмин составляет система Al-Si-Mg. В соответствии с ней медь и магний имеют ограниченную растворимость в твердом состоянии в алюминии, а избыточными фазами выделяющимися при охлаждении из  $\alpha$ -твердого раствора меди и магния в алюминии в связи с уменьшением растворимости компонентов при снижении температуры являются соединения  $\text{CuAl}_2$  и  $\text{Al}_2\text{MgSi}$ , называемые соответственно  $\theta$ - и  $S$ -фазами. Поскольку магний в сплаве находится в большом количестве, то фаза  $S$  при используемых в работе увеличениях микроскопа в структуре обнаруживается.

Поэтому наблюдаемая микроструктура сплава марки Д1 в литом состоянии состоит из светлых зерен твердого раствора меди и магния в алюминии и темных включений  $\theta$ -фазы (соединения  $\text{CuAl}_2$ ), располагающихся по границам зерен  $\alpha$ -фазы (рис. 2). Такую структуру дуралюмина марки Д1 можно предсказать, исходя из двойной диаграммы состояния системы Al-Si, подобной изображенной на рис. 1.

Дуралюмины, как и авиали (сплавы системы Al-Si-Si), применяют для изготовления горячей и холодной обработкой давлением листов, труб, проволоки, плит и различных профилей.

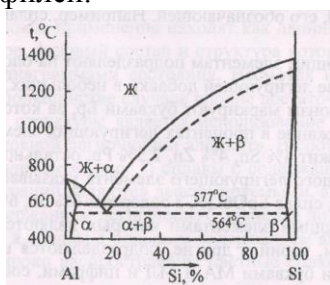


Рисунок 3. Диаграмм состояния системы алюминий-кремний

Микроструктура силуминов соответствует двойной диаграмме состояния системы Al-Si (рис.3), доэвтектические сплавы состоят из первичных кристаллов  $\alpha$ -твердого раствора кремния в алюминии и зерен эвтектики ( $\alpha + \beta$ ). В свою очередь, структура заэвтектических сплавов состоит из крупных первичных кристаллов - твердого раствора алюминия в кремнии в виде игл и зерен эвтектики ( $\alpha + \beta$ ). В соответствии с диаграммой состояния Al—Si сплав марки АЛ2, содержащий 12-13% Si, является заэвтектическим. Поэтому его микроструктура состоит из более темных крупных игл  $\beta$ - твердого раствора алюминия в кремнии и эвтектики в виде более темных игл  $\beta$ -твердого раствора алюминия кремнии на светлом поле  $\alpha$ -твердого раствора кремния в алюминии (рис. 4). Сплав в таком структурном состоянии обладает низким комплексом механических свойств (предел прочности при растяжении  $\sigma_{\text{B}} = 130\text{-}140\text{ МПа}$ , относительное удлинение 1-2%). Поэтому для повышения свойств прол водят модифицирование. Применительно к силуминам оно заключается в обработке перед разлива сплава смесью фтористых и хлористых солей натрия в соотношении  $2/3 \text{ NaF} + 1/3 \text{ NaCl}$ . Это обеспечивает введение в сплав 0,1% Na, который осуществляет модифицирующее действие, затрудняя кристаллизацию  $\beta$ -твердого раствора алюминия в кремнии. Модифицирование вызывает смещение линий на диаграмме состояния Al-Si (см. рис. 3). Эвтектическая точка (11,6% Si) перемещается вправо, приобретая концентрацию кремния 14,6%, в результате чего сплав становится доэвтектическим, что исключает из структуры крупные первичные иглы  $\beta$ -твердого раствора алюминия в кремнии и тем самым повышает пластичность. Линия эвтектического превращения снижается с 577 до 564 °С, в связи с чем эвтектика ( $\alpha + \beta$ ) вместо грубоигльчатой становится мелкозернистой. Поэтому микроструктура сплава марки АЛ2 после модифицирования состоит из светлых первичных зерен  $\alpha$ -твердого раствора кремния в алюминии и мелкозернистой эвтектики в виде более темных включений  $\beta$  -твердого раствора алюминия в кремнии на светлом поле  $\alpha$ -твердого раствора кремния в алюминии (рис. 5). Силумины применяются для изготовления корпусов компрессоров, картеров и блоков цилиндров двигателей и др.

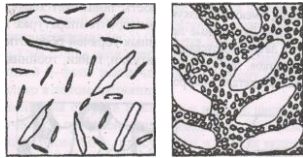


Рисунок 4. Схема микроструктуры силумина марки АЛ2 до модифицирования

*Микроструктура сплавов на основе меди*

В качестве характерных представителей сплавов на медной основе в работе используются сплавы марок Л68 и Л59 (латуни) и БрОЮ и БрСЗО (бронзы).

Микроструктура двойных низколегированных латуней в условиях равновесия определяется диаграммой состояния системы Си-Zn. На рисунке 5 приведен фрагмент диаграммы, отражающей фазовые равновесия в сплавах с содержанием цинка до 50%, поскольку промышленное применение находят латуни, содержащие до 45% Zn. В соответствии с этой диаграммой состояния латуни по структуре делятся на однофазные ( $\alpha$ -латуни), содержащие до 39% Zn и состоящие из зерен  $\alpha$ -твердого раствора цинка в меди, и двухфазные ( $\alpha + \beta$ ) -латуни, содержащие от 39 до 45% Zn и состоящие из зерен  $\alpha$ -твердого раствора цинка в меди и зерен  $\alpha$ -твердого раствора на основе соединения CuZn.

Однофазные  $\alpha$ -латуни обладают высокой пластичностью при нормальной (комнатной) температуре. Поэтому однофазные латуни выпускают в виде полуфабрикатов, полученных холодной обработкой давлением (штамповкой, прокаткой или протяжкой) листов, труб, лент, проволоки, из которых методом глубокой вытяжки изготавливают радиаторные трубы, снарядные гильзы, сильфоны, трубопроводы, а также производят детали (шайбы, втулки, уплотнительные кольца), не требующие высокой твердости. Холодная обработка вызывает наклеп.

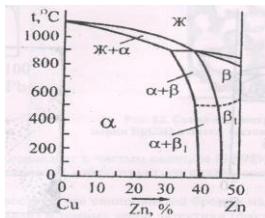


Рисунок 5. Фрагмент диаграммы состояния системы медь-цинк.

В наклепанном состоянии латунь с содержанием цинка 20% и выше подвержена растрескиванию по границам зерен, имеет низкую коррозионную стойкость. Поэтому ее подвергают рекристаллизационному отжигу, в результате чего однофазная латунь приобретает зеренную структуру с характерными для пластичных сплавов двойниками. На рисунке 6 показана микроструктура однофазной латуни марки Л68. Поскольку зерна  $\alpha$ -фазы выходят на поверхность микрошлифа различными кристаллографическими плоскостями, степень их травимости реактивом различна, и они имеют неодинаковую окраску.

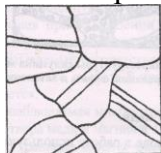


Рисунок 6.

Микроструктура двухфазной латуни марки Л59 в литом состоянии, представленная на рисунке 7, состоит из светлых зерен  $\alpha$ -твердого раствора цинка в меди и темных (более богатых цинком и травящихся сильнее) зерен  $\beta$ -твердого раствора на базе химического соединения CuZn. Присутствие в структуре ( $\beta$ -фазы, имеющей низкую пластичность и высокую твердость, повышает характеристики прочности латуней. Двухфазные латуни являются более пластичными при температурах выше 500 °С. Поэтому эти латуни выпускают в виде полуфабрикатов, полученных горячей обработкой давлением: листов, прутков, труб, штамповок, из которых изготавливают втулки, гайки, тройники, штуцеры, токопроводящие детали электрооборудования и др.



Рисунок 7.

Легированные латуни применяют в качестве деформируемых и литейных. Последние, как правило, содержат большое количество цинка и легирующих элементов.

В промышленности находят применение как двойные - оловянные, свинцовистые и другие бронзы, так и многокомпонентные, содержащие кроме основных легирующих элементов добавки свинца, цинка, фосфора и никеля.

Микроструктура двойных оловянных бронз определяется диаграммой состояния системы Си-Zn. На рисунок 8 приведен фрагмент этой диаграммы для сплавов с содержанием олова до 30%, поскольку промышленное применение имеют сплавы, содержащие до 20% Zn. Сплошными линиями показаны границы фазовых областей равновесной системы.

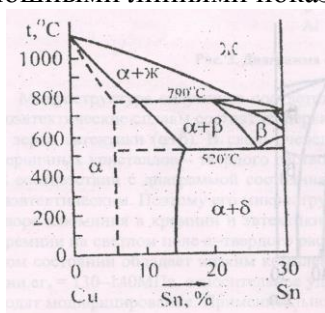


Рисунок 8.

В соответствии с этой диаграммой состояния бронзы по структуре делятся на однофазные, состоящие из зерен  $\alpha$ -твердого раствора олова в меди, и двухфазные, состоящие из зерен  $\alpha$ -твердого раствора олова в меди и зерен эвтектоида ( $\alpha + \delta$ ), в котором  $\delta$ -фаза представляет собой соединение СидЗщ. При очень медленном охлаждении протекает равновесная кристаллизация, и граница между однофазными и двухфазными бронзами соответствует 14% олова. В реальных заводских условиях при литье в металлические и земляные формы происходит ускоренное охлаждение сплавов, в связи с чем диффузия атомов олова в меди затрудняется и сплавы ведут себя так, как если бы растворимость олова в меди была постоянной, равной 6-8%, и не менялась с температурой (пунктирные линии на рисунке 8). Исходя из этого, однофазными являются бронзы с содержанием олова не более 5-6%. Такие сплавы имеют высокую пластичность и являются деформируемыми.

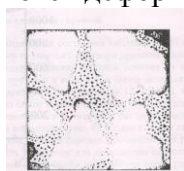


Рисунок 9.

Бронзы, содержащие олово в большем количестве, по структуре являются двухфазными. Микроструктура двухфазной бронзы марки БрО10 состоит из темных зерен  $\alpha$ -твердого раствора олова в меди и зерен эвтектоида ( $\alpha + \delta$ ) (рис. 10). Основой эвтектоида является  $\delta$ -фаза (химическое соединение  $\text{Cu}_3\text{Zn}_8$ ), на белом поле которой расположены мелкие темные выделения  $\alpha$ -фазы. Наличие твердой и хрупкой  $\delta$ -фазы исключает возможность обработки давлением, поэтому такие бронзы применяют только в литом состоянии.

Для повышения свойств в оловянистые бронзы вводят различные добавки: цинк для улучшения жидкотекучести и повышения плотности отливок; фосфор как раскислитель для устранения нежелательной окиси олова  $\text{ZnO}_2$ , присутствующей в бронзах в виде твердых и хрупких включений; свинец для улучшения обрабатываемости резанием и повышения уровня антифрикционных свойств. Оловянистые бронзы с перечисленными добавками находят в

промышленности более широкое применение, чем двойные сплавы. В качестве примера можно назвать литейные бронзы марок Бр05Ц5С5, БрО10Ф1 и др., деформируемые бронзы марок БрОФ6,5-0,4, БрОЦ4-3 и др. Оловянистые бронзы используются для изготовления паровой и водяной арматуры, подшипников скольжения, втулок, зубчатых колес, деталей приборов.

Микроструктуру свинцовистых бронз можно охарактеризовать с помощью двойной диаграммы состояния системы Cu-Pb (рис. 10). Как видно из диаграммы состояния, свинцовистая бронза марки БрС30 с содержанием свинца 30% является доэвтектическим сплавом, и его структура при нормальной (комнатной) температуре должна состоять из зерен  $\alpha$ -твердого раствора свинца в меди и эвтектики, состоящей из  $\alpha$ -твердого раствора свинца в меди и  $\beta$ -твердого раствора.

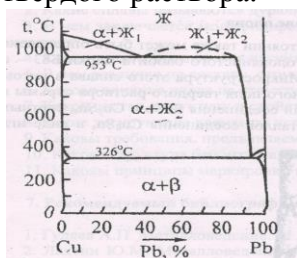


Рисунок 10

#### *Микроструктура сплавов на основе магния*

Микроструктура магниевых сплавов в равновесном состоянии определяется соответствующими диаграммами состояния. В качестве примера на рисунок 11 приведена микроструктура сплава МЛ5, содержащего помимо магния 8% Al; 0,8% Zn и 0,3% Mn. Алюминий и цинк введены в сплав для упрочнения, а марганец - для повышения коррозионной стойкости.

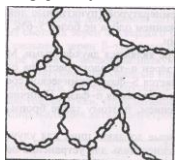


Рисунок 11

Поскольку растворимость цинка в магнии в твердом состоянии составляет не менее 1,7% и, следовательно, все количество цинка входит в твердый раствор, не присутствуя в сплаве как самостоятельная структурная составляющая, а марганцовистая фаза при используемых в работе увеличениях ввиду малого ее количества не выявляется, то микроструктура сплава марки МЛ5 может быть определена в соответствии с двойной диаграммой состояния системы Mg-Al (рисунок 13).

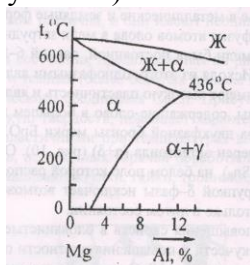


Рисунок 13.

Микроструктура сплава марки МЛ5 (см. рис. 13) состоит из светлых зерен  $\alpha$ -твердого раствора алюминия в магнии и более темных включений  $\gamma$ -фазы (соединения  $Mg_4Al_3$ ), располагающихся по границам зерен  $\alpha$ -фазы.

#### *Микроструктура сплавов на основе олова*

Микроструктура сплавов на основе олова в равновесном состоянии также может быть определена с помощью соответствующих диаграмм состояния, например, оловянистого баббита марки Б83 - с помощью тройной диаграммы состояния системы Zn-Sb-Cu. Микроструктура этого сплава в литом состоянии состоит из тройной эвтектики в виде основного темного поля

твердого раствора сурьмы в олове и равномерно распределенных светлых мелких включений соединения  $ZnSb$  и  $Cu_6Zn_5$ , светлых крупных кристаллов соединения  $ZnSb$  и светлых мелких кристаллов соединения  $Cu_6Zn_5$  в виде игл или звездочек (рис. 15).



Рисунок 14

Соединение  $Cu_6Zn_5$  кристаллизуется в первую очередь и равномерно распределяется в объеме жидкости, образуя своеобразную сетку, препятствующую ликвации по удельному весу легких кристаллов  $ZnSb$ . При этом вся медь, находящаяся в сплаве, расходуется на образование соединения  $ZnSb$ .

Мягкая, пластичная основа в виде тройной эвтектики и твердые включения соединений  $ZnSb$  и  $Cu_6Zn_5$  обеспечивают высокий уровень антифрикционных свойств и применяются для заливки подшипников газовых турбин, турбокомпрессоров, турбонасосов и др.

#### Методика выполнения работы

1. Уясните цель работы.
2. Изучите классификацию, характеристику к особенности формирования структуры цветных сплавов в условиях равновесия.
3. Изучите микроструктуру цветных сплавов.
4. Изобразите схемы микроструктур изученных цветных сплавов.
5. Выполните микроструктурный анализ цветных сплавов.
6. Проследите, используя диаграмму, за формированием структуры одного из сплавов при охлаждении из жидкого состояния.

#### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Классификация и краткая характеристика изученных сплавов.
3. Схемы микроструктур цветных сплавов.
4. Микроструктурный анализ цветных сплавов.
5. Схемы вероятных микроструктур в процессе охлаждения из жидкого состояния одного из цветных сплавов.

#### Контрольные вопросы

1. По какому принципу цветные сплавы делят на литейные и деформируемые?
2. Какие сплавы называются дуралюминами, какие - силуминами?
3. В чем заключается модифицирование силумина, какое изменение в структуре и свойствах оно вызывает?
4. Какие сплавы называются латунями, какие бронзами?
5. В чем различие по составу, структуре и свойствам однофазных и двухфазных латуней?
6. Каково влияние олова на структуру и свойства оловянистых бронз?
7. Какой состав, структуру и свойства имеет свинцовистая бронза марки БрСЗО?
8. Какие легирующие элементы используются в магниевых сплавах?
9. Каковы требования, предъявляемые к антифрикционным материалам?
10. Какова структура баббита марки Б83?
11. Каковы принципы маркировки цветных сплавов?



## Лабораторная работа

### Классификация и маркировка цветных металлов и сплавов

Цель работы: приобретение знаний, умений и навыков классификации и маркировки цветных металлов и сплавов.

#### Краткие теоретические положения

Специалистам в сфере техники и технологий необходимо знать классификацию и маркировку материалов, предназначенных для изготовления деталей машин и конструкций. К таким материалам относятся металлы и их сплавы, металлические и металлокерамические порошки, пластмассы, резина, стекло, керамика, древесные и другие неметаллические вещества. Наиболее широкое распространение в качестве конструкционных материалов получили металлы и их сплавы, поэтому в настоящей работе приведена информация о цветных металлах (медь, алюминий, титан, магний и др.) и сплавах на их основе.

#### Медь и ее сплавы

Медь – металл красного, в изломе розового цвета, с гранцентрированной кристаллической решеткой. Плотность меди  $8940 \text{ кг/м}^3$ , температура плавления  $1083 \text{ }^\circ\text{C}$ . Обладает высокими пластичностью, коррозионной стойкостью, теплопроводностью и малым удельным электросопротивлением.

Технически чистая медь - применяется для изготовления катодов, литых и деформированных полуфабрикатов.

Согласно *ГОСТ 859-2001* по чистоте медь подразделяют на марки:

Марка	Содержание элементов	
	<i>Сu</i> не менее, %	<i>Сu+Ag</i> не менее, %
М00к	99,99	–
М0к	99,97	–
М1к	99,95	–
М2к	99,93	–
М00б	99,99	–
М0б	–	99,97
М1б	–	99,95
М00	99,96	–
М0	–	99,93
М1	–	99,90
М1р	–	99,90
М1ф	–	99,90
М2р	–	99,70
М3р	–	99,50
М2	–	99,70
М3	–	99,50

После обозначения марки указывают способ изготовления меди: к – катодная, б – бескислородная, р – раскисленная, ф – раскисленная фосфором. Медь огневого рафинирования не обозначается. В обозначении марок меди, предназначенной для электротехнической промышленности и подлежащей испытаниям на электропроводность, добавляется буква *Е*.

#### Пример расшифровки:

М00к – технически чистая медь, содержит *Сu* не менее 99,99 %.

М3 – технически чистая медь огневого рафинирования, содержит *Сu* и примеси *Ag* не менее 99,5 %.

#### Медные сплавы

Медные сплавы подразделяют на латуни и бронзы. Сплавы, предназначенные для изготовления деталей методами литья, относятся к литейным. Сплавы, предназначенные для изготовления деталей пластическим деформированием – к обрабатываемым давлением.

