

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра машиноведение, механика и инженерная графика**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И.Луковникова

«\_\_\_\_\_» декабря 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Б1.Б.19.08 (2013 – 2015 гг.)**

**Б1.Б.20.08 (2016 – 2018 гг.)**

**СПЕЦИАЛЬНОСТЬ**

**23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства**

**СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ**

**Подъемно-транспортные, строительные, дорожные  
средства и оборудование**

**ПРОГРАММА СПЕЦИАЛИТЕТА**

Квалификация выпускника: инженер

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>4</b>
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	5
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	9
4.3 Лабораторные работы.....	53
4.4 Практические занятия.....	53
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	53
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>54</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>55</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>55</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>56</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>56</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ..	56
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>67</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>67</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>68</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>75</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>76</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Целью изучения дисциплины является: сформировать знания у обучающихся в области материаловедения, производства, методов обработки и улучшения свойств конструкционных материалов; научить выбирать необходимые материалы, методы повышения их функциональных параметров, технологические процессы производства деталей, обеспечивающие высокое качество машин, экономию материалов при проектировании, производстве и эксплуатации подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудовании.

## Задачи дисциплины

Задачами изучения дисциплины являются:

- ознакомление обучающихся с основными технологическими методами получения заготовок литьем, обработкой металлов давлением, сваркой, резанием;
- изучение методов формообразования заготовок и деталей;
- ознакомление обучающихся с принципиальными схемами работы технологического оборудования (станками, машинами, автоматами и т.д.);
- изучение устройства инструментов, приспособлений и оснастки их назначения и применения;
- ознакомление обучающихся с современными конструкционными материалами, их основными свойствами и областями применения.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ПСК-2.7	Способность разрабатывать технологическую документацию для производства, модернизации, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта средств механизации и автоматизации подъемно-транспортных, строительных и дорожных работ	<b>знать:</b> – основные характеристики и принципы выбора конструкционных материалов для изготовления деталей наземных транспортно-технологических машин; <b>уметь:</b> – идентифицировать на основании маркировки конструкционные и эксплуатационные материалы и определять возможные области их применения; <b>владеть:</b> – методами проведения комплексного технико-экономического анализа для процесса реализации принятых решений с обеспечением необходимых технических данных в машиностроительном производстве; – методами обеспечения безопасной эксплуатации машин и оборудования.
ОК-1	Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу	<b>знать:</b> – методические, нормативные и руководящие материалы, касающиеся выполняемой работы; – основы технологии заготовительного и металлообрабатывающего производства; <b>уметь:</b> – выполнять работы по проектированию, техническому контролю в машиностроении;

		<p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами проведения комплексного технико-экономического анализа для обоснованного принятия решений.</li> </ul>
ПК-10	Способность разрабатывать технологическую документацию для производства, модернизации, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта наземных транспортно-технологических средств и их технологического оборудования	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методические, нормативные и руководящие материалы, касающиеся проблем создания машин различных типов, приводов, систем, технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств;</li> </ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пользоваться чертежами узлов оригинальных наземных транспортно-технологических машин в объёме, достаточном для изготовления их сборочных чертежей;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основными методами исследования и проектирования механизмов машин;</li> <li>– инженерной терминологией в области наземных транспортно-технологических машин.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.Б.20.08 Технология конструкционных материалов относится к базовой части.

Дисциплина «Технология конструкционных материалов» базируется на знаниях, полученных при изучении учебных дисциплин: Б1.Б.11 Математика; Б1.Б.13 Физика; Б1.Б.15 Химия.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, «Технология конструкционных материалов» представляет основу для изучения дисциплин: Б2.П.2 Производственная: технологическая практика; Б2.П.4 Производственная (преддипломная) практика; Б3 Государственная итоговая аттестация.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации специалист.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоёмкость дисциплины в часах						Курсовая работа	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	2	3	144	68	34	34	-	22	-	Экзамен
Заочная	3	-	144	10	4	6	-	125	-	Экзамен
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоёмкости

Вид учебных занятий	Трудоёмкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			3
1	2	3	4
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	68	9	68
Лекции (Лк)	34	5	34
Лабораторные работы (ЛР)	34	4	34
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	22	-	22
Подготовка к лабораторным работам	11	-	11
Подготовка к экзамену в течение семестра	11	-	11
<b>III. Промежуточная аттестация экзамен</b>	54	-	54
Общая трудоёмкость дисциплины ..... час.	144	-	144
зач. ед.	4	-	4