Приняты следующие обозначения компонентов медных сплавов: Приняты следующие обозначения компонентов медных сплавов: А – алюминий; Мг – магний; Ср – серебро; Б –

бериллий ; Мш – мышьяк; Су – сурьма; Ж – железо; Н – никель; ; К – кремний; О – олово; Ф – фосфор ; Кд – кадмий; С – свинец; Х – хром; Мц – марганец; Ц – цинк

*Бронзы литейные и обрабатываемые давлением*

Бронзы – сплавы меди с оловом (4-33 % Sn, хотя бывают безоловянные бронзы), свинцом (до 30 % Pb), алюминием (5-11 % Al), кремнием (4-5 % Si), сурьмой и фосфором.

В соответствии с ГОСТ 493-79, ГОСТ 613-79, ГОСТ 5017-2006 и ГОСТ 18175-78, бронзы обозначаются в начале марки буквами *Бр*.

В литейных бронзах после начального обозначения *Бр* следуют первые буквы названий основных элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие количество элементов в процентах. В конце марки может ставиться буква *Л* (литейный сплав).

В обрабатываемых давлением бронзах после начального обозначения *Бр* следуют все буквы названий основных элементов, образующих сплав, затем все цифры через тире, указывающие количество соответствующих элементов в процентах.

*Пример расшифровки:*

БрА9Мц2Л – бронза, содержит Al 9 %, Mn 2 %, остальное Cu, литейная.

БрОФ8-0,3 – бронза, содержит Sn 8 %, P 0,3 %, остальное Cu, обрабатываемая давлением.

БрКМц3-1 – бронза безоловянная, содержит Si 3 %, Mn 1 %, остальное Cu, обрабатываемая давлением.

*Латуни литейные и обрабатываемые давлением*

Латуни – сплавы меди с цинком (до 50 % Zn) и небольшими добавками алюминия, кремния, свинца, никеля, марганца.

В соответствии с ГОСТ 15527-2004 и ГОСТ 17711-93 латуни обозначаются в начале марки буквой *Л*.

В литейных латунях после начального обозначения *Л* следуют первые буквы названий основных элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие количество элементов в процентах.

В обрабатываемых давлением латунях после начального обозначения *Л* следуют все буквы названий основных элементов, образующих сплав, затем все цифры через тире, указывающие количество соответствующих элементов в процентах. Первая цифра указывает содержание меди.

В несложных по составу обрабатываемых давлением латунях указывается только содержание в сплаве меди.

*Пример расшифровки:*

ЛЦ40Мц3Ж – латунь, содержит Zn 40 %, Mn 3 %, Fe до 1,5 %, остальное Cu, литейная.

ЛАМш77-2-0,05 – латунь, содержит Cu 77 %, Al 2 %, As 0,05 %, остальное Zn, обрабатываемая давлением.

Л96 – латунь, содержит Cu 96 % и Zn 4 % (томпак), обрабатываемая давлением.

*Алюминий и его сплавы*

Алюминий – металл серебристо-белого цвета с гексагональной кристаллической решеткой, температура плавления 600 °С. Наиболее важной особенностью алюминия является низкая плотность – 2700 кг/м<sup>3</sup>. Обладает высокими тепло- и электропроводностью, стойкий к коррозии.

*Алюминий первичный*

Выпускается в жидком виде, в виде чушек, слитков, катанки, ленты и др.

В соответствии с ГОСТ 11069-2001 в зависимости от химического состава (степени чистоты) первичный алюминий подразделяется на алюминий высокой и технической чистоты.

Обозначается в начале марки буквой *А* и цифрами, указывающими доли процента свыше 99,0 % Al. Буква *Е* обозначает повышенное содержание железа и пониженное кремния, *Э* – пониженное содержание кремния и магния.

*Пример расшифровки:*

А99 – алюминий первичный высокой чистоты, содержание *Al* не менее 99,99 %.

А5Е – алюминий первичный технической чистоты, содержание *Al* не менее 99,5 %, с повышенным содержанием железа и пониженным содержанием кремния.

#### *Алюминий чистый деформируемый*

В соответствии с *ГОСТ 4784-97* чистый деформируемый алюминий обозначается в начале марки буквами *АД* и цифрами, указывающими условную степень чистоты: АД000 (99,80 % *Al*), АД00 (99,7 % *Al*), АД0 (99,5 % *Al*), АД1 (99,30 % *Al*), АД (99,0 % *Al*). Буква *Е* в конце марки обозначает чистый деформируемый алюминий с гарантированными электрическими характеристиками.

#### *Пример расшифровки:*

АД0Е – чистый деформируемый алюминий, упрочняемый термообработкой, содержит *Al* 99,5 %, с гарантированными электрическими характеристиками.

#### *Алюминиевые литейные сплавы*

Применяются для изготовления чушек (металлошихты) и фасонных отливок. Обладают хорошей жидкотекучестью и имеют сравнительно небольшую усадку. В соответствии с *ГОСТ 1583-93* обозначаются в начале марки буквами *АЛ* и цифрами, указывающими порядковый номер сплава в зависимости от химического состава.

Некоторые литейные алюминиевые сплавы маркируются по химическому составу (*АК7М2*, *АК21М2* и др.). В этом случае буквы обозначают: *К* – кремний, *М* – медь, *Мг* – магний, *Мц* – марганец, *Н* – никель, *Су* – сурьма, *Ц* – цинк, цифра – среднее процентное содержание элемента.

Для обоих видов обозначений в конце марки могут добавляться буквы:

ч – чистый, пч – повышенной чистоты, оч – особой чистоты,

л – литейный, с – селективный, р – рафинированный,

П – для изготовления изделий пищевого назначения.

#### *Пример расшифровки:*

АЛ27 – алюминиевый литейный сплав, номер марки 27.

АК8М3ч – алюминиевый литейный сплав, содержит *Si* 8 %, *Cu* 3 %, остальное *Al*, чистый.

АК9Цбр – алюминиевый литейный сплав, содержит *Si* 9 %, *Zn* 6 %, остальное *Al*, рафинированный.

#### *Алюминиевые деформируемые сплавы*

Применяются для изготовления полуфабрикатов (лент в рулонах, листов, кругов-дисков, плит, полос, прутков, профилей, шин, труб, проволоки, поковок и штампованных поковок) методом горячей или холодной деформации (прокатка, ковка, штамповка), а также слябов и слитков.

#### *Не упрочняемые термообработкой*

В соответствии с *ГОСТ 4784-97* к деформируемым алюминиевым сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы *Al-Mn* и *Al-Mg*. Обозначаются начальными буквами входящих в состав сплава компонентов и цифрами, указывающими процентное содержание легирующего элемента. При отсутствии цифр содержание легирующего элемента составляет до 1,5 %.

#### *Пример расшифровки:*

АМц – деформируемый алюминиевый сплав, не упрочняемый термообработкой, содержит *Mn* до 1,5 %, остальное *Al*.

АМг6 – деформируемый алюминиевый сплав, не упрочняемый термообработкой, содержит *Mg* 6 %, остальное *Al*.

#### *Упрочняемые термообработкой*

В соответствии с *ГОСТ 4784-97* к деформируемым алюминиевым сплавам, упрочняемым термообработкой, относятся сплавы системы *Al-Cu-Mg* с добавками некоторых элементов

(дуралюмины, ковочные сплавы), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного химического состава.

Дуралюмины обозначаются буквой *Д* и цифрой, указывающей порядковый номер сплава в зависимости от химического состава.

Ковочные алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой, обозначаются в начале марки буквами *АК* и цифрами, указывающими порядковый номер сплава в зависимости от химического состава.

*Пример расшифровки:*

Д16 – дуралюминий, упрочняемый термообработкой, номер марки 16.

АК8 – алюминиевый ковочный сплав, упрочняемый термообработкой, номер 8.

*Алюминиевые антифрикционные сплавы*

Применяются для изготовления монометаллических и биметаллических подшипников методом литья и монометаллической и биметаллической ленты и полосы методом прокатки или сварки взрывом с последующей штамповкой из них вкладышей.

В соответствии с *ГОСТ 14113-78* обозначаются в начале марки буквой *А*, начальными буквами входящих в состав легирующих элементов и цифрами, указывающими процентное содержание элемента: АО9-2, АО3-7, АО6-1, АО9-1, АО12-1, АО20-1, АН-2,5, АСМ, АСМТ, АМК. В первых шести сплавах присутствует указанное количество олова и меди (первая цифра – олово, вторая – медь в %), в седьмом – 2,7-3,3 % *Ni* и в последних трех – сурьма (*С*), медь (*М*), теллур (*Т*) или кремний (*К*).

*Титан и его сплавы*

Титан – тугоплавкий металл серого цвета с невысокой плотностью (4500 кг/м<sup>3</sup>), температура плавления 1670 °С. Удельная прочность титана выше, чем у многих легированных конструкционных сталей, поэтому при замене сталей титановыми сплавами можно при равной прочности уменьшить массу детали на 40 %. Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него можно изготовить сложные отливки, но обработка резанием затруднительна. Для получения сплавов с улучшенными свойствами его легируют алюминием, хромом, молибденом, ванадием и другими элементами.

По технологии изготовления титановые сплавы подразделяются на деформируемые и литейные; по уровню механических свойств – на сплавы невысокой прочности и повышенной пластичности, средней прочности, высокопрочные; по условиям применения – на хладостойкие, жаропрочные, коррозионностойкие. По способности упрочняться термообработкой – на упрочняемые и неупрочняемые.

*Титан губчатый*

Применяется в качестве исходного материала для производства полуфабрикатов из титана и его сплавов, полученных магнетермическим способом с вакуумтермической очисткой.

В соответствии с *ГОСТ 17746-96* обозначается буквами *ТГ* и цифрами через тире, указывающими значение твердости по Бринеллю (НВ), определяемое при вдавливании стального шарика диаметром 10 мм с усилием 14715 Н (1500 кгс) в течение 30 с. В обозначении титана губчатого твердого добавляются буквы *Тв*.

*Пример расшифровки:* ТГ-100 – титан губчатый с твердостью по Бринеллю не более НВ 100 МПа.

ТГ-Тв – титан губчатый твердый.

*Литейные и деформируемые титан и его сплавы*

Применяются для изготовления полуфабрикатов (листов, лент, фольги, полос, плит, прутков, профилей, труб, поковок и штампованных заготовок) методом деформации и слитков.

В соответствии с *ГОСТ 19807-91* обозначаются буквами *ВТ, ОТ, ПТ* (*В, О, П* – идентификатор организации-разработчика или производителя, *Т* – титан) и цифрами, указывающими порядковый номер сплава в зависимости от химического состава:

*В* – ВИАМ титан – Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ, г. Москва);

*О* – Опытный титан – совместная разработка ВИАМ и Верхнесалдинского металлургического производственного объединения (ВСМПО, г. Верхняя Салда, Свердловская область);

*П* – Прометей титан – Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов "Прометей" (ЦНИИ КМ "Прометей", г. Санкт-Петербург).

В некоторых случаях после порядкового номера сплава ставится дополнительная буква:

*У* – улучшенный, *М* – модифицированный, *И* – специального назначения,

*Л* – литейный, *В* – с преобладанием ванадия в качестве легирующего элемента.

*Пример расшифровки:* ВТ8 – ВИАМ титановый сплав, номер марки 8.

ПТ-7М – Прометей титановый сплав, номер марки 7, модифицированный.

*Магний и его сплавы*

Магний – металл светло-серого цвета с гексагональной кристаллической решеткой, температура плавления 650 °С. Среди промышленных металлов магний обладает наименьшей плотностью (1740 кг/м<sup>3</sup>). Магний и его сплавы неустойчивы против коррозии, при повышении температуры магний интенсивно окисляется и даже самовоспламеняется. В чистом виде используется в пиротехнике и химической промышленности. Обладает малой прочностью и пластичностью, поэтому как конструкционный материал чистый магний не используется.

Для повышения химико-механических свойств в магниевые сплавы вводят алюминий, цинк, марганец и другие легирующие добавки, придающие высокую удельную прочность и способствующие хорошему поглощению вибрации, что позволяет широко использовать магниевые сплавы в авиационной и ракетной технике.

*Магний первичный в чушках*

Применяется для производства сплавов, магниетермических процессов, десульфурации чугуна в качестве химического реагента и других целей. В соответствии с *ГОСТ 804-93* обозначается буквами *Мг* и цифрами, указывающими содержание магния после запятой в процентах.

*Пример расшифровки:* Мг80 – магний первичный в чушках с содержанием магния 99,80 %.

*Магниевые литейные сплавы*

Применяются для изготовления фасонных отливок.

В соответствии с *ГОСТ 2856-79* обозначаются буквами *МЛ* и цифрами, указывающими порядковый номер сплава в зависимости от химического состава. В конце марки могут добавляться буквы:

*пч* – повышенной чистоты,

*он* – общего назначения.

*Пример расшифровки:*

МЛ3 – магниевый литейный сплав, номер марки 3.

МЛ5пч – магниевый литейный сплав, номер марки 5, повышенной чистоты.

*Магниевые деформируемые сплавы*

Применяются для изготовления полуфабрикатов (листов, плит, прутков, профилей, полос, труб, проволоки, штамповок и поковок) методом горячей деформации, а также слитков и слябов.

В соответствии с *ГОСТ 14957-76* обозначаются буквами *МА* и цифрами, указывающими порядковый номер сплава в зависимости от химического состава. В конце марки могут добавляться буквы: *пч* – повышенной чистоты.

*Пример расшифровки:*

МА1 – магниевый деформируемый сплав, номер марки 1.

МА8пч – магниевый деформируемый сплав, номер марки 8, повышенной чистоты.

Содержание и форма отчета о проделанной работе

1. Цель и задачи работы, применяемое оборудование и материалы, краткие теоретические сведения по теме.

2. Расшифрованные согласно предложенной методики марки конструкционных материалов.

3. Выводы по проделанной работе.

4. Список использованной литературы.

Контрольные вопросы

№	Марки конструкционных материалов
1	М006; АМг3; ВТ1-00; МЛ3
2	БрА9Мц2Л; АЛ19; ВТ1-0; МЛ4
3	БрА7Мц15Ж3Н2Ц2; А6; ОТ4-0; МА1
4	БрСу6Н3С18Ф; Д20; ВТ4; МЛ10
5	БрО4Мц7С5; АД0Е; ОТ4-1; МА2
6	БрОФ4-0,25; АЛ33; ОТ-4; МЛ19
7	ЛС63-2; АМц4; ВТ5; МЛ15
8	БрАЖН8-2-2; АК5М6; АЛ4; МЛ11
9	ЛА77-2; Д16; ВТ9; МА18
10	М2р; АЛ25; ВТ14; МА15
11	БрСу3Н3Ц3С20Ф; А8; ВТ16; МЛ5
12	ЛЖМц64-3-6; А8Е; ВТ2-0; МЛ15
13	ЛЦ40Мц3А; АЛ21; ВТ20; МА17
14	ЛЖМц59-1-1; АК4М4; ВТ22; МЛ6
15	ЛС59-1; Д12; ПТ-7М; МЛ10
16	Л68; А5Е; ПТ-3В; МА12
17	БрАЖН10-4-4; АЛ2; ВТ9; МА11
18	БрА7Мц15Ж3Н2Ц2; АК9; ВТ5; МЛ8
19	БрА9Ж4Н4Мц1; АМг6; ВТ1-0; МА21
20	ЛЦ30А8Ж6Мц5А; Д10; А7; ВТ6
21	ЛЦ23А6Ж3Мц2; Д16; ВТ16; МЛ19
22	ЛАМш77-2-0,05; АЛ23; ВТ5; МА18
23	БрОФ6,5-0,15; Д18; ВТ1-00; МА19
24	ЛК80-3; АК4М4; ВТ22; МЛ8
25	БрКМц3-1; АК7; ВТ20; МЛ12
26	БрО6Ц6С3; АЛ9; ПТ-3В; МА2
27	ЛЦ38Мц2С2; АМг2; ВТ14; МА20
28	БрОФ8-0,5; ВТ10; АО9-2; ПТ-7М
29	БрАЖНМц9-4-4-1; АД0; ВТ14; МЛ4
30	ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5; А7; ВТ9; МЛ9

## Лабораторная работа

### Неметаллические материалы. Получение изделий из пластмасс

**Цель работы:** ознакомиться с технологическим процессом изготовления деталей из пресс-порошков методом горячего прессования, определить усадку и предел прочности при сжатии.

#### Основные теоретические положения

*Физическое состояние и структура пластических масс*

*Пластическими массами* (пластмассами) называют материалы, основу которых составляют природные или синтетические высокомолекулярные соединения, находящиеся в твердом состоянии при условиях эксплуатации.

Высокомолекулярные соединения состоят из большого числа низкомолекулярных соединений (мономеров), связанных между собой силами главных валентных связей. Соединения, большие молекулы (макромолекулы) которых состоят из одинаковых структурных звеньев, называют *полимерами*. Так, полимер полиэтилена  $(-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2) \times n$  получают при полимеризации  $n$ -го числа мономеров  $CH_2 = CH_2$  (молекул газа этилена).

Макромолекулы полимеров могут иметь линейную форму, разветвленную и пространственную (сшитую).

Макромолекулы линейных полимеров (рис. 1а) представляют собой цепи из элементарных звеньев, длина которых в сотни и тысячи раз превышает размеры поперечного сечения. Наличие в цепях разветвлений (рис. 1б) приводит к ослаблению межмолекулярных сил и тем самым к снижению температуры размягчения полимера. При сетчатом расположении поперечных связей (рис. 1в) полимер становится полностью неплавким и нерастворимым.

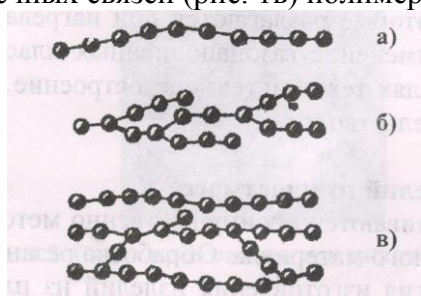


Рис. 1 Схемы строения молекул: а) линейная, б) разветвленная, в) сетчатая (пространственная)

*Классификация и технологические свойства пластмасс*

В зависимости от поведения при повышенных температурах полимеры подразделяют на термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты).

*Термопласты* (полиэтилен, капрон, винипласт, полистирол, органическое стекло и др.) при нагреве размягчаются и расплавляются, затем вновь затвердевают при охлаждении. Переход термопластов из одного физического состояния в другое может осуществляться неоднократно почти без изменения химического состава. Термопласты имеют линейную или разветвленную структуру молекул.

*Реактопласты* (фенопласт, аминопласт, эпоксидные, полиуретановые и др. пластики) при нагреве превращаются в вязкотекучее состояние и в результате химической реакции переходят в твердое необратимое состояние. Отвержденные реактопласты нельзя повторным нагревом вновь перевести в вязкотекучее состояние. Термореактивные смолы (полиэфирная, эпоксидная) относятся к числу самотвердеющих при комнатной температуре.

Пластмассы разделяют на *жесткие*, имеющие незначительное удлинение и называемые пластиками, и *мягкие*, обладающие большим относительным удлинением и малой упругостью и называемые эластичными.

В зависимости от числа компонентов все пластмассы подразделяют на *простые* и *композиционные*.

*Простые* (полиэтилен, полистирол и т.д.) состоят из одного компонента — синтетической смолы; *композиционные* (фенопласты, аминопласты и др.) - из нескольких составляющих, каждая из которых выполняет определенную функциональную роль.

В композиционных пластмассах смола является связующим для других составляющих. Свойства связующего во многом определяют физико-механические и технологические свойства пластмассы. Содержание связующего в композиционных пластмассах достигает 30— 70%, и в отдельных случаях (норпласты) составляет всего 5%.

Помимо связующего, в состав композиционных пластмасс входят наполнители, пластификаторы, смазывающие вещества, катализаторы и красители.

*Наполнители* — вещества, вводимые в полимерные материалы для снижения хрупкости, повышения механической прочности, теплостойкости, уменьшения усадки и снижения стоимости композиции. Органические наполнители — древесная мука, хлопковые очесы, целлюлоза, хлопчатобумажная ткань, бумага, древесный шпон и др. Неорганические — графит, асбест, кварц, стекловолокно, стеклоткань и др. По виду: порошковые, волокнистые, слоистые.

*Пластификаторы* (дибутилфталат, касторовое масло, камфора и др.) увеличивают пластичность, гибкость, ударную вязкость и уменьшают хрупкость пластмасс.

*Смазывающие вещества* (стеарин, олеиновая кислота и др.) увеличивают текучесть, уменьшают трение между частицами композиций, устраняют прилипание к пресс-форме.

*Катализаторы* (известь, магнезия и др.) ускоряют процесс отверждения пластмасс.

*Красители* (сурик, двуокись титана, ультрамарин, охра, сажа, окись хрома и др.) придают изделиям нужный цвет.

При изготовлении газонаполненных пластмасс (поро- и пенопластов) в полимеры вводят газообразователи — вещества, которые разлагаются при нагревании с выделением газообразных продуктов. Основное применение газонаполненных пластмасс — теплоизоляция и звукоизоляция в различных отраслях техники (самолетостроение и судостроение, холодильная и химическая техника, строительство и т.д.).

#### *Технология получения изделий из пластмасс*

Изделия из пластмасс изготавливаются преимущественно методами, основанными на использовании пластичности исходного материала. Обработка резанием применяется лишь при доводочных операциях. Технология изготовления изделий из пластмасс складывается из ряда процессов, выбор которых зависит от свойств исходного материала и требований, предъявляемых к готовым изделиям, и должна обеспечить необходимую точность и наибольшую производительность, а также сохранить или улучшить свойства исходного материала.

Все способы переработки пластмасс в изделия наиболее целесообразно разбить на следующие основные группы:

- 1) переработка в вязкотекучем состоянии (прессованием, литьем под давлением, выдавливанием и др.);
- 2) переработка в высокоэластическом состоянии (пневмо- и вакуум-формовкой, штамповкой и др.);
- 3) получение изделий из жидких полимеров (различными способами формообразования);
- 4) переработка в твердом состоянии (разделительной штамповкой и обработкой резанием);
- 5) получение неразъемных соединений (сваркой и склеиванием);
- 6) различные способы нанесения покрытий (металлизация, напыление и др.).

Для повышения производительности прессования и повышения качества детали ее изготовление часто производят в две стадии: таблетирование и собственно прессование.

Таблетирование — это процесс изготовления из пресс-материала заготовки в виде сплошного цилиндра — таблетки для дальнейшего прессования.

Таблетирование пресс-порошка является предварительной операцией, позволяющей:

- упростить операции дозирования;



- уменьшить объем загрузочной камеры пресс-формы для горячего прессования;
- применить дополнительный подогрев;
- сократить число подпрессовок, так как при таблетировании удаляется большая часть воздуха.

Схемы прессования при таблетировании и извлечение таблетки показаны на рисунках 2 и 3.

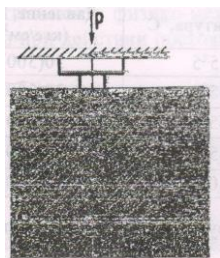


Рис.2 Схема прессования при таблетировании

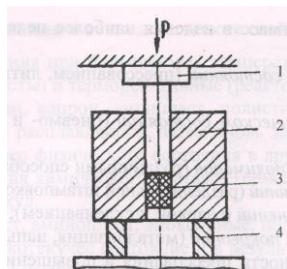


Рис. 3 Извлечение таблетки из пресс-формы  
1-верхний пуансон, 2-матрица, 3-таблетка, 4 -кольцо

Прессование при таблетировании производится до тех пор, пока показания манометра  $P_m$  не достигнут величины, определяемой по формуле:

$$P_m = P_{пр} \cdot F_t / F_p$$

где  $P_{пр}$  — давление прессования, равное 250 МПа (2500 кгс/см<sup>2</sup>);  
 $F_t$  — площадь поперечного сечения таблетки в см<sup>2</sup>;  
 $F_p$  — площадь поршня пресса, равная 26,4 см<sup>2</sup>.

Режимами горячего прессования являются: давление, температура и время выдержки под давлением. Схема его представлена на рисунке 4. Показания манометра при горячем прессовании  $P_m$  определяются по формуле:

$$P_m = P_{пр} \cdot F_0 / F_p$$

где  $P_{пр}$  — давление при горячем прессовании, в МПа (кгс/см<sup>2</sup>), определяемое по таблице 1;  
 $F_0$  — площадь поперечного сечения образца в см<sup>2</sup>

Время выдержки  $t$  под давлением в нагретой пресс-форме определяется по формуле:  
 $t = t_0 \times d$ , где  $t_0$  — время выдержки на 1 мм диаметра изделия в минуту, определяемое по таблице 1;  $d$ - диаметр образца в мм.

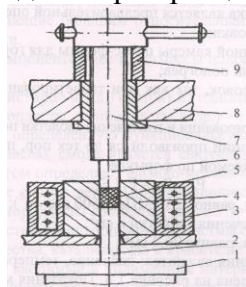


Рис.4 Схема горячего прессования  
1- стол пресса, 2-нижний пуансон, 3- нагреватель, 4- матрица, 5- образец, 6- верхний пуансон, 7- винт, 8- траверса пресса, 9- кольцо

Таблица 1

Температура горячего прессования определяется в зависимости от марки пресс-материала

Режимы горячего прессования материала			
Марка пластмассы	Температура, °С	Давление, МПа (кг с/см <sup>2</sup> )	Время выдержки на 1 мм d изделия
К-18-2	155±5	30 (300)	0,8
К-119-2	155±5	30 (300)	1,0
К-18-53	165±5	30 (300)	0,8
У1-301-07	155±5	30 (300)	1,0
КФФ1	140±5	30 (300)	1,5

### Физико-механические свойства пластмасс

Свойства пластмасс зависят от многих факторов: химического состава, структуры молекул, типа межмолекулярных связей, степени полимеризации, вида наполнителей и других добавок, количества и чистоты добавок и др.

К положительным свойствам пластмасс относятся следующие:

- *малая плотность* (пластмассы в среднем в 2 раза легче алюминиевых сплавов);
- *относительно высокие прочностные свойства* (отдельные виды пластмасс прочнее дерева, керамики, цветных металлов и сплавов; почти все виды пластмасс обладают достаточно высокими значениями ударной вязкости);
- *высокие диэлектрические свойства* (пластмассы являются одним из лучших электроизоляционных материалов, используемых в электротехнике);
- *высокая стойкость к агрессивным средам* (особенно высокой химической стойкостью обладает фторопласт-4);
- *относительно высокая теплостойкость*, составляющая в среднем 70—300°C (более высокую теплостойкость имеют ароматические полиамиды, полибензимидазолы 350-450°C).
- *хорошие клеящие свойства* (используются для изготовления клеев, лакокрасочных покрытий, замазок);
- *хороший товарный вид*;
- *некоторые виды прозрачны, пропускают ультрафиолетовые лучи, обладают звукоизоляцией, поглощают и гасят вибрации и т. д.*

К отрицательным свойствам пластмасс можно отнести: старение (ухудшение со временем свойств и товарного вида); чувствительность физико-механических свойств к температуре; ползучесть (увеличение деформации при действии постоянной нагрузки даже при комнатной температуре).

Физико-механические свойства некоторых термореактивных пластмасс представлены в таблице 2.

Таблица 2

### Основные физико-механические свойства термореактивных пластмасс

Тип пластмассы	Товарное название пластмассы	Марка пластмассы	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при растяжении, МПа*	Предел прочности при сжатии, МПа*	Относительное, удлинение при разрыве, %	Твердость по Бринеллю, НВ	Усадка, %
Фенольный	Пресс-порошки	К-18-2	1,4	30—45	160	0,3—0,6	30—40	0,6—1,0
		К-119-2	1,4	30—45	160	0,3—0,6	30—50	0,6—1,0
		К-18-53	1,75	25—40	140	0,3—0,6	30—50	0,7—0,8
	Фенопласт ударопрочный	У1-301-07	1,45	30—60	120	0,38	25	0,3—0,6
Аминопласт	Масса прессовочная	КФА1	1,6	30—50	130	0,2—0,6	30—40	0,8—1,0

Примечание: \*1 МПа = 10 кгс/см<sup>2</sup>

В результате сложных физико-химических процессов, происходящих в пресс-материале во время формообразования, возникает усадка деталей из пластмасс.

Усадкой называется уменьшение размеров изделия в сравнении с размерами оформляющих частей пресс-формы.

Величина средней усадки образцов по диаметру К определяется по формуле:

$K = \frac{\sum(D_M - D_{i-j})}{6D_M} \cdot 100\%$ , где  $D_M$  — диаметр отверстия матрицы в мм (указан на матрице);  $D$  — диаметр образца в мм;  $i$  — номер образца;  $j$  — номер замера.

Одной из основных конструктивных характеристик пластмасс является предел прочности при сжатии  $\delta$ , определяемый по формуле:

$\delta = P / F_0$ , где  $P$  — разрушающая нагрузка в кН (кгс/см);  
 $F_0$  — площади поперечного сечения образца до испытания в см<sup>2</sup>.

Учитывая, что

$P = P_m \times F_p$ , где  $P_m$  — показания манометра, кН (кгс/см<sup>2</sup>),

$F_p$  — площадь поршня пресса, см<sup>2</sup>

Среднее значение предела прочности, по данным испытания трех образцов, находится по формуле в МПа:

$$\delta = (P_{m1} + P_{m2} + P_{m3}) F_p / 3F_0$$

Работа выполняется с использованием фенольного пресс-порошка К-18-2 следующего состава: - новолачная фенолоформальдегидная смола — 43,55%;

- древесная мука — 42,20%; - каолин — 4,60%;

- уротропин — 6,60%; - стеарин — 1,05%.

Полимерная термореактивная смола (I) является основой пресс-порошка, связывающей все его компоненты и определяющей основную гамму его свойств (прочность, термостойкость и т.п.). Древесная мука (2) и каолин (3) — это наполнители, снижающие стоимость пресс-порошка (древесная мука) и повышающие его жесткость и твердость (каолин). Уротропин (4) — катализатор, ускоряющий процесс отверждения (сшивки) смолы. Стеарин (5) — это смазывающее вещество, предотвращающее прилипание пресс-порошка к форме и повышающее его технологическую пластичность.

Оборудование и приборы

1. Пресс гидравлический настольный усилием 40 кН.
2. Пресс-форма для таблетирования с кольцом для распрессовки.
3. Пресс-форма для горячего прессования, смонтированная на столе гидравлического настольного пресса, усилием 40 кН с кольцами для установки пуансонов.
4. Милливольтметр для контроля температуры при горячем прессовании.
5. Микрометр МКО-25 ГОСТ 6507-90.
6. Ящик с пресс-порошком К-18-2.
7. Мерный стаканчик.
8. Пресс гидравлический испытательный.

*Порядок выполнения работы*

1. Ознакомиться с общими сведениями о пластмассах и подготовить протокол отчета (см. приложение).
  2. Рассчитать по формуле показания манометра при таблетировании.
  3. Вставить нижний пуансон (более короткий) в пресс-форму для таблетирования и установить ее на стол пресса.
  4. Загрузить мерным стаканчиком дозу пресс-материала в матрицу и установить верхний пуансон.
  5. Закрыть клапан пресса и произвести прессование до рассчитанной величины показаний манометра пресса.
  6. Открыть клапан пресса, опустить его стол, вынуть из пресс-формы нижний пуансон и подложить под матрицу кольцо для распрессовки.
- Примечание: если нижний пуансон не вынимается, то установить кольцо для распрессовки под матрицу вместе с нижним пуансоном.
7. Закрыть клапан пресса и выпрессовать таблетку (или таблетку вместе с нижним пуансоном) из пресс-формы. Отпрессовать шесть таблеток.
  8. Определить режимы горячего прессования.
  9. Включить нагреватель и поднять температуру пресс-формы до рассчитанной.
  10. Закрыть клапан пресса, на столе которого закреплена пресс-форма для горячего прессования, установить на нижний пуансон кольцо № 1 и поднять стол пресса до упора. Показание манометра не должно отклоняться от начального. Снять кольцо № 1.
  11. Вывинтить винт с верхним пуансоном, вставить в матрицу пресс-формы две таблетки.

12. Установить между головкой винта и траверсой пресса кольцо № 2 и завинтить винт до упора.

13. Выполнить прессование образцов, подняв давление до расчетного и выдержав нагрузку в течение времени, найденного по формуле (3).

14. Снять кольцо №2, открыть клапан пресса и выпрессовать образец из пресс-формы верхним винтом. Отпрессовать три образца.

15. Определить среднюю усадку образцов, замерив дважды их диаметр микрометром (в двух местах) и рассчитав по формуле (4). Результаты занести в таблицу 1 протокола.

16. Установить образец на стол испытательного пресса и повышать давление до разрушения образца. При этом зафиксировать показание манометра.

Повторить описанные действия для трех образцов. Результаты после подсчета по формуле (6) занести в таблицу 2 протокола.

### Контрольные вопросы

1. Какие материалы называются полимерами?
2. Какие материалы относятся к термопластичным? Чем характеризуются их свойства?
3. Какие материалы относятся к термореактивным? В чем состоит особенность их свойств?
4. Какие бывают наполнители? Как они влияют на свойства пластмасс?
5. Назовите способы переработки пластмасс в изделия.
6. С какой целью в полуфабрикаты вводятся пластификаторы и катализаторы?
7. Для чего необходимо знать усадку материала?
8. Для чего проводится операция таблетирования?
9. Расскажите о процессе получения изделий из термореактивных пластмасс.
10. Что является наполнителем в пресс-порошке К-18-2? Какова его функция?
11. С какой целью в пресс-порошок К-18-2 добавлен уротропин?
12. На конструкционные или на технологические свойства пресс-порошка влияет стеарин?

### Образец оформления лабораторной работы

#### Цель работы

1. Таблетирование: провести расчет показания манометра
2. Горячее прессование: вычертить схему горячего прессования (рис.3); провести расчеты показаний манометра; времени выдержки.
3. Определение усадки:
  - произвести измерение диаметров образцов; заполнить таблицу 3 отчета о лабораторной работе; вычислить среднее значение усадки.

Таблица 3

#### Усадка по диаметру

Диаметр отверстия матрицы	Диаметр образцов						Среднее значение усадки, %
	1 образец		2 образец		3 образец		
	1-й замер	1-й замер	1-й замер	1-й замер	1-й замер	1-й замер	
D м	D1-1	D1-2	D2-1	D2-2	D3-1	D3-2	K <sub>ср</sub>

4. Определение предела прочности при сжатии:

- произвести испытания образцов;
- заполнить таблицу 2 отчета о лабораторной работе;
- вычислить среднее значение предела прочности при сжатии.

Таблица 4

#### Предел прочности при сжатии

Показания манометра при разрушении, кгс/см <sup>3</sup>	Площадь поршня, см <sup>2</sup>	Площадь образца, см <sup>2</sup>	Предел прочности, МПа

## **Лабораторная работа** **Технология изготовления литейной формы**

### **Цель работы:**

- разработка чертежа заготовки и технологии получения отливки в песчаные формы.

Задание состоит в разработке чертежа модели и технологии получения отливки в песчаные формы. Исходными данными для разработки является чертеж детали, который выдается студенту индивидуально с указанием марки сплава и серийности производства. Задание выполняется последовательно по этапам:

- выбор способа формовки и поверхности разъема формы;
- разработка чертежа отливки;
- разработка чертежа модели;
- разработка чертежа стержневого ящика;
- выбор типа и определение размеров литниковой системы;
- определение размера опок;
- разработка чертежа "форма в сборе",
- оформление работы.

### **Краткие теоретические положения**

#### *Выбор способа формовки и поверхности разъема формы*

При выборе способа формовки необходимо учитывать размеры детали, ее конфигурацию и серийность производства, для единичного производства применяет ручную формовку по деревянной модели. При серийном и массовом производстве разовые форма изготавливают на формовочных машинах по металлическим или пластмассовым модельным плитам.

Для облегчения изготовления отливки форму и модель делают разъемными. При определении плоскости разъема формы модели руководствуются следующими соображениями:

- модель или части модели должны свободно выниматься из набитой формовочной смесью опоки;
- надо стремиться располагать всю отливку в нижней опоке, это предотвращает появление брака при перекосах;
- если формовать по цельной модели невозможно, следует помещать в нижней опоке более высокую часть, а верхней опоке меньшую часть. Это делает верхнюю полуформу более легкой;
- количество стержней должно быть минимальное, расположение стержней предпочтительно горизонтальное;
- наиболее ответственные поверхности, подвергающиеся механической обработке, по возможности располагать внизу или в вертикальной плоскости, так как верхние поверхности получаются менее плотными и чистыми.

#### *Разработка чертежа отливки*

Основой для проектирования отливки является чертеж детали (рис. 1, а, б). На чертеж детали условными обозначениями наносят: припуски на механическую обработку 2; технологические припуски (литейные уклоны 4, напуски 5, галтели); линии разъема формы и модели 1; контуры стержней 3 и их знаковых частей 6; место подвода питателя и установки прибылей (если они потребуются); все необходимые размеры, марку сплава, процент усадки и т.п. (рис. 1, в, г).

*Припуск на механическую обработку* – дополнительный слой металла, который удаляют в процессе механической обработки отливки, чтобы обеспечить точность и высокое качество поверхности детали. Припуски на механическую обработку назначают на поверхности, где

указан знак обработки  $\nabla$ . На чертеже детали припуск на механическую обработку указывают тонкой линией, штриховой или красным карандашом. Величина припуска на механическую обработку регламентируется ГОСТами 1855-55 и 2009-55.

В таблицах 1 и 2 приведена величина припусков на механическую обработку чугунных и стальных отливок для низа и боковых поверхностей. Для верха припуск надо увеличивать на 30 %, т.к. во время заливки различные неметаллические включения (пузырьки газов, шлак и т.д. всплывают и загрязняют поверхность отливки.). Минимальный припуск назначается для отливок массового производства, изготовляемых по точной оснастке, машинной формовкой и на точном оборудовании. Максимальный – для отливок, получаемых ручной формовкой в условиях единичного производства.