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		Самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	лабораторные работы	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>1. Metallургическое производство</b>	<b>10</b>	<b>6</b>	-	<b>4</b>
1.1.	Основы металлургического производства	1	0,6	-	0,4
1.2.	Структура металлургического производства	1	0,6	-	0,4
1.3.	Получение чугуна	1	0,6	-	0,4
1.4.	Получение стали	1	0,6	-	0,4
1.5.	Мартеновская печь	1	0,6	-	0,4
1.6.	Кислородный конвертор	1	0,6	-	0,4
1.7.	Электродуговая сталеплавильная печь	1	0,6	-	0,4
1.8.	Электроиндукционная печь	1	0,6	-	0,4
1.9.	Этапы выплавки стали.	1	0,6	-	0,4
1.10.	Повышение качества стали	1	0,6	-	0,4
<b>2.</b>	<b>Литейное производство</b>	<b>15,2</b>	<b>5,6</b>	<b>6</b>	<b>3,6</b>
2.1.	Литейные свойства сплавов	1,52	0,56	0,6	0,36
2.2.	Формовочные материалы	1,52	0,56	0,6	0,36
2.3.	Литейная оснастка	1,52	0,56	0,6	0,36
2.4.	Ручная и машинная формовка	1,52	0,56	0,6	0,36
2.5.	Сборка форм, заливка, выбивка и обработка отливок	1,52	0,56	0,6	0,36
2.6.	Специальные виды литья	1,52	0,56	0,6	0,36
2.7.	Литьё в оболочковые формы	1,52	0,56	0,6	0,36
2.8.	Литьё по выплавляемым моделям	1,52	0,56	0,6	0,36
2.9.	Литьё под давлением	1,52	0,56	0,6	0,36
2.10.	Центробежное литьё	1,52	0,56	0,6	0,36
<b>3.</b>	<b>Обработка металлов давлением (ОМД)</b>	<b>17,2</b>	<b>5,6</b>	<b>8</b>	<b>3,6</b>
3.1.	Физические основы ОМД	2,35	0,65	1,4	0,3
3.2.	Законы пластической деформации	1,35	0,45	0,6	0,3
3.3.	Холодная и горячая пластическая деформация	1,35	0,45	0,6	0,3
3.4.	Температурный режим ОМД	1,35	0,45	0,6	0,3
3.5.	Устройства для нагрева заготовок	1,35	0,45	0,6	0,3
3.6.	Классификация видов обработки металлов давлением	1,35	0,45	0,6	0,3
3.7.	Прокатное производство	1,35	0,45	0,6	0,3
3.8.	Классификация прокатных станов. Продукция прокатного	1,35	0,45	0,6	0,3

	производства				
3.9.	Волочение	1,35	0,45	0,6	0,3
3.10.	Ковка	1,35	0,45	0,6	0,3
3.11.	Горячая объемная штамповка	1,35	0,45	0,6	0,3
3.12.	Холодная листовая штамповка	1,35	0,45	0,6	0,3
<b>4.</b>	<b>Сварочное производство</b>	<b>17,2</b>	<b>5,6</b>	<b>8</b>	<b>3,6</b>
4.1.	Процесс сварки	1,94	0,7	1	0,24
4.2.	Электродуговая сварка	1,09	0,35	0,5	0,24
4.3.	Ручная дуговая сварка	1,09	0,35	0,5	0,24
4.4.	Автоматическая дуговая сварка под флюсом	1,09	0,35	0,5	0,24
4.5.	Автоматическая дуговая сварка в защитном газе	1,09	0,35	0,5	0,24
4.6.	Газовая сварка	1,09	0,35	0,5	0,24
4.7.	Электроконтактная сварка	1,09	0,35	0,5	0,24
4.8.	Стыковая сварка	1,09	0,35	0,5	0,24
4.9.	Точечная сварка	1,09	0,35	0,5	0,24
4.10.	Шовная (роликовая) сварка	1,09	0,35	0,5	0,24
4.11.	Сварка трением	1,09	0,35	0,5	0,24
4.12.	Холодная сварка	1,09	0,35	0,5	0,24
4.13.	Дефекты и контроль качества сварных соединений	1,09	0,35	0,5	0,24
4.14.	Особенности сварки жаропрочных сталей	1,09	0,35	0,5	0,24
4.15.	Пайка	1,09	0,35	0,5	0,24
<b>5.</b>	<b>Обработка металлов резанием</b>	<b>15,2</b>	<b>5,6</b>	<b>6</b>	<b>3,6</b>
5.1.	Обработка металлов резанием. Основные понятия	2,6	0,8	1,2	0,6
5.2.	Физические явления в процессе резания	2,1	0,8	0,8	0,5
5.3.	Обработка заготовок на сверлильных станках	2,1	0,8	0,8	0,5
5.4.	Обработка заготовок на шлифовальных станках	2,1	0,8	0,8	0,5
5.5.	Отделочная обработка резанием	2,1	0,8	0,8	0,5
5.6.	Чистовая обработка пластическим деформированием	2,1	0,8	0,8	0,5
5.7.	Электрофизическая и электрохимическая обработка	2,1	0,8	0,8	0,5
<b>6.</b>	<b>Классификация конструкционных материалов</b>	<b>15,2</b>	<b>5,6</b>	<b>6</b>	<b>3,6</b>
6.1.	Свойства конструкционных металлов и сплавов	2,6	0,8	1,2	0,6
6.2.	Способы улучшения качества стали	2,1	0,8	0,8	0,5
6.3.	Термическая обработка	2,1	0,8	0,8	0,5
6.4.	Химико-термическая обработка	2,1	0,8	0,8	0,5
6.5.	Основные марки сталей	2,1	0,8	0,8	0,5
6.6.	Основные марки чугунов	2,1	0,8	0,8	0,5
6.7.	Основные сведения о цветных металлах и сплавах	2,1	0,8	0,8	0,5
	<b>ИТОГО</b>	<b>90</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>22</b>

- для заочной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		Самосто- ятельная работа обучаю- щихся*
			лекции	лабора- торные работы	
1	2	3	4	5	6
<b>1.</b>	<b>1. Metallургическое произ- водство</b>	<b>26</b>	<b>1</b>	-	<b>25</b>
1.1.	Основы металлургического производства	2,75	0,25	-	2,5
1.2.	Структура металлургического производства	2,75	0,25	-	2,5
1.3.	Получение чугуна	2,75	0,25	-	2,5
1.4.	Получение стали	2,75	0,25	-	2,5
1.5.	Мартеновская печь	2,5	-	-	2,5
1.6.	Кислородный конвертор	2,5	-	-	2,5
1.7.	Электродуговая сталеплавильная печь	2,5	-	-	2,5
1.8.	Электроиндукционная печь	2,5	-	-	2,5
1.9.	Этапы выплавки стали.	2,5	-	-	2,5
1.10.	Повышение качества стали	2,5	-	-	2,5
<b>2.</b>	<b>Литейное производство</b>	<b>22,6</b>	<b>0,6</b>	<b>2</b>	<b>20</b>
2.1.	Литейные свойства сплавов	2,4	0,2	0,2	2
2.2.	Формовочные материалы	2,4	0,2	0,2	2
2.3.	Литейная оснастка	2,4	0,2	0,2	2
2.4.	Ручная и машинная формовка	2,2	-	0,2	2
2.5.	Сборка форм, заливка, выбивка и обработка отливок	2,2	-	0,2	2
2.6.	Специальные виды литья	2,2	-	0,2	2
2.7.	Литьё в оболочковые формы	2,2	-	0,2	2
2.8.	Литьё по выплавляемым моделям	2,2	-	0,2	2
2.9.	Литьё под давлением	2,2	-	0,2	2
2.10.	Центробежное литьё	2,2	-	0,2	2
<b>3.</b>	<b>Обработка металлов давлением (ОМД)</b>	<b>22,6</b>	<b>0,6</b>	<b>2</b>	<b>20</b>
3.1.	Физические основы ОМД	2,8	0,2	0,2	2,4
3.2.	Законы пластической деформации	2	0,2	0,2	1,6
3.3.	Холодная и горячая пластическая деформация	2	0,2	0,2	1,6
3.4.	Температурный режим ОМД	1,8	-	0,2	1,6
3.5.	Устройства для нагрева заготовок	1,8	-	0,2	1,6
3.6.	Классификация видов обработки металлов давлением	1,8	-	0,2	1,6
3.7.	Прокатное производство	1,8	-	0,2	1,6
3.8.	Классификация прокатных станов. Продукция прокатного производства	1,8	-	0,2	1,6
3.9.	Волочение	1,8	-	0,2	1,6
3.10.	Ковка	1,8	-	0,2	1,6
3.11.	Горячая объемная штамповка	1,6	-	-	1,6



3.12.	Холодная листовая штамповка	1,6	-	-	1,6
<b>4.</b>	<b>Сварочное производство</b>	<b>22,6</b>	<b>0,6</b>	<b>2</b>	<b>20</b>
4.1.	Процесс сварки	2,2	0,2	0,2	1,8
4.2.	Электродуговая сварка	1,7	0,2	0,2	1,3
4.3.	Ручная дуговая сварка	1,7	0,2	0,2	1,3
4.4.	Автоматическая дуговая сварка под флюсом	1,5	-	0,2	1,3
4.5.	Автоматическая дуговая сварка в защитном газе	1,5	-	0,2	1,3
4.6.	Газовая сварка	1,5	-	0,2	1,3
4.7.	Электроконтактная сварка	1,5	-	0,2	1,3
4.8.	Стыковая сварка	1,5	-	0,2	1,3
4.9.	Точечная сварка	1,5	-	0,2	1,3
4.10.	Шовная (роликовая) сварка	1,5	-	0,2	1,3
4.11.	Сварка трением	1,3	-	-	1,3
4.12.	Холодная сварка	1,3	-	-	1,3
4.13.	Дефекты и контроль качества сварных соединений	1,3	-	-	1,3
4.14.	Особенности сварки жаропрочных сталей	1,3	-	-	1,3
4.15.	Пайка	1,3	-	-	1,3
<b>5.</b>	<b>Обработка металлов резанием</b>	<b>20,6</b>	<b>0,6</b>	<b>-</b>	<b>20</b>
5.1.	Обработка металлов резанием. Основные понятия	3,4	0,2	-	3,2
5.2.	Физические явления в процессе резания	3	0,2	-	2,8
5.3.	Обработка заготовок на сверлильных станках	3	0,2	-	2,8
5.4.	Обработка заготовок на шлифовальных станках	2,8	-	-	2,8
5.5.	Отделочная обработка резанием	2,8	-	-	2,8
5.6.	Чистовая обработка пластическим деформированием	2,8	-	-	2,8
5.7.	Электрофизическая и электрохимическая обработка	2,8	-	-	2,8
<b>6.</b>	<b>Классификация конструкционных материалов</b>	<b>20,6</b>	<b>0,6</b>	<b>-</b>	<b>20</b>
6.1.	Свойства конструкционных металлов и сплавов	3,4	0,2	-	3,2
6.2.	Способы улучшения качества стали	3	0,2	-	2,8
6.3.	Термическая обработка	3	0,2	-	2,8
6.4.	Химико-термическая обработка	2,8	-	-	2,8
6.5.	Основные марки сталей	2,8	-	-	2,8
6.6.	Основные марки чугунов	2,8	-	-	2,8
6.7.	Основные сведения о цветных металлах и сплавах	2,8	-	-	2,8
	<b>ИТОГО</b>	<b>135</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>125</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### РАЗДЕЛ 1. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ПРОИЗВОДСТВО

#### 1.1. Основы металлургического производства

Интерактив: лекция-беседа (0,3 час.)