Таблица 1

Припуски на механическую обработку для низа и боковых поверхностей отливок при стальном литье

Наибольший габаритный размер детали, мм	Номинальный размер обрабатываемой поверхности, мм				
	51-120	121-260	261-500	501-800	801-1250
До 120	3,0-4,5	–	–	–	–
121-260	3,0-4,5	3,5-5,0	–	–	–
261-500	3,0-4,5	4,0-5,5	4,0-6,0	–	–
501-800	4,0-5,0	4,5-5,5	5,0-6,0	5,0-7,0	–
801-1250	5,0-6,0	5,0-6,0	6,0-7,0	6,0-7,0	6,0-8,0

Таблица 2

Припуски на механическую обработку для низа и боковых поверхностей отливок

Наибольший габаритный размер детали, мм	Номинальный размер обрабатываемой поверхности, мм					
	до 50	51-120	121-260	261-500	501-800	801-3000
До 120	2,0-2,5	2,0-3,5	–	–	–	–
121-260	2,0-3,0	2,5-4,0	2,5-4,5	–	–	–
261-500	2,5-3,5	3,0-4,5	3,5-5,0	3,5-6,0	–	–
501-800	3,5-4,0	3,5-5,0	4,0-5,0	4,5-6,0	4,5-7,0	–
801-1250	3,5-4,0	4,0-5,5	4,5-6,0	4,5-6,0	4,5-7,0	5,0-7,5
1251-5000	4,0-4,5	4,5-6,0	5,0-6,0	5,0-7,0	5,0-7,0	5,5-9,0

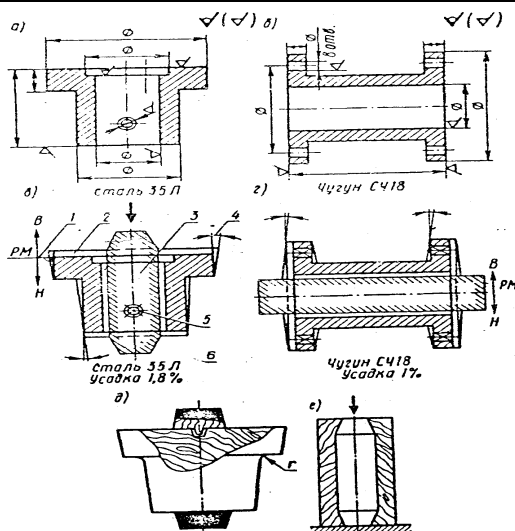


Рис. 1

Литейные (формовочные) уклоны на отливке служат для удобства извлечения моделей из формы без разрушения ее и для свободного удаления стержня из стержневого ящика.

Уклоны выполняют в направлении извлечения модели из формы. На чертеже формовочные уклоны указывают как и припуски на механическую обработку – красным карандашом или тонкими линиями. Величина формовочных уклонов регламентируется ГОСТом 3212-57 (табл. 3).

Таблица 3

Измеряемая высота вертикальной поверхности, мм	Уклоны угла моделей (не более)	
	Металлических	Деревянных
до 20	1°30'	3°
21-50	1°	1°30'
51-100	0°45'	1°
101-200	0°30'	0°45'
201-300	0°30'	0°30'
301-500	0°20'	0°30'
501-600	0°20'	0°20'

*Напуск* служит для упрощения изготовления отливки. Так, отверстия в отливке диаметром 20-30 мм в условиях массового и серийного производства и диаметром до 50 мм в условиях единичного производства можно не делать, так как их целесообразнее просверлить в процессе механической обработки. В этом случае на чертеже отливки отверстия зачеркивают тонкими линиями.

*Галтели* – закругления внутреннего угла отливки в модели (рис. 1, д) для получения плавного перехода в сопрягаемых стенках. С помощью галтелей исключается осыпание формовочной смеси в углах модели при ее извлечении из формы. Нормальный ряд радиусов: 1, 2, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30 и 40 мм. Радиусы галтелей составляют 1/5-1/3 средней арифметической толщины сопряженных стенок отливки.

*Плоскость разъема* формы и модели обозначают на чертежах буквами РН (разъем модели) и двумя стрелками с буквами В (вверх) и Н (низ). Выбор положения плоскости разъема изложен в пункте 1.

*Литейный стержень* – элемент литейной формы для образования отверстия, полости или иного сложного контура в отливке. Стержни предотвращают попадание жидкого металла в те участки литейной формы, которые соответствуют пустотам в теле отливки. Стержни бывают вертикальные и горизонтальные, в зависимости от их положения при установке в форму. Конфигурацию и размеры стержней определяют с учетом усадки металлов и припусков на механическую обработку. Для правильной установки и крепления стержней в форме служат знаковые части стержня, которые входят в знаковые гнезда формы. Знаковые части у горизонтальных стержней делают прямыми, а у вертикальных – с уклоном для удобства сборки формы. Для нанесения контура знаковых частей стержня необходимо определить их длину и величину уклонов. Длину знаков вертикального стержня определяют в зависимости от длины стержня и его диаметра. Нижние знаки вертикальных стержней являются опорными, поэтому их высота больше высоты верхних знаков. Высоту нижнего знака определяют по таблице 4, а высоту верхнего принимают равной 60 % от высоты нижнего.

Таблица 4

Высота нижних вертикальных знаков стержня, мм

Диаметр стержня, мм	Длина стержня, мм			
	до 150	151-500	501-1000	1001 и выше
До 100	20-30	50-70	100-120	–
101-400	30-40	40-60	70-100	140-190
401-1000	40-50	40-50	60-100	110-180
1001 и выше	60-100	60-110	60-110	80-150

Углы наклона вертикальных знаков, расположенных в нижней опоке, принимают 7-15° при небольшой длине знаков и 2-3° для знаков большой длины (свыше 80 мм). Для знаков, расположенных в верхней опоке, уклоны увеличивают в 1,5 раза.

Таблица 5

Диаметр стержня, мм	Длина стержня, мм						
	до 50	51-150	151-300	301-500	501-750	750-1000	1001-1500
до 25	15	25	40	–	–	–	–
25-50	20	30	45	60	–	–	–
51-100	25	35	50	70	90	110	–
101-200	30	40	55	80	100	120	140
201-300	–	50	60	90	110	130	150
301-400	–	–	80	100	120	140	160
401-500	–	–	100	120	130	150	180
501-750	–	–	–	140	150	170	200

На чертеже стержни в разрезе штрихуют по контуру. Если стержней несколько, для каждого стержня применяют свою, отличающуюся от других штриховку.

#### *Составление чертежа модели*

*Модель* – приспособление для получения в форме отпечатка, соответствующего конфигурации внешней поверхности отливки. Чертеж модели составляют по наружным очертаниям детали с технологическими указаниями, размеры увеличивают на коэффициент линейной усадки. В среднем коэффициент линейной усадки принимается для серого чугуна – 1 %, для стали – 2 %. На рис. 1, д дан эскиз деревянной модели для ручной формовки. Модель имеет знаковые части (они закрашены черным цветом), необходимые для получения отпечатков в форме для установки стержней. Знаковые части на моделях делают несколько больших размеров, чем у стержней. Это необходимо для того, чтобы между поверхностью отпечатка знаковой части и знаком стержня образовался зазор. При машинном способе изготовления формы применяют металлические модельные плиты, на которые монтируют модели и элементы литниковой системы. На рис. 2 показана нижняя (а) и верхняя (б) модельные плиты для изготовления формы чугунной отливки. Модель состоит из двух половин.

#### *Составление чертежа стержневого ящика*

*Стержневой ящик* – приспособление, имеющее рабочую полость для получения в ней стержня нужного размера и очертания из стержневой смеси. Вначале вычерчивают полость стержневого ящика по контурным размерам стержня, увеличенным на коэффициент линейной усадки. Затем назначают толщину стенки ящика, обеспечивающую достаточную его прочность при эксплуатации. Толщину стенки деревянного стержневого ящика, наиболее широко используемого для изготовления стержней в единичном производстве, можно ориентировочно определить по таблице 6. Разъемы ящика должны обеспечить свободное извлечение стержня. Основные направления набивки стержня на чертеже показывают стрелкой (рис. 1, е).

В серийном и массовом производстве стержневые ящики делают из металла.

Таблица 6

#### Толщина стенки деревянного ящика

Размера полости ящика (диаметр, ширина), мм	Толщина стенки, мм
До 50	20-40
51-100	25-50
101-200	30-60
201-400	70-80
Более 400	80-100



### Выбор типа и определение размеров литниковой системы

*Литниковой системой* называется система каналов, по которым металл направляется из ковша в полость формы. Элементами литниковой системы (рис. 2 и 3) являются литниковая чаша или воронка 6, стояк 4, шлакоуловитель 3, питатель 2, прибыль 7 и выпор 5. Однако для различных сплавов литниковые системы имеют некоторые особенности.

*Литниковая чаша* или *воронка* служит для приемки металла из ковша и для задержки шлака во время заливки.

*Стояк* – вертикальный канал, предназначенный для передачи металла из ковша к другим элементам литниковой системы. Делается с формовочным уклоном 2-4°.

*Шлакоуловитель* – горизонтальный канал, который служит для распределения металла, поступающего от стояка по питателям и улавливания при этом шлака. Делается обычно по плоскостям разреза формы в верхней опоке. Используется при чугунном литье.

*Питатели* – горизонтальные каналы, по которым металл течет в полость формы. Устраиваются под шлакоуловителем, чаще в нижней опоке. Количество питателей и их расположение выбирают в зависимости от характера заливаемых деталей и марки сплава. Для отливок из серого чугуна, имеющего малую усадку и хорошую жидкотекучесть, рекомендуют металл подводить в тонкую часть отливки. Сталь, имеющая большую усадку и пониженную жидкотекучесть, подводится в толстое сечение под прибыль с тем, чтобы разогреть форму около прибыли и улучшить питание затвердевающей отливки.

Общую площадь сечения питателей  $F_{пит}$  можно определить по упрощенной формуле

$$\left[ \frac{Q}{M} \right]^2, \text{ см}^2,$$

где  $Q$  – масса отливки, кг;  $M$  – коэффициент, зависящий от толщины сечения отливки.

До 14 мм	16-30 мм	Свыше 30 мм
0,41	0,47	0,55

Площадь сечения шлакоуловителя и стояка определяется из соотношения  $F_{ст}:F_{шл}:F_{пит}$ , которое принимается равным 1,4:1,2:1,0 для отливок средних размеров и 1,2:1,1:1,0 для тонкостенного литья.

*Выпоры* – вертикальные каналы, которые устраивают на самых верхних частях отливки. Они служат для отвода из полости формы воздуха, газов и сигнализации о конце заливки. Площадь поперечного сечения выпоров можно принять равной площади сечения стояка. В верхней части диаметр делается больше на 10-15 %.

*Прибыли* – массивные приливы над наиболее толстыми сечениями отливки, служащие для питания жидким металлом усадочной раковины, образующейся при кристаллизации отливки. Используется в литниковых системах для сплавов с большой усадкой, в частности, сталей. В среднем масса прибыли составляет 0,6 от массы отливки. Для литья из серого чугуна в прибыли, как правило, нет необходимости.

Примеры различных типов литниковой системы приведены на рис. 2, 3, 4.

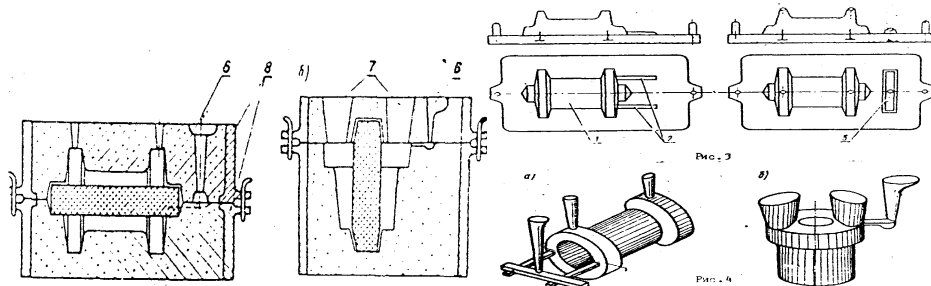


Рис. 2

### Определение размеров опоки

*Литейная опока* – жесткая металлическая рамка, служащая для удержания формовочной смеси при изготовлении литейной формы, ее транспортировке и заливке жидким металлом. При сборке опоки 8 (рис. 3) соединяют с помощью втулок и штырей. Для лучшего использования опоки при формовке мелких деталей в одной опоке располагают несколько отливок с общей литниковой системой. В данном задании для упрощения допускается расположение в опоке одной отливки.

Вокруг отливки слой формовочной смеси должен быть минимальным, но достаточным, чтобы исключить деформацию формы давлением жидкого металла. Расстояния между моделями, литниковой системой и стенками опоки выбираются из таблицы 7.

Таблица 7

Допустимые расстояния между моделями и элементами формы

Вес отливки, кг	Допустимые значения, мм				
	От верха модели до верха опоки	От низа модели до низа опоки	От модели до стенки опоки	От края стояка до стенки опоки	От кромки шлакоуловителя до кромки модели
До 5	40	40	30	30	30
5-10	50	50	40	40	30
10-25	60	60	40	50	30
25-50	70	70	50	50	40
50-100	90	90	50	60	50
100-250	100	100	60	70	60
250-500	120	120	70	80	70

### Составление чертежа "Форма в сборе"

Сборкой называется процесс соединения отдельных частей формы в одно целое и подготовка формы к заливке. Форма в сборе должна быть показана на чертеже в разрезе так, чтобы ясно было видно положение стержней и литниковых каналов, выпоров, прибылей и способа крепления опоки. На рис. 3, *а* и 3, *б* показаны формы в сборе для отливки соответственно чугуна и стальной детали, а на рис. 4, *а* и 4, *б* – готовые отливки с литниковой системой.

### Оформление работы

Для выполнения отчета по работе необходимо подготовить тетрадь из трех развернутых листов. Первая страница оформляется как титульный лист с указанием темы "Расчет чертежа литейной модели" и фамилий исполнителя и проверяющего.

На третьей странице выполняется эскиз заданной детали, а на пятой странице эскиз модели с указанием всех размеров. На шестой и седьмой страницах в общем виде показывается литейная форма в сборе без указания размеров. Эскиз отливки показывается на девятой странице с указанием только габаритных размеров.

Все расчеты отливки, модели, литниковой системы, стержня должны быть показаны в тетради на свободных от эскизов страницах, начиная с четвертой.

При выполнении чертежа "Форма в сборе" необходимо учитывать зазоры от элементов формы до стенок и низа опоки в соответствии с данными таблицы 7.

По усмотрению преподавателя в зависимости от специальности студента форма выполнения работы может быть другой.

Например разделить лист стандартного формата А3 на 4 части. В верхней левой части выполняют технологический чертеж отливки. В верхней правой части листа выполняют чертеж модели, а в нижней левой – чертеж стержневого ящика со всеми необходимыми разрезами и

проставкой основных размеров. В нижней правой части листа приводится "Форма в сборе". Расчеты и пояснительного текста не требуется.

Эскизы деталей к заданию

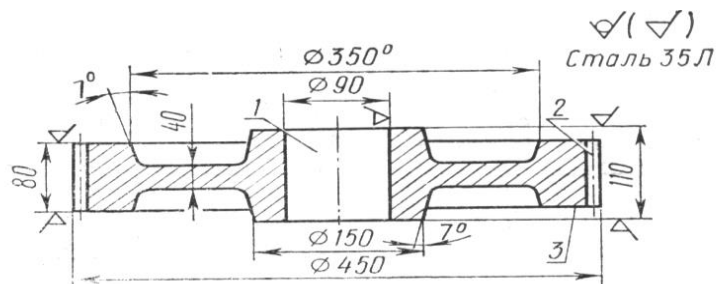


Рис.1

По эскизу детали (рис.1) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы модели, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

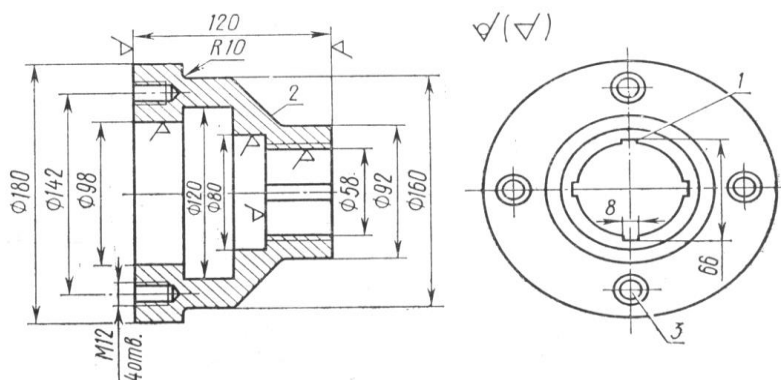


Рис.2

По эскизу детали (рис.2) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы модели, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

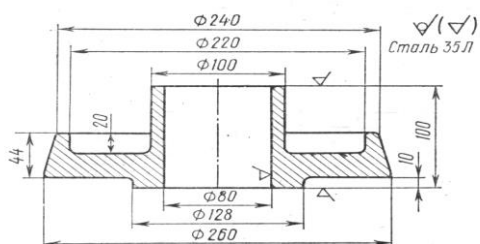


Рис.3

По эскизу детали (рис.3) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы модели, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

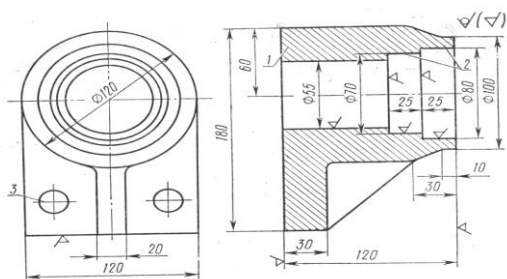


Рис.4

По эскизу детали (рис.4) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы модели, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

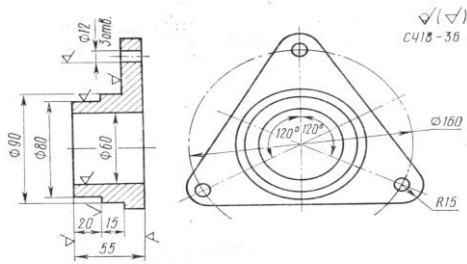


Рис.5

По эскизу детали (рис.5) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы металлических модельных плит, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

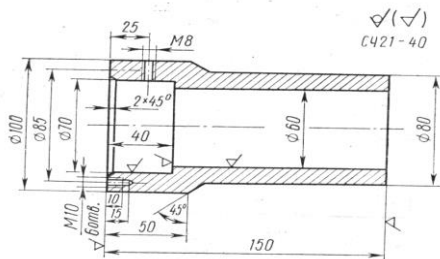


Рис.6

По эскизу детали (рис.6) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы металлических модельных плит, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

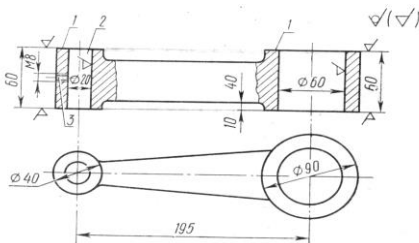


Рис.7

По эскизу детали (рис.7) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы металлических модельных плит, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

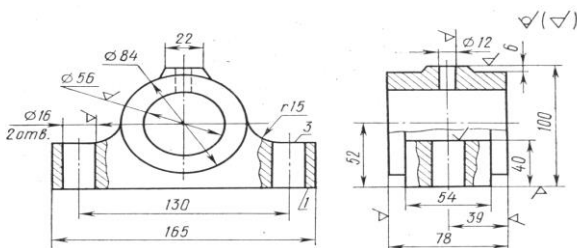


Рис.8

По эскизу детали (рис.8) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы металлических модельных плит, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

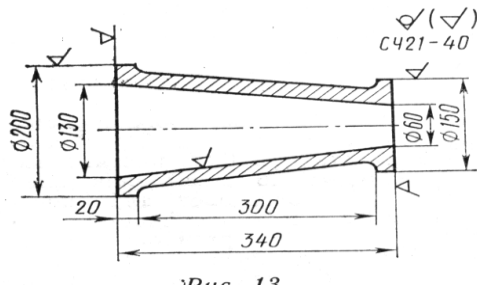


Рис.9

По эскизу детали (рис.9) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы металлических модельных плит, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

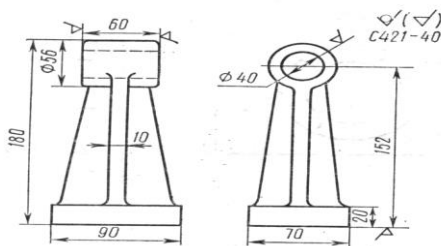


Рис.10

По эскизу детали (рис.10) разработайте эскиз отливки и модельно-литейными указаниями, приведите эскизы металлических модельных плит, стержневого ящика и собранной литейной формы (в разрезе).