В земной коре *металлы* находятся в виде *руды* (горных пород с высоким содержанием соединений металла). **Благородные металлы** (золото, серебро, платина) встречаются в виде самородков.

Для извлечения металлов из сопутствующих пород применяют *физические методы*, основанные на разной плотности породы и металла. **Активные металлы** (железо, алюминий, титан, олово, цинк и др.) в природе встречаются только в виде соединений, из которых их извлекают различными *химическими способами*:

- 1) *восстановлением неметаллами* (железо восстанавливают углеродом, вольфрам – водородом);
- 2) *восстановлением металлами* (титан восстанавливают более активным магнием или бериллием);
- 3) *электролизом растворов и расплавов* (так получают алюминий и магний).

*Природные руды* очень часто «бедные», поэтому перед выплавкой их *обогащают*. В цикле любого металлургического производства происходит постепенное повышение концентрации нужного металла.

**Задача металлургического производства** – восстановление металлов из оксидов и других соединений.

Наиболее значимыми в технике являются черные металлы: *чугун* и *сталь*. Их получением занимается **черная металлургия**.

**Цветная металлургия** получает *медь, алюминий, титан, другие цветные металлы и сплавы* на их основе.

Руды цветных металлов «беднее» железных: в медной руде содержится 1...5 % меди, в молибденовых – сотые доли процента Mo. Алюминий получают в основном из бокситов, в которых его содержание доходит до 40...60%.

Для их обогащения применяется больше операций; плавка идет в несколько этапов. После переработки чистота цветных металлов достигает свыше 99%.

#### 1.2. Структура металлургического производства

Интерактив: лекция-беседа (0,3 час.)

*Предприятия черной металлургии* базируются на месторождениях руд и коксующихся углей, а также рядом с энергетическими комплексами (рис.1.1).

*Сырьем* для черной металлургии являются *железная руда, кокс, флюсы*.

**Продукция черной металлургии** – это *стальные и чугунные отливки* (литые заготовки), *стальной прокат* (рельсы, балки, листы, проволока, трубы), *чугун передельный и литейный* (в чушках), *ферросплавы*. Важнейший из этих продуктов – *сталь*,

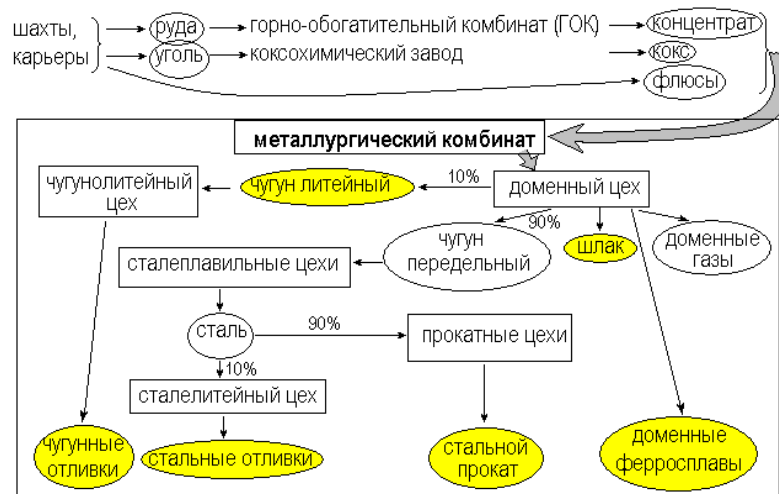


Рис. 1.1. Схема металлургического производства (чёрная металлургия)

### Основные задачи черной металлургии.

1. Получение чугуна из руды путем восстановления железа из оксидов – производится в доменной печи.
2. Получение стали из чугуна и скрапа (металлолома) путем окисления избытка примесей – производится в сталеплавильных агрегатах (конверторе, мартеновской печи и др.).

### 1.3. Получение чугуна

Интерактив: лекция-беседа (0,3 час.)

**Домна** – вертикальная плавильная печь шахтного типа, работает по принципу противотока: шихта загружается сверху, проплавляется и опускается, а горячий воздух и газы поднимаются вверх.

**Шихтой называют** все материалы, загружаемые в печь. В доменном производстве – это руда, кокс и флюсы. Все эти материалы проходят предварительную обработку: *дробление крупных кусков, спекание мелких, обогащение.*

В домну загружается не природная руда, а обогащенный концентрат – в виде кусков определенной величины (10...80 мм), полученных *агломерацией* (спеканием) или *окатыванием* (из мелких фракций увлажненной шихты делаются шарики диаметром 30 мм и обжигаются).

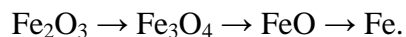
Домна вмещает до 7 тыс. т шихты (5 железнодорожных составов). Это печь непрерывного действия, она работает в течение 5-8 лет круглосуточно, без ремонта.

Снаружи домна одета стальным кожухом толщиной 40...50 мм, шамотная кладка печи имеет толщину от 70 см в верхней части до 1,5 м в районе горна.

**Температура подогретого воздуха** для горения топлива, обогащенного кислородом (дутье) достигает 1200 °С, что позволяет экономить кокс и повышает производительность.

Кокс сгорает с выделением большого количества тепла – температура достигает 2000°С. Продукты сгорания – газы CO и CO<sub>2</sub> – отдают тепло шихте. На выходе их температура составляет 300 °С.

**В домне происходит** косвенное восстановление железа (газами CO и H<sub>2</sub>) и *прямое* восстановление железа (твердым углеродом кокса) по следующей формуле:



Кроме того, восстанавливаются примеси – *кремний, марганец, фосфор*. Железо активно растворяет *углерод* и *серу*. Сплав, насыщенный углеродом до ≈ 4 %, плавится и стекает в горн.

*Дальнейшее насыщение* чугуна углеродом невозможно, так как слой жидкого чугуна прикрыт сверху слоем жидкого шлака, состоящего из оксидов и более легкого, чем металл.

Выпуск чугуна и шлака производится периодически через чугунную и шлаковую лётки.

**Доменным чугуном** – называется сплав железа с углеродом, марганцем, кремнием, фосфором и серой. Он подразделяется на *литейный* чугун, который разливают в слитки весом 45 кг (чушки) и *передельный* чугун, который идет на передел в сталь.

**Передельный чугун** из чугуновозных ковшей сливают в миксер – огнеупорную емкость, обогреваемую горючим газом, вместимостью до 2 тыс. т жидкого чугуна. В миксере происходит усреднение состава чугуна из разных плавов, что важно для правильной работы сталеплавильных агрегатов.

*Чугун* и *доменные ферросплавы*, применяемые для раскисления и легирования стали, – это основная продукция доменного производства, а *шлак* и *доменный газ* – побочная продукция.

## 1.4. Получение стали

*Исходными материалами* для получения стали являются: *передельный чугун* и *скрап* (металлолом).

Выплавку стали производят в **сталеплавильных печах** различной конструкции, ёмкости и производительности.

**В состав чугуна** входят следующие материалы: 4 % C; 1 % Mn; 1 % Si; 0,3 % P;  $\leq 0,1$  % S. **В состав стали 40** – 0,4 % C; 0,5 % Mn; 0,3 % Si;  $\leq 0,05$  % P;  $\leq 0,03$  % S.

Следовательно, *в стали* содержание всех примесей примерно в 10 раз меньше, чем *в чугуне*. Для этого примеси окисляют и переводят в шлак.

### 1.4.1. Мартеновская печь

**Мартеновская печь** является самой крупной сталеплавильной печью, которая вмещает до 900 т жидкой стали.

*Печь представляет собой* ванну из огнеупорных материалов. Сверху имеется свод, в передней стенке расположены окна для завалки шихты, в нижней части задней стенки – летка для выпуска стали.

В боковых стенах имеются головки для подачи топлива и отвода продуктов сгорания. Источником тепла является факел, в котором сгорает природный газ или мазут.

**Газы, образованные при горении**, проходят через один из регенераторов (воздухонагревателей), отдавая тепло кирпичной насадке. Воздух для горения топлива подается через нагретый регенератор.

Для ускорения плавки через свод печи пропущены фурмы для вдувания кислорода.

*Печь выдерживает* 400...600 плавов (примерно 8 месяцев), после этого ставится на ремонт. Продолжительность плавки в мартеновской печи 6...12 часов.

**В Мартеновской печи выплавляют** стали обыкновенного качества, углеродистые и легированные. Доля мартеновской стали составляет около 50 % от всей выплавляемой в мире стали. В последние десятилетия эта доля снижается, так как новых мартеновских печей больше не строят.

### 1.4.2. Кислородный конвертор

**Кислородный конвертор** – вторая по величине сталеплавильная печь, которая представляет собой грушевидный сосуд (реторту) из огнеупорного кирпича, покрытый снаружи стальным кожухом и подвешенный на опорах.

*Конвертор можно поворачивать на цапфах и наклонять* для выпуска стали и шлака. Емкость конверторов – до 400 т жидкой стали. Размеры: высота до 9 м, диаметр – до 7 м.

*В конверторе* окисление имеющихся в чугуне примесей идет за счет продувки жидкого чугуна чистым кислородом (через фурму сверху). *Химические реакции* окисления протекают

с выделением огромного количества теплоты. Под фурмой температура расплава достигает 2400 °С.

**В конверторах выплавляют** только углеродистую и низколегированную сталь (содержание легирующих добавок не более 3 %), так как слишком высокие температуры способствуют выгоранию ценных легирующих элементов.

*Плавка продолжается* всего 40 минут – т.е. это самый высокопроизводительный сталеплавильный агрегат. Поэтому доля конверторной стали растет; конверторный способ вытесняет мартеновский.

### **1.4.3. Электродуговая сталеплавильная печь**

**Электродуговая сталеплавильная печь** имеет емкость до 300 т. Она представляет камеру из огнеупорного кирпича со съёмным сводом.

Для загрузки флюсов и легирующих элементов имеется окно – загрузка шихты производится сверху при снятом своде.

Для выпуска стали печь имеет огнеупорный желоб. Благодаря специальному механизму печь может наклоняться.

*Тепло для химических реакций* получается от горения трех электрических дуг между графитовыми электродами и шихтой. Печь питается трехфазным током с напряжением 600 В, сила тока равна до 10 кА.

**В электропечах** выплавляют *высококачественные легированные стали*. Плавка длится 6...7 часов, на тонну стали расходуется примерно 600 кВтч электроэнергии и около 10 кг электродов.