### Лабораторная работа

#### Определение параметров холодной листовой штамповки

**Цель работы** – ознакомление с основными операциями холодной листовой штамповки, приобретение навыков технологических расчетов.

**Задача** – по заданному чертежу детали и прочностным характеристикам ее материала определить исходные размеры заготовки и необходимые усилия операций вырубки и вытяжки на первом переходе.

**Материальное обеспечение** – комплект заготовок по переходам и операциям технологического процесса изготовления корпуса свечи зажигания методом листовой штамповки; штангенциркуль.

#### Краткие теоретические положения

**Деформацией** называют изменение формы и размера тела под действием нагрузок.

**Упругая деформация** исчезает после снятия нагрузки (рис. 1). Изделие возвращается к прежней форме и размерам. Остаточных изменений в структуре не возникает.

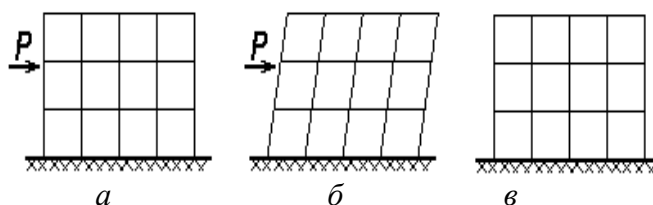


Рис. 1. Схема упругой деформации кристалла: *a* – до деформации; *б* – упругая деформация; *в* – после деформации

Механизм упругой деформации: под действием внешней силы атомы смещаются из равновесных положений, а после прекращения ее действия возвращаются в прежние положения за счет сил межатомного притяжения или отталкивания.

**Пластическая деформация** не исчезает после снятия нагрузки. При возрастании напряжения атомы смещаются на значительные расстояния и занимают новые положения равновесия. Деформация становится необратимой. После снятия нагрузки устраняется только ее упругая составляющая. Пластическая деформация в кристаллах осуществляется, в основном, скольжением атомных плоскостей относительно друг друга (рис. 2).

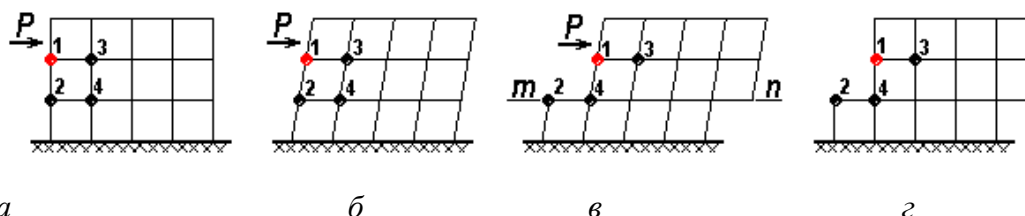


Рис. 2. Схема пластической деформации идеального кристалла:

*a* – до деформации; *б* – упругая деформация; *в* – упругая и пластическая деформация; *г* – после деформации (упругая составляющая исчезла, пластическая осталась)

Под действием силы  $P$  произошло смещение верхней части кристалла относительно нижней по плоскости  $mn$ . При этом у атома 1 сменился сосед: был 2, стал 4. Кажется, что это скольжение произошло путем одновременного разрыва межатомных связей по всей плоскости скольжения (между атомами 1 и 2, 3 и 4, и т. д.).

Зная энергию связи в кристалле, подсчитали теоретическую прочность (исходя из предположения об одновременном разрыве связей). Она оказалась огромной: в 100-1000 раз больше реальной. (Для железа, например, напряжение сдвига составляет 20 МПа, а по теоретическому расчету получается 13300 МПа.) Пришлось принять другую гипотезу: ввести понятие дефекта кристаллического строения (дислокации) и предположить механизм его перемещения. Тогда теоретическая прочность совпала с реальной.

Механизм пластической деформации: перемещение одной части кристалла относительно другой происходит за счет движения дислокаций.

Изобразим реальный кристалл, содержащий дислокацию (рис. 3). В области дислокации под нагрузкой атомы легко смещаются на расстояния, меньшие, чем межатомное. При этом происходит разрыв всего одной связи, между атомами 4 и 7 (рис. 3, *a*), зато возникает новая связь между атомами 1 и 7 – и дислокация перемещается на одно межатомное расстояние (рис. 3, *б*).

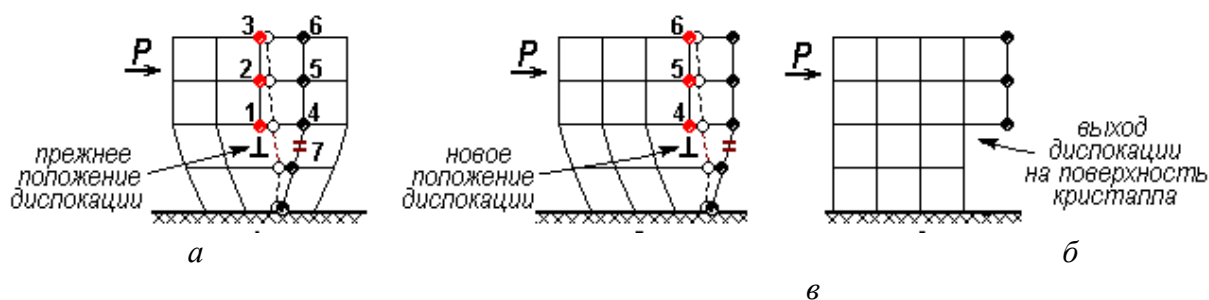


Рис. 3. Схема пластической деформации реального кристалла

Итак, в реальном, содержащем дислокации кристалле атомы смещаются под воздействием нагрузки на расстояния, меньшие межатомного, а дислокации при этом скачком перемещаются на целые межатомные расстояния. Процесс перемещения дислокаций продолжается до выхода на поверхность кристалла (рис. 3, *в*). Каждая дислокация при этом

образует ступеньку шириной в одно межатомное расстояние. Но дислокаций – миллионы, поэтому их движение дает видимую пластическую деформацию всего кристалла (рис. 4).

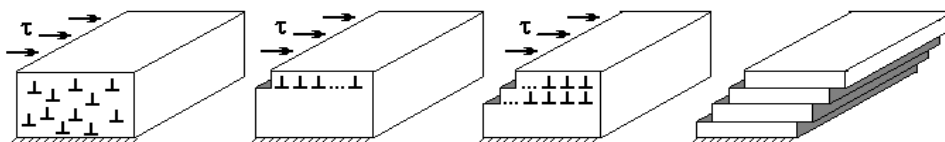


Рис. 4. Деформация монокристалла, видимая невооруженным глазом  
Пластическая деформация поликристалла происходит по такому же механизму (рис. 5).

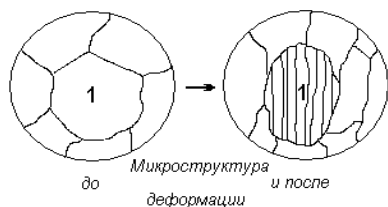


Рис. 5. Деформация

Скольжение идет в каждом зерне по множеству плоскостей, при этом меняется форма каждого зерна, а значит – и всего изделия. После пластической деформации микроструктура имеет характерный вид: зерна вытянуты в направлении действия наибольших напряжений.

Иногда кристаллическая решетка в каждом зерне получает определенную ориентацию относительно действующих напряжений. На рис. 6 это условно показано параллельными осями кристаллов. Такая ориентированная структура называется *текстурой*.

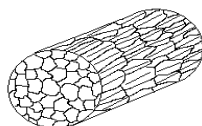


Рис. 6.

**Наклеп** - Увеличение плотности дислокаций затрудняет дальнейшее скольжение. Для того чтобы продолжать деформировать металл, нужны **большие** напряжения. Металл упрочняется, его сопротивление деформированию растет. Это значит, что повышаются его прочностные характеристики ( $HВ$ ,  $\sigma_{0.2}$ ,  $\sigma_{0.01}$ ), а пластичность и вязкость ( $\delta$ ,  $\psi$ ,  $KCU$ ) – снижаются. Это явление называется **деформационным упрочнением** или **наклепом**.

Чем больше степень деформации, тем заметнее изменения в микроструктуре: все больше зерен приобретают неравноосную форму. При степени деформации 70-80 % все зерна вытягиваются в направлении действующих напряжений (рис. 7).

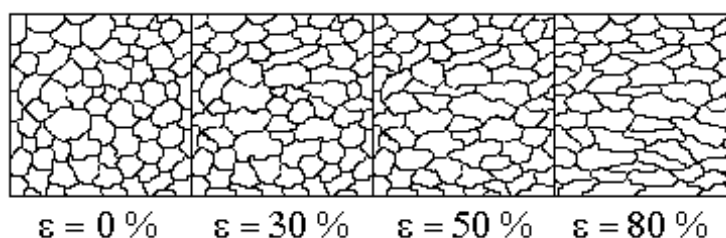


Рис. 7. Изменение микроструктуры металла при наклепе ( $\epsilon$  – степень деформации, величина относительная)

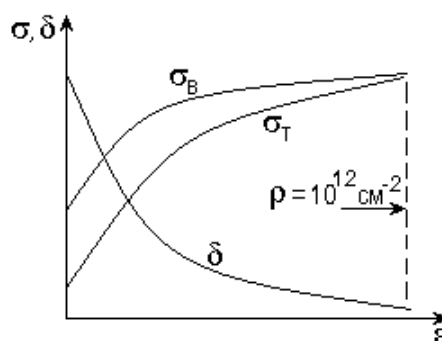


Рис. 8. Изменение механических свойств металла при наклепе

Из графика зависимости механических свойств от степени деформации (рис. 8) видно, что металл сильно упрочняется в начале деформирования, затем все медленнее.  $\sigma_{\text{в}}$  растет быстрее  $\sigma_{\text{т}}$ . У сильно наклепанных металлов предел текучести и предел прочности равны, пластичность же при этом близка к нулю. Это – предельное деформированное состояние металла, предшествующее разрушению. Плотность дислокаций составляет  $10^{12} \text{ см}^{-2}$ , большую их плотность создать невозможно, так как неизбежно возникают зародыши трещин.

В результате наклепа предел прочности и твердость могут увеличиться в 1,5-3 раза, предел текучести – в 3-7 раз. Металлы с ГЦК решеткой упрочняются сильнее, чем с ОЦК.

Физические свойства при наклепе тоже изменяются, в частности, растет удельное электросопротивление, снижается магнитная проницаемость.

Явление наклепа широко используется в технике для повышения прочности деталей при холодной обработке давлением: обкатка шариками и роликами поверхности готовых деталей, дробеструйный наклеп рессорных листов. Вязкие металлы (латуни, алюминиевые сплавы) лучше обрабатываются резанием после наклепа.

#### **Изменение структуры и свойств деформированного металла при нагреве**

Структура, созданная пластической деформацией, обладает повышенным запасом энергии, так как 5-10 % энергии, затраченной на деформирование, переходит во внутреннюю энергию кристалла. Это энергия дефектов кристаллической решетки и упругих искажений.

При комнатной температуре у большинства металлов структура наклепа устойчива. Но при нагреве создаются условия для перераспределения дислокаций и уменьшения их количества, так как атомы получают дополнительную энергию и легче смещаются, занимая равновесные положения.

При нагреве наклепанного металла изменения структуры протекают в две стадии. Первая называется возврат и происходит при температурах ниже  $0,3T_{\text{пл}}$ ; вторая идет при температурах выше  $0,3T_{\text{пл}}$  и носит название рекристаллизация.

**Возврат** – это изменения тонкой структуры и свойств деформированного металла при нагреве. Микроструктура (размер и форма зерен) остается прежней.

На этой первой стадии изменений возможны два процесса: отдых и полигонизация.

**Отдых** происходит у всех металлов, после любой по величине деформации. При этом уменьшается число вакансий и плотность дислокаций. Твердость и прочность снижаются на 10-15 %, настолько же увеличивается пластичность.

**Полигонизация** идет не во всех металлах, при небольшой степени предшествовавшей деформации. В каждом зерне дислокации образуют «стенки» – малоугловые границы. Зерно делится на *субзерна*, или полигоны, почти свободные от дислокаций.

Полигонизованная структура устойчива до температуры плавления. Этот процесс идет, например, в железе, алюминии, молибдене.

**Рекристаллизация** – это зарождение и рост новых зерен, с меньшим количеством дефектов, среди деформированных. Движущей силой процесса является стремление системы к



минимальной свободной энергии: так как в новых зернах мало дефектов, их внутренняя энергия меньше.

Температура, при которой появляются и растут новые, более совершенные зерна, называется *температурой рекристаллизации*. Она составляет некоторую долю от температуры плавления и определяется по формуле Бочвара:

$$T_p = a \cdot T_{пл.}$$

Коэффициент  $a$  зависит от количества примесей в металле:

для технически чистых металлов  $a = 0,4$ ;

для химически чистых металлов  $a = 0,1-0,2$ ;

для сплавов  $a = 0,6-0,7$ .

Технически чистая медь имеет температуру рекристаллизации 270 °С, железо – 450 °С, алюминий – 100 °С.

Изменение микроструктуры деформированного металла при нагреве показано на рис. 9.

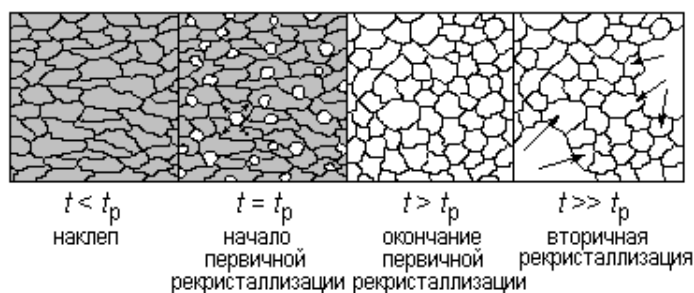


Рис. 9. Изменение микроструктуры наклепанного металла при нагреве

Когда все деформированные зерна заменяются новыми, равноосными, это значит, что первичная рекристаллизация завершилась. Новые, недеформированные зерна имеют очень низкую плотность дислокаций ( $10^5-10^6 \text{ см}^{-2}$ ) по сравнению с деформированной структурой. Некоторое время после окончания первичной рекристаллизации новые зерна одновременно подрастают, их размеры выравниваются. Этот процесс называется *собирающей рекристаллизацией*; она влияет на структуру и свойства металла благоприятно. Но затем может начаться *вторичная рекристаллизация*: рост одних зерен за счет других. При этом суммарная поверхность зерен уменьшается, т. е. движущей силой процесса является стремление к минимальной поверхностной энергии. Получаемая разнотернистая структура приводит к одновременному снижению прочности и пластичности. Это – нежелательный процесс.

Рекристаллизация полностью снимает наклеп, металл приобретает равновесную структуру с минимальным числом дефектов кристаллической решетки. Свойства металла после рекристаллизации близки к свойствам отожженного, не наклепанного металла.

#### **Горячая и холодная пластическая деформация**

Деформирование металла при температурах ниже температуры рекристаллизации называется *холодной пластической деформацией*. Металл при холодной деформации наклепывается и сохраняет высокие прочность и твердость. Примеры применения холодной пластической деформации: волочение проволоки, сопровождающееся упрочнением, накатывание резьбы, холодная листовая штамповка.

Деформирование металлов при температурах выше температуры рекристаллизации называется *горячей пластической деформацией*. Металл после горячей деформации остается мягким, пластичным, годным к дальнейшей обработке давлением или резанием. Большая часть металлов и сплавов подвергается горячей обработке давлением еще в прокатных и кузнечно-прессовых цехах металлургических предприятий, затем на машиностроительных заводах.

Листовая штамповка – процесс получения из листа полосы, ленты изделия плоской или пространственной формы с заданными геометрическими и структурными параметрами без существенного изменения толщины материала.

Заготовка обрабатывается с помощью специальных инструментов – штампов, главные рабочие части которых называются матрицей и пуансоном. Пуансон вдавливает заготовку или

ее часть в полость матрицы. Основным оборудованием листовой штамповки являются прессы (кривошипные, гидравлические) и молоты (воздушные).

Для листовой штамповки используют материалы, имеющие высокую пластичность: низкоуглеродистые стали (Ст2; Ст3; 08кп; 10; 20), пластичные легированные стали (например 12Х18Н9Т), медь (М1; М2), латунь с высоким содержанием меди (Л62, Л68), алюминий и его деформируемые сплавы и др. В связи с тем, что в основе обработки лежит процесс пластической деформации, листовая штамповка в холодном состоянии сопровождается упрочнением (наклепом) материала. В сравнении с исходным значением увеличение прочности ( $\sigma_B$ ) может быть значительным – в 2-3 раза. Поэтому обработка предварительно деформированной заготовки требует приложения больших усилий, либо промежуточной термообработки.

Операции листовой штамповки делятся на разделительные и формообразующие.

Основные разделительные операции (рис. 11):

*a* – **отрезка** – полное отделение части заготовки по незамкнутому контуру путем сдвига (часто производится на гильотинных ножницах);

*б, в* – **вырубка и пробивка** – полное отделение изделия от исходной заготовки по замкнутому контуру путем сдвига. Вырубкой оформляют наружный контур детали, а пробивкой – внутренний контур (изготовление отверстий).

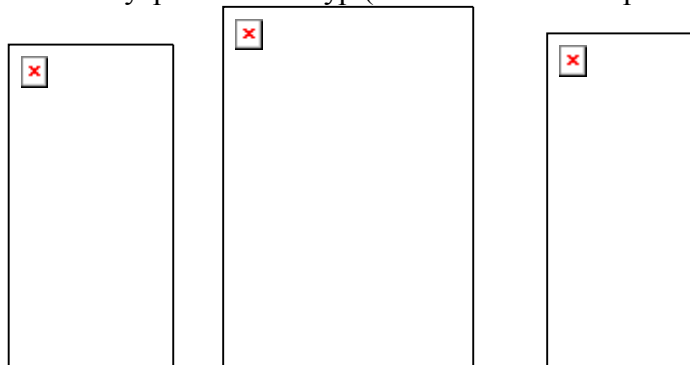


Рис. 11. Разделительные операции листовой штамповки:

*a* – отрезка; *б* – вырубка; *в* – пробивка; 1 – пуансон; 2 – изделие или полуфабрикат; 3 – матрица; 4 – отходы

Основные формообразующие операции (рис.12):

*a* – **гибка** – изменение кривизны заготовки практически без изменения ее толщины;

*б, в* – **вытяжка** – превращение плоской заготовки в покое пространственное изделие.

Выделяют вытяжку без утонения стенок и вытяжку с утонением стенок;

*г* – **отбортовка** – получение бортов (горловин) путем вдавливания центральной части заготовки с предварительно пробитым отверстием в матрицу;

*д* – **обжим** – уменьшение диаметра края полой заготовки в результате заталкивания ее в сужающуюся полость матрицы;

*е* – **формовка** – изменение формы заготовки или полуфабриката посредством деформирования ее отдельных участков – например увеличение размеров части полой заготовки с помощью резинового вкладыша.

Наиболее важное технологическое значение имеет вытяжка детали типа цилиндрической гильзы (стакана). Она производится за один или несколько переходов. Первый переход заключается в проталкивании листовой плоской заготовки через отверстие матрицы. Последующие переходы аналогичны процессу волочения труб – протягиванию изделия через волоку, размеры сечения которой меньше сечения исходной заготовки.

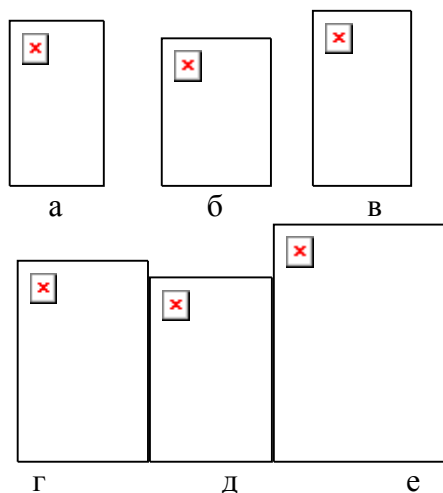


Рис. 12. Формообразующие операции листовой штамповки:

*a* – гибка; *б* – вытяжка; *в* – вытяжка с утонением (протяжка); *г* – отбортовка; *д* – обжим; *е* – формовка с раздачей; 1 – пуансон; 2 – изделие или полуфабрикат; 3 – матрица; 4 – прижим; 5 – резиновый вкладыш

Проектирование технологического процесса вытяжки решает следующие основные задачи: расчет исходного размера плоской заготовки; определение усилия, необходимого для вырубки исходной заготовки из листа; определение усилия вытяжки на первом и последующих переходах.

**Методика расчета**

Исходными данными для технологических расчетов холодной листовой штамповки являются: чертеж детали с необходимыми размерами и прочностные характеристики материала.

**Расчет исходного размера плоской заготовки**

Диаметр исходной заготовки *D* находят из условия неизменной толщины и площади ее поверхности при вытяжке, т.е.  $S_{пл} = S_{из}$ . Расчет ведется по срединной поверхности – поверхности бесконечно малой толщины, делящей толщину стенки заготовки пополам.

Сечение детали по чертежу разбивает на отдельные элементы. Для цилиндрической гильзы это; дно, тороид (с радиусом *R*) и цилиндр. Площади этих элементов вычисляются по геометрическим формулам:

площадь цилиндра:  $S_{ц} = \pi d(h - R)$ , (1)

площадь тороида:  $S_{т} = \pi d^2 (d - 0,74R)$ , (2)

площадь дна:  $S_{д} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$ , (3)

Площадь детали (*F*) определится как сумма площадей ее отдельных элементов:

$$F = S_{ц} + S_{т} + S_{д} \quad (4)$$

Прокат, который используется в качестве исходного материала для листовой штамповки, характеризуется анизотропией свойств, в частности, пластичность вдоль и поперек листа неодинакова. Данное обстоятельство является причиной появления неровностей (фестонов) на краях изделия, полученного вытяжкой. Для того, чтобы получить ровный край, верхнюю часть ( $\frac{h}{2}$ ) изделия обрезают. Припуск на обрезку учитывают при расчете площади исходной заготовки путем увеличения на 5 % суммарной площади изделия. Исходя из формулы площади круга, окончательно имеем:

$$D = \boxed{\times} = 1,13 \boxed{\times}, \quad (5)$$

где  $\boxed{\times}$  - площадь плоской заготовки.

### Расчет усилия вырубki заготовки $\boxed{\times}$ :

Усилие вырубki определяется как произведение площади среза и сопротивления металла срезу ( $\boxed{\times}$ ):

$$\boxed{\times} = \boxed{\times}, \quad (6)$$

где  $l$  – периметр вырубki (для круглых отверстий  $l = \boxed{\times} D$ );

$t$  – толщина листа;

$\boxed{\times}$  – предел прочности материала заготовки на срез (см. Таблицу 1);

$k$  – коэффициент, учитывающий притупление режущих кромок

ножа, неравномерность толщины и механических свойств материала (принимают  $k=1,1-1,3$ ).

Таблица 1

Сопротивление срезу  $\boxed{\times}$ , МПа некоторых сплавов (средние значения) в отожженном состоянии

Материал	Сталь 08кп	Сталь 10	Сталь 20	Латунь Л68
$\boxed{\times}$ , МПа	265	290	310	250

### Определение усилия вытяжки

При вытяжке тел вращения пластическая деформация чаще всего характеризуется коэффициентом вытяжки  $m$ , которой определяют как отношение диаметра (по срединному сечению) изделия после вытяжки к диаметру до вытяжки:

$$\boxed{\times}, \quad (7)$$

где  $m$  – коэффициент вытяжки;  $d$  – диаметр изделия после операции вытяжки, мм;  $D$  – диаметр изделия до операции вытяжки, мм.

Для первого перехода  $D$  соответствует диаметру исходной плоской заготовки. Если вычисляется отношение диаметра изделия, заданного чертежом, т.е. окончательно изготовленного, к диаметру плоской заготовки, то получают общий коэффициент вытяжки  $\boxed{\times}$ . В том случае, когда определяется отношение диаметров заготовки до и после однократного пропуска в отверстие матрицы, говорят о коэффициенте вытяжки соответствующего перехода:  $\boxed{\times}$  - на первом переходе;  $\boxed{\times}$  - на втором и т.д.

Коэффициент вытяжки – величина меньшая единицы. Чем меньше значение коэффициента вытяжки, тем больше деформируется металл. Однако уменьшение коэффициента вытяжки ограничено прочностью протянутого изделия и условием появления складок (гофров) на заготовке. Появление складок на цилиндрической поверхности изделия можно в некоторой степени предотвратить применением прижима (см. рис. 2, в), но часто в прижime нет необходимости. Установлено, что при вытяжке гофры не образуется, если:

$$\boxed{\times} \quad (8)$$

где  $\boxed{\times}$  – относительная толщина заготовки, выраженная в процентах.

Если коэффициент вытяжки удовлетворяет условию (8), то вытяжку можно производить без прижима. В случае, когда требуется коэффициент вытяжки меньше, чем рассчитанный по формуле (8), необходимо применить прижим – складкодержатель. Однако его использование не

позволяет бесконечно уменьшать коэффициент вытяжки. Минимально допустимые значения, определенные опытным путем, приведены в таблице 2 в зависимости от относительной толщины заготовки.

Таблица 2

Допускаемые минимальные коэффициенты вытяжки деталей из сталей 08кп, 10, 20 и мягкой латуни

Коэффициент вытяжки на переходах	Относительная толщина заготовки $\alpha$ , %					
	0,1-0,3	0,3-0,6	0,6-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	св. 2,0
0,5	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,5
0,77	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77
0,78	0,83	0,82	0,81	0,8	0,79	0,78
и т.д.						

Если определяемое по таблицы 2 значение минимально допустимого коэффициента вытяжки с прижимом окажется больше, чем требуемый общий коэффициент вытяжки  $\alpha$ , это означает, что за один переход гильзу изготовить невозможно. Следует принять вытяжку в несколько переходов (операций). В таком случае по принятому правилу на первом переходе необходимо проектировать минимально допустимый коэффициент вытяжки (табл.2), т.е. применить вытяжку с прижимом. Это связано с тем, что для многооперационной вытяжки допустимый коэффициент вытяжки каждого последующего перехода больше предыдущего в связи с упрочнением материала в результате его пластической деформации. Число переходов, необходимых для вытяжки высоких гильз, определяется путем последовательного подсчета диаметров вытяжки на каждом переходе до получения диаметра, равного заданному диаметру детали.

В общем вида усилие, необходимое при вытяжке, определяется как сумма

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (9)$$

где  $Q_1$  - усилие деформации заготовки;  $Q_2$  - усилие прижима.

Усилие, необходимое для вытяжки детали без ее разрушения, не должно превышать предельного значения, равного прочности детали в ее наиболее слабом сечении. Максимальное усилие вытяжки – это усилие, при котором открывается дно вытягиваемого изделия. Для вытяжки без разрушения детали типа тел вращения необходимо усилие.

$$Q_1 = k \cdot \sigma_{\text{пр}} \cdot S \quad (10)$$

где  $\sigma_{\text{пр}}$  - предел прочности на растяжение материала заготовки;

Таблица 3

Предел прочности на растяжение  $\sigma_{\text{пр}}$  материалов заготовок в отожженном состоянии (средние значения)

Материал	Сталь 08кп	Сталь 10	Сталь 20	Латунь Л68
$\sigma_{\text{пр}}$ , МПа	340	365	420	320


$k$  – эмпирический коэффициент, учитывающий напряжение в стенках вытягиваемого изделия. Данный коэффициент зависит от величины коэффициента вытяжки  $m$ :


$k$	0,55	0,575	0,6	0,652	0,65	0,675	0,7	0,725	0,8
$m$	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,6	0,55	0,5

Усилие прижима  $Q$  вычисляют исходя из удельного усилия и площади его приложения, т.е. площади кольцевой части заготовки, ограниченной диаметром пуансона и текущим диаметром самой заготовки

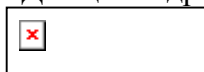
$$Q_2 = \sigma_{\text{пр}} \cdot S_{\text{к}} \quad (11)$$

где  $S_{\text{к}}$  - площадь части заготовки, зажатой между матрицей и прижимом;

 - удельное усилие, зависящее от вида штампуемого материала.

Материал	Сталь 08кп	Сталь 10	Сталь 20	Латунь Л68
	2,8	2,5	2,2	1,8

Для цилиндрических деталей:



(12)

Усилие прижима составляет 10-30% от усилия деформации при вытяжке.

### Индивидуальное задание

Определить диаметр плоской листовой заготовки  $D$ , усилие вырубки заготовки из листа  $P_{ВЫР}$  и усилие первой операции вытяжки  $P$  гильзы, изображенной на рис. 3. Материал гильзы и числовые значения ее геометрических параметров приведены в табл. 4 по вариантам, прочностные характеристики – в таблицах 1 и 3.

### Порядок выполнения работы и содержание отчета

1. Начертить деталь-гильзу. Исходные данные представить в виде соответствующей строки (№ варианта) таблицы 4.

2. Определить площадь заготовки  $F$  по срединному сечению, исходя из расчета площадей отдельных ее элементов  $F_1, F_2, F_3$ .

3. Определить диаметр исходной плоской заготовки  $D$  с учетом припуска на образку фестонов.

4. Рассчитать усилие вырубки плоской заготовки  $P_{ВЫР}$ .

5. Вычислить потребный общий коэффициент вытяжки  $m_{ОБЩ}$ .

6. Подсчитать относительную толщину заготовки, определить минимально допустимый коэффициент вытяжки  $m$  без прижима по формуле (8) и оценить возможность вытяжки гильзы за одну операцию без прижима.

7. При необходимости использования вытяжки с прижимом определить минимальный возможный коэффициент вытяжки  $m_{ПРИЖ}$  по табл. 2. В случае, когда потребный общий коэффициент вытяжки  $m_{ОБЩ}$  меньше  $m_{ПРИЖ}$  принять значение  $m_{ПРИЖ}$  для выполнения первой операции.

8. Определить диаметр гильзы после первой операции вытяжки ( $d_1$ ) исходя из принятого значения коэффициента вытяжки  $m_1$  на первом переходе.

9. Рассчитать усилие вытяжки на первой операции  $P$ . Результаты расчетов привести в отчете в виде таблицы




1	2	3	4	5	6	7
$F_1, \text{мм}^2$	$F_2, \text{мм}^2$	$F_3, \text{мм}^2$	$F, \text{мм}^2$	$D, \text{мм}$	$P_{ВЫР}, \text{Н}$	$m_{ОБЩ}$
8	9	10	11	12	13	14
	$m$	$m_{ПРИЖ}$	$d_1, \text{мм}$	$P_{ДЕФ}, \text{Н}$	$Q, \text{Н}$	$P, \text{Н}$

Таблица 4

### Исходные данные

Вариант	Материал гильзы	$d, \text{мм}$	$h, \text{мм}$	$t, \text{мм}$	$R, \text{мм}$	 , МПа	 , МПа
1	Сталь 08кп	50	35	2	8		
2	Сталь 10	70	40	2	10		
3	Сталь 20	80	20	1,5	15		
4	Латунь Л68	50	30	1,5	5		
5	Сталь 08кп	60	25	2	12		
6	Сталь 10	120	70	3	25		
7	Сталь 20	80	32	3	20		
8	Латунь Л68	250	70	2	40		
9	Сталь 08кп	400	230	5	180		

10	Сталь 10	200	140	2	90		
11	Сталь 20	80	40	0,5	8		
12	Латунь Л68	90	45	0,5	15		
13	Сталь 08кп	200	90	0,8	25		
14	Сталь 10	160	120	4	90		
15	Сталь 20	70	35	2,5	25		
16	Латунь Л68	240	120	4	110		
17	Сталь 08кп	40	40	1	12		
18	Сталь 10	45	60	1,2	6		
19	Сталь 20	50	45	0,8	5		
20	Латунь Л68	70	125	1	4		
21	Сталь 08кп	80	140	3	15		
22	Сталь 10	75	180	2	10		
23	Сталь 20	50	140	0,8	30		
24	Латунь Л68	20	40	1,5	7		
25	Сталь 08кп	20	60	1,2	5		

### Контрольные вопросы

1. Назовите и обоснуйте свойства проката, применяемого в качестве заготовок для холодной листовой штамповки. Каковы причины образования фестонов?
2. В чем суть процесса пластической деформации монокристаллов и поликристаллических металлических материалов (механизмы скольжения и двойникования)?
3. Как влияет холодная пластическая деформация на структуру и свойства металлов?
4. Чем отличается холодная пластическая деформация от горячей?
5. Назовите основные операции листовой штамповки.
6. Сформулируйте основные закономерности, положенные в основу расчетов при штамповке. Почему расчеты размеров заготовок ведут по срединной поверхности сечения детали?
7. Назовите факторы, определяющие ограничение величины коэффициента вытяжки.

## Лабораторная работа

### Определение режима ручной дуговой сварки

**Цель работы:** ознакомиться с сущностью и научиться рассчитывать режим ручной дуговой сварки.

#### Краткие теоретические положения

Ручная дуговая сварка относится к термическому классу сварки. Для образования и поддержания электрической дуги к электроду и свариваемому изделию (рис.1) от источника питания подводится сварочный ток (переменный или постоянный).

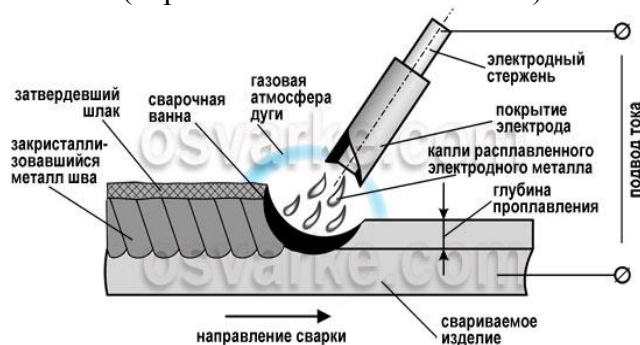


Рис.1 Ручная дуговая сварка

Если положительный полюс источника питания (анод) присоединен к изделию, говорят, что ручная дуговая сварка производится на прямой полярности. Если на изделии отрицательный полюс, то полярность обратная. Под действием дуги расплавляются металлический стержень электрода (электродный металл), его покрытие и металл изделия (основной металл). Электродный металл в виде отдельных капель, покрытых шлаком,

переходит в сварочную ванну, где смешивается с основным металлом, а расплавленный шлак всплывает на поверхность.

Размеры сварочной ванны зависят от режимов и пространственного положения сварки, скорости перемещения дуги по поверхности изделия, конструкции сварного соединения, формы и размера разделки свариваемых кромок и т.д. Они обычно находятся в следующих пределах: глубина до 6 мм, ширина 8–15 мм, длина 10–30 мм.

Длина дуги – расстояние от активного пятна на поверхности сварочной ванны до другого активного пятна на расплавленной поверхности электрода. В результате плавления покрытия электрода вокруг дуги и над сварочной ванной образуется газовая атмосфера, оттесняющая воздух из зоны сварки для предотвращения его взаимодействия с расплавленным металлом. В газовой атмосфере также присутствуют пары легирующих элементов, основного и электродного металлов.

Шлак, покрывая капли расплавленного электродного металла и поверхность сварочной ванны, препятствует их взаимодействию с воздухом, а также способствует очищению расплавленного металла от примесей.

По мере удаления дуги металл сварочной ванны кристаллизуется с образованием шва, соединяющего свариваемые детали. На поверхности шва образуется слой затвердевшего шлака.

Преимущества ручной дуговой сварки:

- возможность сварки в любых пространственных положениях;
- возможность сварки в местах с ограниченным доступом;
- сравнительно быстрый переход от одного свариваемого материала к другому;
- возможность сварки самых различных сталей благодаря широкому выбору выпускаемых марок электродов;
- простота и транспортабельность сварочного оборудования.