### **1.4.4. Электроиндукционная печь**

**Электроиндукционная печь** – самый маленький агрегат для выплавки стали. Ее емкость не превышает 25 т. Такие печи строят на машиностроительных предприятиях для переплавки собственных отходов.

*Электроиндукционная печь* – это огнеупорный тигель, помещенный в индуктор. Индуктор выполнен в виде витков медной трубки, через которую под давлением прокачивается вода для охлаждения.

*Индуктор подключен* к генератору переменного тока высокой частоты 500...2000 Гц. Ток создает переменное электромагнитное поле. Под действием этого поля в кусках шихты, находящейся в тигле, наводятся вихревые токи (или токи Фуко). За счет сопротивления металла прохождению тока шихта разогревается и плавится.

В этой печи не слишком высокая температура, поэтому нет угара легирующих элементов. Нет графитовых электродов, как в дуговой печи, поэтому лишний углерод не попадает в расплав.

**В индукционных печах** выплавляют *высококачественные легированные стали и сплавы*.

### **1.4.5. Этапы выплавки стали**

**В любой сталеплавильной печи** плавка происходит в несколько этапов:

1) *плавление шихты и нагрев ванны* – в этот период окисляются железо и примеси, и удаляется фосфор;

2) *«кипение» ванны* – лишний углерод удаляется в виде пузырьков СО, и кажется, что сталь кипит; в это же время идет удаление серы;

3) *раскисление* – восстановление железа из оксида FeO с помощью более активных элементов (марганца, кремния, алюминия);

4) *легирование* – добавление необходимых элементов для получения легированной стали; производится в конце плавки или прямо в ковше.

**По степени раскисления** стали подразделяют на:

1) *спокойные* (полностью раскисленные *ферромарганцем, ферросилицием и алюминием*);

2) *кипящие* (раскисленные *только ферромарганцем* – они «кипят» в изложнице, при этом выделяется оксид СО в виде пузырьков)

3) *полуспокойные* (раскисленные *марганцем и кремнием*).

*Слиток спокойной стали* – плотный, в верхней части имеется усадочная раковина. В *слитке кипящей стали* – остаются пузырьки газа, усадочной раковины нет.

*Кипящая сталь* не содержит неметаллических включений и более пластична, так как в ней меньше кремния.

#### 1.4.6. Повышение качества стали

*Все сплавы на диаграмме железо-углерод* в зависимости от содержания углерода можно разделить на две группы: ковкие железобуглеродистые сплавы – *стали* 0...2,14% С и *чугуны* с содержанием углерода свыше 2,14 до 6,67 % С.

*Чугуны с содержанием С > 4,3%* не имеют практического применения из-за высокой хрупкости и низкой прочности.

*Повысить качество стали* – значит уменьшить в ней содержание вредных примесей: *фосфора; серы и кислорода*.

*Фосфор вызывает хладоломкость* стали, так как повышает ее хрупкость при низких температурах, а *сера – красноломкость*, т.е. склонность к образованию трещин при высоких температурах.

*Кислород* уменьшает вязкость стали.

*Предельное содержание фосфора* не должно превышать 0,08%, *серы* – 0,05%.

## РАЗДЕЛ 2. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

*Задача литейного производства* – получение заготовок и деталей машин путем заливки расплавленного металла в литейную форму, полость которой имеет очертания заготовки. После затвердевания металл сохраняет форму полости. Получаемые заготовки называются *отливками*.

*Отливки могут иметь:* массу до 300 т; максимальную длину – 20 м; толщину стенок до 500 мм.

Существует множество способов литья, различаемых по материалу формы, операциям для её изготовления, вариантам заливки жидкого металла в форму и другим признакам.

### 2.1. Литейные свойства сплавов

Интерактив: лекция-беседа (0,3 час.)

Есть сплавы, из которых изделия получают методами пластического деформирования (обработкой давлением), а есть литейные, из которых выгоднее отлить детали.

Есть сплавы, пригодные и для литья, и для обработки давлением, например, некоторые бронзы. Чугуны являются чисто литейными сплавами.

*Литейные сплавы* должны обладать следующими свойствами: хорошей *жидкотекучестью*, малой *линейной* и *объёмной усадкой*, не иметь склонности к образованию *трещин, газовых раковин и пор*.

**1. Жидкотекучесть** – способность сплава в жидком состоянии течь по каналам формы, заполнять все ее полости и точно воспроизводить контуры отливки.

Лучшими литейными сплавами являются *серые чугуны*. Чтобы повысить жидкотекучесть, можно сильно перегреть сплав перед заливкой или подогреть форму.

**2. Усадка** – уменьшение линейных размеров и объёма сплава при охлаждении. Все металлы (кроме висмута) уменьшают объём при кристаллизации.

При охлаждении твёрдые тела сжимаются (уменьшаются средние межатомные расстояния). *Усадка* – явление неизбежное, поэтому важно правильно учитывать эти изменения размеров при проектировании литейной оснастки.

*Усадка выражается* в относительных единицах:

линейная усадка  $\varepsilon_{об} = \frac{l_{\phi} - l_o}{l_o} \cdot 100\%$ ,

где  $l_{\phi}$  и  $l_o$  – линейные размеры формы и отливки при 20 °С;

объемная усадка  $\varepsilon_{об} = \frac{v_{\phi} - v_o}{v_o} \cdot 100\%$ ,

где  $v_{\phi}$  и  $v_o$  – объём формы и отливки при 20 °С.

Можно считать, что *объемная усадка* равна  $\varepsilon_{об} \approx 3\varepsilon_{л}$ .

Хорошие литейные сплавы – *силумины, чугуны* – дают усадку чуть меньше 1 %, *стали и медные сплавы* – 2,5...3 %.

Усадка может приводить к возникновению дефектов: *усадочных раковин, трещин, коробления*.

**Усадочная раковина** – крупная полость, которая образуется в той части отливки, которая затвердевает последней (рис. 2.2).

Чтобы предотвратить образование усадочных раковин, применяют *прибыли* – массивные резервуары с расплавленным металлом, питающие отливку до окончания кристаллизации.

**3. Склонность к образованию трещин.** При затвердевании толстые и тонкие части отливки испытывают неравномерную усадку, к тому же усадке может мешать форма. Сама конструкция отливки такова, что тонкие рёбра жёсткости кристаллизуются быстрее и тормозят дальнейшее сокращение размеров.



Рис. 2.2. Усадочная раковина

В результате в металле отливки возникают внутренние напряжения. Если они превышают прочность сплава, могут образоваться трещины.

**4. Склонность к образованию газовых раковин и пор.** Расплавленные металлы всегда растворяют в себе газы – тем больше, чем выше температура расплава. Они захватывают газы из атмосферы и при испарении влаги из формовочной смеси.

Газы образуют пузыри в теле отливки. Большие пузыри называются *раковинами*, мелкие – *порами*. Формы и стержни надо хорошо просушивать, делать *выпоры* (каналы) для выхода газов, не завышать температуру заливки. Самый действенный способ – *дегазация металла перед разливкой*.

## 2.2. Формовочные материалы

Интерактив: лекция-беседа (0,3 час.)

**Формовочные материалы** – это *кварцевые формовочные пески* и *литейные формовочные глины*. Из них, добавляя влагу и некоторые другие вещества, получают *формовочные смеси*.

### Требования к формовочным смесям.

1. *Огнеупорность* – смесь не должна размягчаться и расплавляться при контакте с расплавленным металлом.

2. *Прочность* – смесь не должна разрушаться при извлечении модели, транспортировке формы и заливке.

3. *Пластичность* – способность точно воспроизводить контуры модели при формовке.

4. *Газопроницаемость* – способность пропускать образующиеся в ходе заливки газы к поверхности формы.

5. *Податливость* – смесь не должна мешать усадке отливки.

6. *Долговечность* – смесь должна сохранять свои свойства при многократном использовании.

**Виды формовочных смесей.** По назначению формовочные смеси подразделяются на облицовочные, наполнительные и единые.

1. Из облицовочной смеси – набивают рабочий слой, который будет контактировать с расплавом.

2. Наполнительной смесью – заполняют остальную часть формы (рис. 2.3).

3. Единые смеси – применяют в машинной формовке.

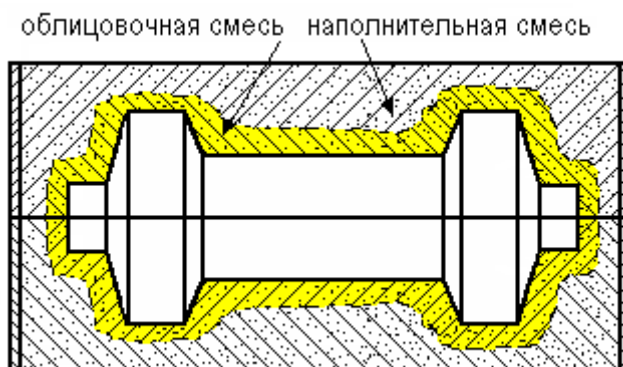


Рис. 2.3. Заполнение формы облицовочной и наполнительной смесью

**Стержневые смеси** должны иметь более высокие свойства, чем *формовочные*, так как они работают в более трудных условиях и окружены со всех сторон расплавленным металлом.

В современном литейном производстве для изготовления стержней и форм широко используют *специальные смеси*.

**Примеры специальных смесей.**

1. *Смеси, отверждаемые в нагреваемой оснастке* – состоят из 95% песка и терморезактивной смолы. При контакте с нагретой до 250...300 °С оснасткой смола переходит в вязкотекучее состояние и обволакивает частицы песка, затем она затвердевает, и образуется прочная форма.

2. *Жидкостекольные смеси* – песок и жидкое стекло. Отверждается смесь при продувке формы углекислым газом, примерно в течение 50 минут. Из таких смесей делают только рабочий слой формы, до 70 мм толщиной.

3. *Холоднотвердеющие смеси (ХТС)* – состоят из песка, смолы типа эпоксидной и отвердителя. Отверждение длится около 30 минут, полная прочность достигается через сутки.

### 2.3. Литейная оснастка

Рассмотрим части *литейной формы* и *оснастку*, необходимую для её изготовления. Для получения большинства отливок песчаная форма должна состоять из двух *полуформ*, изготовленных по модели в литейных опоках.

**Литейная форма** – это приспособление, имеющее рабочую полость, при заливке в которую расплавленный металл образует отливку.

**Опока** – рамка для удержания формовочной смеси, чаще всего металлическая. *Полуформой* называют опоку с уплотнённой формовочной смесью и отпечатком от модели.