Недостатки ручной дуговой сварки:

- низкие КПД и производительность по сравнению с другими технологиями сварки;
- качество соединений во многом зависит от квалификации сварщика;
- вредные условия процесса сварки.

Электрическая дуга представляет собой мощный стабильный электрический разряд в газах, сопровождаемый выделением значительного количества тепла и света. Возникновение дуги обусловлено эмиссией электронов с катода и ионизацией газового промежутка. Выделение электронов с поверхности катода достигается за счет термо- и автоэлектронной эмиссии, а также эмиссии в результате ударов положительных ионов. Ионизацию газового промежутка вызывают нагрев, облучение и соударение частиц.

Ручной дуговой сваркой соединяют углеродистые, легированные и высоколегированные стали, чугуны, медь, алюминий, титан и сплавы на основе указанных металлов.

*Задание по лабораторной работе*

Пользуясь приведенной ниже методикой, необходимо определить режим ручной дуговой сварки в соответствии с выданным вариантом задания (табл. 1).

Работа оформляется в виде отчета, в котором приводится эскиз сварного соединения согласно ГОСТ 5264-80, расчеты режима сварки и таблица результатов:

*Таблица 1*

Зависимость между диаметром электрода и толщиной металла

Толщина листов S, мм	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-5,0	5,1-10	10,1-15	15,1-20	Свыше 20
Диаметр электрода d <sub>э</sub> , мм	1,0-1,6	1,6-2,5	2,5-4,0	4,0-5,0	5,0-6	5,0-8	5,0-10



Таблица 2

## Конструктивные элементы швов сварных соединений


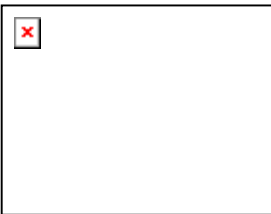
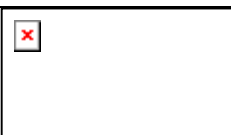


Сварное соединение	Конструктивные элементы	Толщина сварив. листов $S$ , мм	Зазор $a$ , мм	Ширина налива $b$ , мм	Усиление $c$ , мм
	C2	1,0...1,5 св. 1,5...3,0 св. 3,0...4,0	0...0,5 0...2,0 1,5...3,0	6 7	0,5-1,5 0,5-2,5 1,0-3
C17 	3...5 св. 5...8 св. 8...11 св. 11...14	0...3,0	6...10 10...14 17...21 14...18	0...2,0	
	Св. 14...17 Св. 17...20 Св. 20...24 Св. 24...28 Св. 28...32 Св. 32...36 Св. 36...40	0...3,0	19...25 23...29 27...33 31...37 35...41 39...45 44...50	0...2,5	
	Св.40...44 Св.44...48 Св.48...52 Св.52...56 Св.56...60	0...3,0	48...56 50...58 52...60 56...64 61...69	0...2,5	
	У4	1,0..1,5 св. 1,5...3,0 св. 0,3...30	0...0,5 0...1,0 0...2,0		
	T3	2...3 св. 3...15 св. 15...40	0...1,0 0...2,0 0...3,0		
H2 	2...5 св. 5...10 св. 10...29 св. 29...60	0...1,0 0...1,5 0...2,0 0...2,0	Величина нахлеста $b$ , мм		
			3...20 8...40 12...10030...240		

Таблица 3

Минимальный катет углового шва  $k$ 

Предел текучести металла, МПа	Минимальный катет шва при толщине свариваемых заготовок, мм							
	1...4	4... 5	5...10	10... 16	5... 22	22... 32	32...40	40... 80
До 400	3	4	5	6	7	8	9	10
Свыше 400	4	5	6	7	8	9	10	12

Таблица 4

## Характеристики электродов

Марка электрода	Коэффициент наплавки $\alpha_H$ , г/А·ч	Предел текучести $\sigma_T$ , МПа	Род тока, полярность
УОНИ-13/45	8,5	360	Постоян. обратн. полярн.
АНО-3	8,5	380	Постоян. и переменный
MP-3	7,8	380	Перем. и пост. обрат. полярности
ВСЦ-3	9,5...13,0	410	Постоян. прям. и обрат. полярности
Э-138/45Н	8,5	350	Постоян. обратн. полярн.
ЛКЗ-70	9,5	600	---
ЦЛ-20	10,3	410	---
ЦЛ-26М	10,5	420	---
ЦЛ-30	10,4	380	---

Таблица 5

## Индивидуальные задания по лабораторной работе

Вариант	Тип соединения	Толщ. листов, мм	Длина швов, м	Марка электрода	Тип электрода
1	C2	2	0,6	MP-3	Э46
2	C2	4	4,0	ЦЛ-30	Э-09ХМ
3	C17	13	3,0	ЦЛ-26М	Э-10ХЗМ1ВФ
4	C17	40	6,0	УОНИ-13/45	Э42А
5	C17	22	2,5	ВСЦ-3	Э50
6	H2	12	10,0	ЦЛ-20	Э-09Х1МФ
7	H2	31	2,5	ЛКЗ-70	Э70
8	H2	25	4,0	Э-138/45Н	Э46А
9	T3	2	2,7	MP-3	Э46
10	T3	40	1,6	Э-138/45Н	Э46А
11	У4	5	6,5	ЦЛ-30	Э-09ХМ
12	У4	20	7,0	ВСЦ-3	Э50
13	C2	3	25,0	АНО-3	Э46
14	C17	25	10,0	MP-3	Э46
15	T3	4	12,0	ЦЛ-26М	Э-10ХЗМ1ВФ
16	H2	60	13,0	ВСЦ-3	Э50
17	H2	5	24,0	ЦЛ-26М	Э-10ХЗМ1ВФ
18	T3	35	18,0	АНО-3	Э-09ХМ
19	У4	10	17,0	ЦЛ-30	Э50
20	У4	6	13,0	MP-3	Э46

*Методика расчета режима ручной дуговой сварки*

1. Определить диаметр электродного стержня.

Диаметр электродного стержня выбирают по таблице 2 в зависимости от толщины свариваемых заготовок, учитывая существующие диаметры стальной сварочной проволоки.

2. Рассчитать силу сварочного тока.

Силу сварочного тока можно определить по эмпирической формуле:

$I_{св} = f \cdot d_э$ , где  $f$  – опытный коэффициент, равный 40...60 А/мм; наибольшее его значение принимают для электродов с углеродистым и низколегированным стержнем, а наименьшее – для электродов из высоколегированной проволоки.

3. Определить массу наплавленного металла.

Массу наплавленного металла определяют по эскизу сварного соединения, который выполняется в соответствии с индивидуальным заданием и справочной таблицей 3. При выполнении эскизов следует учесть, что величина "n" в угловом соединении У4 составляет от  $S/2$  до  $S$ . Минимальные значения катетов к швов типа У4, Н2, Т3 выбираются из табл. 4.

По эскизу сварного соединения рассчитывают площадь поперечного сечения наплавленного металла шва  $F_H$  как сумму площадей элементарных геометрических фигур, составляющих сечение шва. Например, для сварного соединения, приведенного на рис. 2, величина  $F_H$  будет представлять сумму площадей валика 1, прямоугольника 2 и двух треугольников 3:

$$F_{\text{ВАЛ}} = 0,67 \cdot b \cdot c, \quad F_{\text{ПРЯМ}} = a \cdot S,$$

$$F_{\Delta} = \frac{1}{2} (S - 1,5)^2 \cdot \text{tg}27^\circ,$$

где  $b$  – ширина валика шва, мм;  $c$  – усиление валика шва, мм.

$$\text{То есть } F_H = 0,67 \cdot b \cdot c + a \cdot S + 2 \cdot \frac{1}{2} (S - 1,5)^2 \cdot \text{tg}27^\circ.$$

При определении площади поперечного сечения наплавленного металла соединений У4, Т3 и Н2 допускается не учитывать выпуклость шва, т.е. принять в сечении треугольник ( $F_{\Delta} = k^2/2$ ).

Минимальное значение катета не должно превышать  $1,2 \cdot S$ . //Предел текучести металла смотрите в табл. 5.

Затем определяют объем наплавленного металла  $V_H$  по формуле

$V_H = F_H \cdot L$ , где  $L$  – длина сварного шва.

И лишь после этого рассчитывают массу наплавленного металла, учитывая размерность величин:

$$M_H = V_H \cdot \rho,$$

где  $\rho$  – плотность наплавленного металла, г/см<sup>3</sup> (для стали можно принять  $\rho = 7,8$  г/см<sup>3</sup>).

4. Расход электродов  $Q_{\text{Э}}$  приближенно можно подсчитать по формуле:

$$Q_{\text{Э}} = \alpha_p \cdot M_H,$$

где  $\alpha_p$  – коэффициент потерь металла на угар, разбрызгивание, огарки и т.д. (принимают равным 1,6...1,8).

5. Определить основное время на сварку по формуле:

$$\alpha_n,$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки, г/А·ч.

Величину  $\alpha_n$  выбирают по таблице 5 в зависимости от марки электрода.

6. Подсчитать количество электроэнергии, идущей на сварку:

$$Q_{\text{ЭЭ}} = U_d \cdot I_{\text{св}} \cdot t_{\text{св}},$$

где  $U_d$  – напряжение дуги, обычно составляющее 25...28 В.

### Контрольные вопросы

1. Что называется электрической дугой? Чем она обусловлена?
2. Какие материалы сваривают ручной дуговой сваркой?
3. Что представляют собой электроды для ручной дуговой сварки?
4. Какие существуют типы стальных электродов по назначению?
5. Что такое марка электрода, чем она характеризуется?

## Лабораторная работа

### Обработка металлов резанием

**Цель работы:** максимально приблизить решение вопроса по изготовлению деталей машин к производственным условиям, приобретение необходимых теоретических знаний и умения обоснованно защищать свою работу

#### Краткие теоретические положения

*Общие сведения о механической обработке деталей машин*

Среди современных методов производства деталей машин наибольшее распространение имеет метод обработки поверхности заготовки со снятием слоя металла в виде стружки. При такой обработке деталям придается требуемая форма и шероховатость поверхности. Процесс обработки осуществляется при относительном перемещении заготовки и инструмента.

К основным методам обработки поверхностей деталей машин резанием относятся: точение, строгание, фрезерование, сверление, протягивание, шлифование, зубонарезание, хонингование и др.

Для выполнения этих операций используются соответствующие металлорежущие станки. Металлорежущим станком называется машина, предназначенная для придания обрабатываемой заготовке требуемой формы, путем снятия стружки с заданной степенью

точности. Металлорежущие станки в зависимости от их назначения, характера выполняемых работ и других особенностей классифицируются по различным признакам:

*По универсальности:* станки универсальные, предназначенные для выполнения различных операций на деталях, разных по форме и размерам; специализированные — для обработки однотипных деталей; специальные — для обработки лишь одного вида изделий или выполнения только одной определенной операции.

*По степени автоматизации:* с ручным управлением, автоматические, полуавтоматические.

*По точности:* нормальной точности — класс Н; повышенной точности — класс В, станки особо высокой точности — класс А; особо точные — класс С.

*По конструктивным признакам:* горизонтальные, вертикальные, карусельные и др.

*По весу:* легкие — весом до 1 т; средние — до 10 т; тяжелые — свыше 10 т.

Все серийно выпускаемые станки отечественного производства имеют маркировку, разработанную экспериментальным научно-исследовательским институтом металлорежущих станков (ЭНИМСом).

Модель станка обозначается тремя или четырьмя цифрами. Все металлорежущие станки по технологическим признакам подразделяются на *десять групп*, каждая из которых делится на *десять типов*.

При такой системе маркировки первая цифра обозначает групп станков, вторая указывает тип станка, третья, иногда также и четвертая цифры определяют основные параметры станка или размеры обрабатываемой детали.

Иногда в маркировку между цифрами или в конце ставятся буквы (А, К, М...), обозначающие усовершенствование отдельных узлов станка или его новую модификацию.

Например: *станок 2А125 расшифровывается следующим образом — это модернизированный сверлильный вертикальный станок с диаметром сверла 25*

Методы обработки деталей машин определяют точность изготовления, шероховатость поверхности и физико-химические свойства поверхностного слоя, которые имеют большое значение для достижения высоких эксплуатационных показателей. Одна из главных задач современного машиностроения — дальнейшее развитие, совершенствование и разработка новых технологических методов обработки заготовок деталей машин.

Одну и ту же поверхность можно обработать несколькими способами (табл. 1). Задача технолога состоит в выборе наиболее рациональных способов обработки деталей в условиях данного производства с использованием универсальных станков.

Все движения узлов металлорежущих станков делятся на движение резания и установочные движения.

Движение, при котором с обрабатываемой заготовки срезается слой металла в виде стружки, называется движением резания.

Движения, при которых с поверхности заготовки слой металла не срезается и при которых не происходит изменения поверхности, называются установочными. К таким движениям можно отнести подвод резца к заготовке, перемещение стола с заготовкой (фрезерование), подвод резца к заготовке и другие подготовительные операции.

В свою очередь, движение резания подразделяется на два вида: главное движение, определяющее скорость резания, и движение подачи, обеспечивающее непрерывность врезания режущего лезвия инструмента в новые слои металла.

Таблица 1

Вид операций	Возможный способ обработки
Обработка: а) внешних сферических поверхностей деталей б) круглых отверстий в) плоских поверхностей	а) точение, фрезерование, протягивание, шлифование б) сверление, растачивание, зенкерование, развертывание в) строгание, фрезерование, шлифование, протягивание
Нарезание резьб	нарезание резцом, гребенкой, винторезной головкой, плашкой, фрезой, шлифовальным кругом

Отрезание	отрезание резцом, круглой пилой, механической ножовкой, шлифовальным кругом
-----------	---

Главное движение и движение подачи могут выполнять либо инструмент, либо заготовка. Каждый вид обработки может быть показан в виде схемы, где главное движение обозначается буквой  $V$ , а движение подачи - буквой  $S$  с соответствующим индексом:  $S_{пр}$  - продольная подача;  $S_{п}$  - поперечная подача;  $S_{в}$  - вертикальная;  $S_{г}$  - горизонтальная;  $S_{кр}$  - круговая; установочные движения обозначаются  $S_{у}$ .

Примеры некоторых схем обработки показаны на рисунке 1.

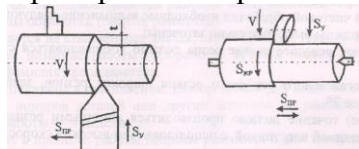


Рис. 1 Относительное перемещение заготовки и инструмента при обработке резанием ( $t$  - глубина резания)

При точении, сверлении, фрезеровании и некоторых других операциях, выполняемых на станках с вращательным главным движением, скорость резания определяется по формуле:

$$V = (\pi \times d \times n) / 1000, \text{ м/мин},$$

где  $d$  — диаметр заготовки, мм;  $n$  - число оборотов в минуту.

При строгании, долблении и других операциях, выполняемых на станках с прямолинейным главным движением:

$$V = ((L \times n) / 1000) \times (k+1), \text{ м / мин},$$

где  $L$  — длина рабочего хода, мм;  $n$  — число двойных ходов.

$k = V_p / V_x$ , где  $V_p$  - скорость рабочего хода;  $V_x$  - скорость холостого хода;  $V_p$  - всегда меньше  $V_x$ , поэтому  $k < 1$ .

При шлифовании скорость резания измеряется в м/сек и определяется по формуле:

$V = (\pi \times d \times n) / (1000 \times 60)$ , м/сек, где  $d$  - диаметр шлифовального круга в мм;  $n$  - число оборотов шлифовального круга в минуту.

Одновременно на станках применяются и различные подачи  $S$  (инструмента или заготовки). Подачей называется путь перемещения режущего лезвия инструмента за один оборот заготовки или инструмента относительно заготовки на токарных или сверлильных станках, в мм.

На фрезерных станках подачей называется перемещение заготовки, отнесенное к одному обороту фрезы, к величине поворота фрезы на один зуб или в единицу времени и обозначается  $S_{мин}$  — минутная подача (мм/мин),  $S_2$  — подача при повороте фрезы на один зуб.

На шлифовальных станках применяется минутная подача стола с заготовкой или минутная подача шлифовального круга. На станках с двойным ходом величина подачи устанавливается в мм на один двойной ход заготовки или инструмента.

Чистовая обработка может выполняться не только на шлифовальных станках, но и на станках, где проводится основная работа.

При чистовом обтачивании применяется один из двух способов: с малой подачей обычными резцами и большой подачей широкими резцами. Наибольшее применение получило обтачивание с малой подачей при больших оборотах заготовки обычными чистовыми резцами. При этом не возникает больших усилий резания, и достигается высокая точность обработки.

Недостатком этого способа является относительно низкая его производительность. Работа широкими резцами производительнее в несколько раз.

Для качественной чистовой обработки необходимо выполнение следующих условий:

- лезвия резца должны быть тщательно заточены;
- вспомогательное режущее лезвие резца должно устанавливаться строго параллельно оси заготовки;
- длина вспомогательного режущего лезвия широких резцов, зависящая от подачи, должна быть не менее  $2S_{пр}$ .

Тонкое (алмазное) точение должно производиться алмазными резцами или резцами с твердосплавной напаянной пластинкой, с использованием высоких скоростей резания, малых подач и малой глубины резания.

Для повышения точности и уменьшения шероховатости обрабатываемой поверхности рекомендуется указанный припуск снимать не за один, а за два рабочих хода — за черновой и чистовой. Для получения отверстий высокой точности с чистой поверхностью первоначально сверлят отверстия меньшего диаметра, оставляя припуск на дальнейшую обработку. Дальнейшая обработка производится зенкером и разверткой. В некоторых случаях в качестве заключительной операции может быть использовано хонингование. В отдельных случаях отверстия соответствующего диаметра могут обрабатываться на внутришлифовальных станках.

#### *Содержание задания реферата и оформление этого задания*

При оформлении реферата необходимо выполнить следующие задания:

- дать эскиз детали (в соответствии с заданием) с указанием всех размеров;
- выполнить эскиз заготовки и кратко описать технологию ее получения;
- выбрать универсальные металлорежущие станки для обработки указанных цифрами 1, 2, 3 поверхностей заготовки;
- определить очередность обработки заданных поверхностей;
- дать общий вид примененных станков с указанием основных узлов;
- дать эскизное изображение всех инструментов, применяемых на выбранных станках;
- дать схемы проводимых работ с учетом черновой и чистовой обработки;
- дать общий вид одного из примененных станков с кинематической схемой;
- при оформлении реферата необходимо последовательно описать весь технологический процесс с ответом на все поставленные вопросы.

Для выполнения этой работы необходимо первоначально ознакомиться с устройством и возможностями различных универсальных станков.

Исходя из возможности выполнения на станках определенных операций, выбрать такие, чтобы их потребное количество для получения заданной детали было минимальным.

Следующим этапом должен быть, исходя из конструктивных особенностей станков, выбор формы и метода получения заготовки с целью снижения общей трудоемкости изготовления деталей и ее установки и крепления на станке без использования специальных приспособлений.

Избранный метод получения заготовки должен быть кратко описан в реферате. Если для получения заданной детали из выбранной заготовки требуются не один, а несколько станков, то необходимо решить вопрос об очередности их использования.

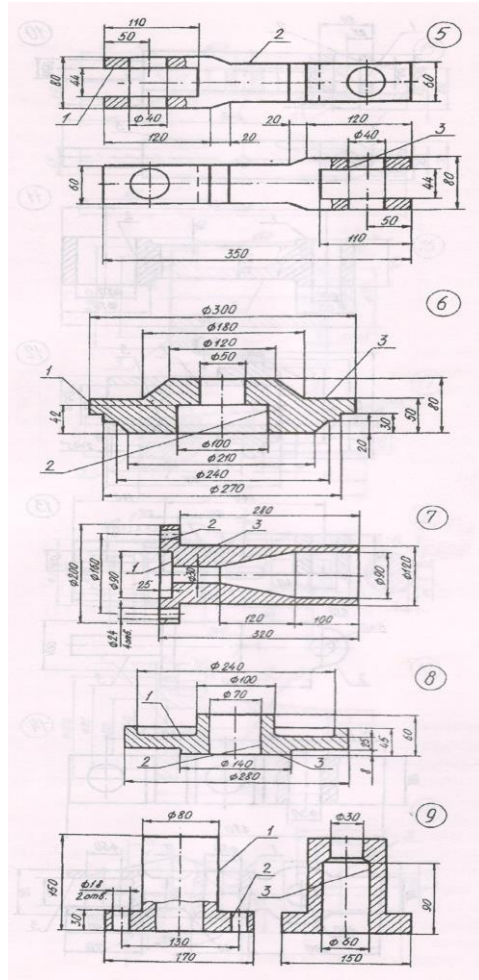
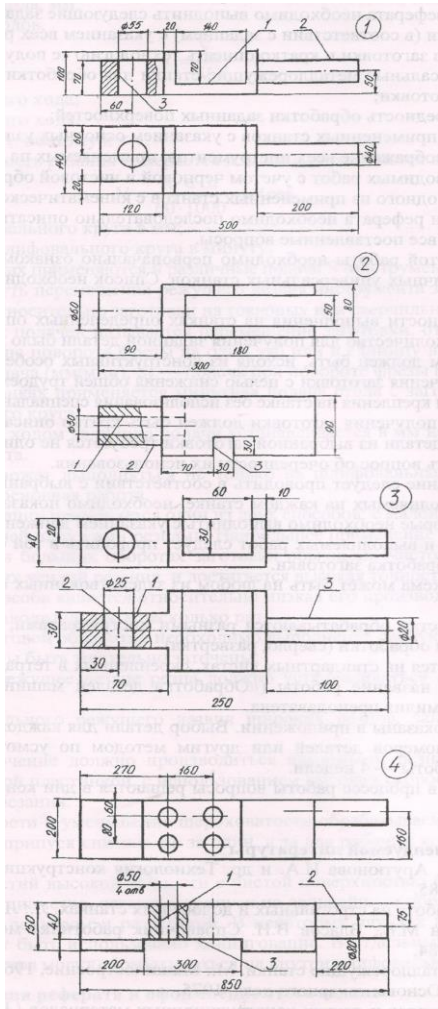
Дальнейшее описание следует проводить в соответствии с выбранной очередностью. При описании работ, выполняемых на каждом станке, необходимо показать общий вид станка и схемы операций, которые необходимо выполнить с указанием движений (главное и подачи).

Описание станков и выполняемых работ следует проводить в той очередности, в которой будет проводиться обработка заготовки.

Кинематическая схема может быть на любом из задействованных станков по усмотрению студента.

Если какие-то участки обрабатываются разными инструментами, то в реферате должны быть показаны схемы обработки (сверло, развертка).

*Эскизы деталей к заданию по теме «Обработка металлов резанием»*



## 11.2. Методические указания по организации самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов (СРС) наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной его частью. Она предназначена для формирования навыков самостоятельной деятельности, способности самостоятельно решать учебные, познавательные, исследовательские задачи.

Самостоятельная работа студентов является неотъемлемой частью процесса обучения. Самостоятельная работа может быть представлена как средство организации самообразования и воспитания самостоятельности как личностного качества. Как явление самовоспитания и самообразования самостоятельная работа студентов обеспечивается комплексом профессиональных умений студентов, в частности умением осуществлять планирование деятельности, искать ответ на непонятное, неясное, рационально организовывать свое рабочее место и время.

Самостоятельная работа приводит студента к получению нового знания, упорядочению и углублению имеющихся знаний, формированию у него профессиональных навыков и умений

*Цели самостоятельной работы:* Самостоятельная работа студентов призвана обеспечить эффективное усвоение опыта учебной, познавательной, исследовательской деятельности и её содержания, предоставить студенту возможности для самореализации, самоорганизации, самовоспитания, саморазвития.

Своеобразие СРС заключается в том, что основу ее составляют самостоятельные действия, которые обучаемый выполняет без помощи преподавателя. Учение в данных условиях становится активной самостоятельной исследовательской деятельностью: это чтение обязательной и дополнительной литературы, реферативное чтение; решение задач различного уровня сложности; выполнение лабораторных и практических работ; устная речь по проблемам и др. При выполнении самостоятельного задания трансформация целей во внутренний план личности вызывает мотив деятельности.

Основные виды самостоятельной работы представлены в Таблица 5.2.3.

*Рекомендации по работе по работе с литературой, конспектами лекций, учебно-методическими изданиями*

Работа с литературой, конспектами лекций, учебно-методическими изданиями является одним из основных методов самостоятельного овладения знаниями. Изучение литературы, конспектов лекций, учебно-методических изданий - процесс сложный, требующий выработки определенных навыков.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой, конспектами лекций, учебно-методическими изданиями системный подход предусматривает не только тщательное (при необходимости – многократное) чтение текста, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к контрольным мероприятиям, к лабораторным и практическим занятиям, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге. При изучении материалов глав и параграфов необходимо обращать особое внимание на комментарии и примечания, которыми сопровождается текст. Они разъясняют отдельные места текста, дополняют изложенный материал, указывают ссылки на цитируемые источники, исторические сведения о лицах, фактах, объясняют малоизвестные или иностранные слова.



В ходе чтения очень полезно, хотя и не обязательно, делать краткие конспекты прочитанного, выписки, заметки, выделять неясные, сложные для восприятия вопросы. В целях прояснения последних нужно обращаться к преподавателю. По завершении изучения рекомендуемой литературы полезно проверить уровень своих знаний с помощью контрольных вопросов для самопроверки.

Большое значение имеет внешняя сторона записей. При составлении конспектов следует пользоваться различными приемами выделения отдельных частей текста, ключевых выражений, терминов, основных понятий (выделение абзацев, подчеркивание, написание жирным шрифтом, курсивом, использование цветных чернил и т.п.).

При изучении литературы особое внимание следует обращать на новые термины и понятия. Понимание сущности и значения терминов способствует формированию способности логического мышления, приучает мыслить абстракциями, что важно при усвоении дисциплины. Поэтому при изучении темы курса студенту следует активно использовать универсальные и специализированные энциклопедии, словари, иную справочную литературу.

Настоятельно рекомендуется избегать механического заучивания учебного материала. Практика убедительно показывает: самым эффективным способом является не "зубрежка", а глубокое, творческое, самостоятельное проникновение в существо изучаемых вопросов. Необходимо вести систематическую каждодневную работу над литературными источниками.

*Рекомендации по подготовке к лабораторным, практическим занятиям, составлению докладов, выступлений и выполнению других видов учебной работы*

Практические и лабораторные занятия играют значительную роль. Они призваны закреплять теоретические знания, полученные в ходе прослушивания лекционного материала, ознакомления с учебной и научной литературой. Лабораторные и практические занятия способствуют закреплению студентами наиболее качественных знаний, помогают приобрести навыки самостоятельной практической работы, а также позволяют осуществлять со стороны преподавателя текущий контроль над успеваемостью.

При подготовке к лабораторному или практическому занятию студенты должны внимательно ознакомиться с темой и планом лабораторного или практического занятия. Подготовку к лабораторным и практическим занятиям необходимо начать с детальной проработки теоретического материала, используя конспект лекции и рекомендованную литературу. Перед выполнением лабораторного или практического задания дополнительно изучите рекомендации по его выполнению и познакомьтесь с формой отчета о проделанной практической работе. При необходимости производить предварительную подготовку по изображению схем и таблиц. Если самостоятельное выполнение задания затруднительно, обратитесь к преподавателю для получения консультации.

На лабораторных и практических занятиях необходимо иметь: конспект лекций, рабочую тетрадь, набор канцелярских принадлежностей, миллиметровую бумагу.

*Рекомендации по самоконтролю и подготовке к контрольному тестированию*

Образовательный эффект зависит от уровня самопознания личности. Основой процесса самопознания является рефлексивная деятельность субъекта. Рефлексия, осуществляемая в ходе обучения не только помогает обучаемым зафиксировать достигнутый результат, но и часто переопределить цели дальнейшей учебной деятельности, самим скорректировать свой образовательный путь, создавая при этом реальные условия для осознания своей индивидуальности.

Целью самоконтроля является не только констатация достигнутого уровня в усвоении дисциплины, но и стимулирование к дальнейшему развитию. В этом случае учебная деятельность студента становится осмысленной, осознанной. Самоконтроль позволит студенту самостоятельно находить, исправлять и предупреждать ошибки и недостатки собственной учебной деятельности.

При подготовке к контрольному тестированию студенту необходимо выполнить все лабораторные, практические задания, изучить теоретический материал, согласно вопросов,

выносимых на контрольные мероприятия с использованием литературы, конспектов лекций, учебно-методических изданий и пособий.

При подготовке и экзамену необходимо выполнить все лабораторные задания, изучить теоретический материал, согласно вопросов, выносимых на контрольные мероприятия с использованием литературы, конспектов лекций, учебно-методических изданий.

*Основные требования к результатам*

В процессе выполнения самостоятельной работы, студентам необходимо:

- усвоить самостоятельные вопросы по теоретическому материалу по каждой промежуточной аттестации;
- производить подготовку к сдаче теоретического материала по блокам;
- выполнить расчетные задания, согласно календарного графика;
- производить подготовку у лабораторным работам, в виде оформления отчетов и защиты теоретических вопросов.

Оценка результатов работы освоения дисциплины обучающимися осуществляется согласно рейтинговой системе, представленной в рабочей программе в п. 8 Оценка результатов освоения дисциплины.

**Планируемые результаты обучения для формирования компетенции и критерии их оценивания**

Дисциплина: Материаловедение. Технология конструкционных материалов.

Код, направление подготовки: 21.03.01 Нефтегазовое дело

Профиль: Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти

Код компетенции	Код и наименование результата обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения			
		1-2 (0-60)	3 (61-75)	4 (76-90)	5 (91-100)
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1. Осуществляет выбор актуальных российских и зарубежных источников, а также поиск, сбор и обработку информации, необходимой для решения поставленной задачи				
	Знать: УК-1.31 способы выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи	Не знает способы выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи	Частично воспроизводит способы выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи	Воспроизводит основные способы выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи	Воспроизводит и объясняет с требуемой степенью научной точности и полноты способы выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи
	Уметь: УК-1.У1 осуществлять выбор актуальных российских и зарубежных источников, а также поиск, сбор и обработку информации, необходимой для решения поставленной задачи	Не умеет осуществлять выбор актуальных российских и зарубежных источников, а также поиск, сбор и обработку информации, необходимой для решения поставленной задачи	Испытывает затруднения при выборе актуальных российских и зарубежных источников, а также при поиске, сборе и обработке информации, необходимой для решения поставленной задачи	Допускает несущественные ошибки при выборе актуальных российских и зарубежных источников, а также при поиске, сборе и обработке информации, необходимой для решения поставленной задачи	Умеет осуществлять выбор актуальных российских и зарубежных источников, а также при поиске, сборе и обработке информации, необходимой для решения поставленной задачи

Код компетенции	Код и наименование результата обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения			
		1-2 (0-60)	3 (61-75)	4 (76-90)	5 (91-100)
	Владеть: УК-1.В1 навыком выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи	Не имеет навыка выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи	Испытывает затруднения при выборе актуальных российских и зарубежных источников, а также при поиске, сборе и обработке информации, необходимой для решения поставленной задачи	Демонстрирует несущественные ошибки при выборе актуальных российских и зарубежных источников, а также поиске, сборе и обработке информации, необходимой для решения поставленной задачи	Имеет устойчивый навык выбора актуальных российских и зарубежных источников, а также поиска, сбора и обработки информации, необходимой для решения поставленной задачи
ОПК-1. Способен решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, применяя методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общеинженерные знания.	ОПК-1.1.Выявление и классификация физических и химических процессов, протекающих на объекте профессиональной деятельности				
	Знать: ОПК-1.31 физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности	Не знает физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности	Частично знает физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности	Знает физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности	Знает и объясняет с требуемой степенью научной точности и полноты физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности
	Уметь: ОПК-1.У1 выявлять и классифицировать физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности	Не умеет выявлять и классифицировать физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности	Испытывает затруднения при выявлении и классификации физических и химических процессов, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающих на объекте профессиональной деятельности	Допускает несущественные ошибки при выявлении и классификации физических и химических процессов, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающих на объекте профессиональной деятельности	Умеет выявлять и классифицировать физические и химические процессы, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающие на объекте профессиональной деятельности

Код компетенции	Код и наименование результата обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения			
		1-2 (0-60)	3 (61-75)	4 (76-90)	5 (91-100)
	Владеть: ОПК-1.В1 навыками выявления и классификации физических и химических процессов, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающих на объекте профессиональной деятельности	Не имеет навыка выявления и классификации физических и химических процессов, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающих на объекте профессиональной деятельности	Испытывает затруднения при выявлении и классификации физических и химических процессов, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающих на объекте профессиональной деятельности	Демонстрирует несущественные ошибки при выявлении и классификации физических и химических процессов, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающих на объекте профессиональной деятельности	Имеет устойчивый навык выявления и классификации физических и химических процессов, с позиции материаловедения и ТКМ, протекающих на объекте профессиональной деятельности
ОПК-5. Способен решать задачи в области профессиональной деятельности с применением современных информационных технологий и прикладных аппаратно-программных средств.	ОПК-5.1. Решение стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности			
	Знать: ОПК-5.31 способы решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Не знает способы решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Частично знает способы решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Воспроизводит способы решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Воспроизводит и объясняет с требуемой степенью научной точности и полноты способы решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности
	Уметь: ОПК-5.У1 решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Не умеет решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Испытывает затруднения при решении стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Допускает несущественные ошибки при решении стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Умеет решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности

Код компетенции	Код и наименование результата обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения			
		1-2 (0-60)	3 (61-75)	4 (76-90)	5 (91-100)
	Владеть: ОПК-5.В1 навыком решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Не имеет навыка решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Испытывает затруднения при навыком решении стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Демонстрирует несущественные ошибки при решении стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности	Имеет устойчивый навык решения стандартных задач профессиональной деятельности на основе современных информационных технологий с учетом требований информационной безопасности
ОПК 6. Способен принимать обоснованные технические решения профессиональной деятельности, выбирать эффективные безопасные технические средства, технологии.	ОПК-6.2. Выбор метода или методики решения задачи профессиональной деятельности				
	Знать: ОПК-6.32 методы или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Не воспроизводит методы или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Частично воспроизводит методы или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Воспроизводит методы или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Воспроизводит и объясняет с требуемой степенью научной точности и полноты методы или методики решения задачи профессиональной деятельности.
	Уметь: ОПК-6.У2 выбирать метод или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Не умеет выбирать метод или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Испытывает затруднения при выборе метода или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Допускает несущественные ошибки при выборе метода или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Умеет выбирать метод или методики решения задачи профессиональной деятельности.
	Владеть: ОПК-6.В2 навыком выбора метода или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Не имеет навыка выбора метода или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Испытывает затруднения при выборе метода или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Демонстрирует несущественные ошибки при выборе метода или методики решения задачи профессиональной деятельности.	Имеет устойчивый навык выбора метода или методики решения задачи профессиональной деятельности.
ОПК-6.4. Выбор материалов для технического объекта исходя из требований безопасности и эффективности					

Код компетенции	Код и наименование результата обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения			
		1-2 (0-60)	3 (61-75)	4 (76-90)	5 (91-100)
	Знать: ОПК-6.34 способы выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Не воспроизводит способы выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Частично воспроизводит способы выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Воспроизводит способы выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Воспроизводит и объясняет с требуемой степенью научной точности и полноты способы выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.
	Уметь: ОПК-6.У4 выбирать материалы для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Не умеет выбирать материалы для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Испытывает затруднения при выборе материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Допускает несущественные ошибки при выборе материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Умеет выбирать материалы для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.
	Владеть: ОПК-6.В4 навыком выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Не имеет навыка выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Демонстрирует затруднения при выборе материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Демонстрирует несущественные ошибки при выборе материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.	Имеет устойчивый навык выбора материалов для технического объекта, исходя из требований безопасности и эффективности.

**КАРТА****обеспеченности дисциплины учебной и учебно-методической литературой**

Дисциплина: Материаловедение. Технология конструкционных материалов.

Код, направление подготовки: 21.03.01 Нефтегазовое дело

Профиль: Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти

№ п/п	Название учебного, учебно-методического издания, автор, издательство, вид издания, год издания	Количество экземпляров в БИК	Контингент обучающихся, использующих указанную литературу	Обеспеченность обучающихся литературой, %	Наличие электронного варианта в ЭБС (+/-)
1	Плошкин В.В. Материаловедение: Учебник / В.В. Плошкин. – М., Издательство Юрайт, 2018. - 463с. <a href="http://www.biblio-online.ru/book/20ACA691-8F87-4627-A262-CE7A7754A988">http://www.biblio-online.ru/book/20ACA691-8F87-4627-A262-CE7A7754A988</a>	электронный ресурс	150	100	+
2	Рогов В.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебник / В.А. Рогов. – М., Издательство Юрайт, 2018. – 330 с. <a href="http://www.biblio-online.ru/book/EB172FF6-3B6E-4F3C-8E06-EDE4B19044C0">http://www.biblio-online.ru/book/EB172FF6-3B6E-4F3C-8E06-EDE4B19044C0</a>	электронный ресурс	150	100	+



**Дополнения и изменения к рабочей учебной программе по дисциплине**

---

на 202 / 202 учебный год

Дополнения и изменения внес

/

/

Дополнения (изменения) в рабочую учебную программу рассмотрены и одобрены на заседании кафедры \_ . Протокол № от «\_\_» \_\_\_\_\_ г.

(наименование кафедры, П(Ц)К)

Заведующий кафедрой

/

/

«\_\_» \_\_\_\_\_ г.