**Модель** – приспособление, имеющее очертания и размеры отливки, с учётом припусков на усадку металла, для получения отпечатка в формовочной смеси. Модели делают из металла, пластмассы, дерева. Модель повторяет только внешние контуры будущей отливки.

**Стержни** – служат для получения отверстий и полостей в отливках. Они изготовлены из специальных *формовочных смесей*. Для изготовления стержней применяют металлические *стержневые ящики*. Стержневой ящик должен раскрываться для извлечения готового стержня.

**Литниковая система** – это каналы и полости, обеспечивающие заполнение формы расплавом и питание отливки жидким металлом до полного затвердевания, а также удаление шлаков. Чтобы получить эти каналы, модели частей литниковой системы заформовывают вместе с моделью отливки.

Существуют различные варианты *литниковых систем*. Подача расплава в форму предпочтительнее сбоку или снизу, без падения струи металла с большой высоты, чтобы не размывать формовочную смесь.

Основные части литниковой системы показаны на рис. 2.4.

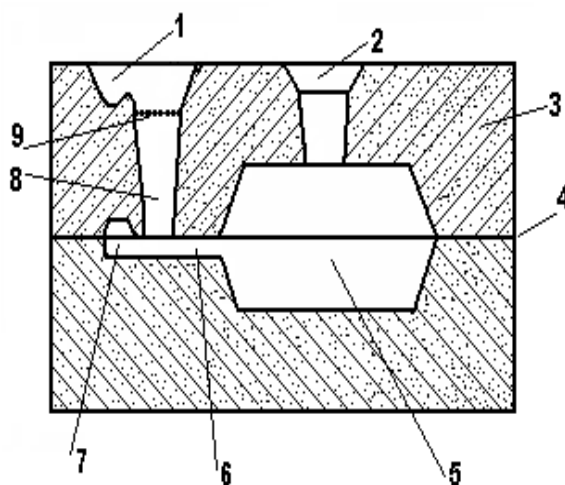


Рис. 2.4. Литниковая система: 1 – литниковая чаша; 2 – выпор; 3 – формовочная смесь; 4 – разъем формы; 5 – рабочая полость; 6 – канал-питатель; 7 – шлакоуловитель; 8 – стояк; 9 – фильтр

*Литниковая чаша* 1 (или воронка), нужна во избежание разбрызгивания металла и растекания по поверхности формы. Иногда для этого используют *керамические фильтры* 9.

*Стояк* 8 – вертикальный канал для подачи металла в плоскость разъема формы 4. *Шлакоуловитель* 7 – расширение, куда собираются шлаки (оксиды и другие неметаллические частицы).

*Канал-питатель* 6 подводит металл в *полость формы* 5. *Выпор* 2 предназначен для отвода газов. Штриховкой показана уплотнённая *формовочная смесь* 3.

**По чертежу детали** (рис. 2.5,а) строится *чертёж отливки* (рис. 2.5,б), которая отличается от детали размерами. Размеры отливки больше на величину *припусков* 1 на механическую обработку. *Формы уклонов* 2 и *скругление углов* 3 нужны для лёгкого извлечения модели из формы, без разрушения формы.

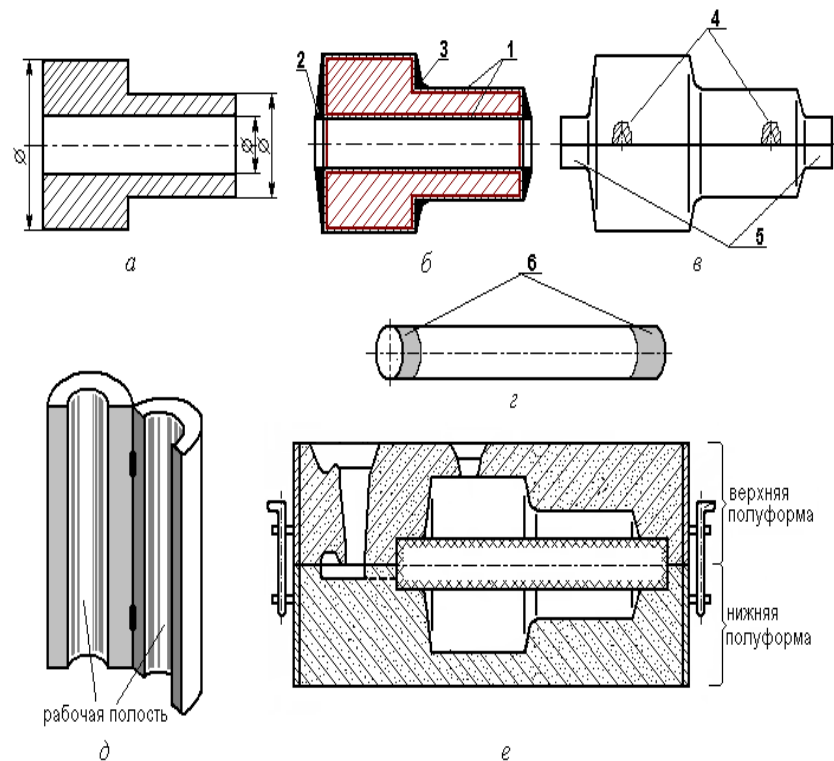


Рис. 2.5. Последовательность изготовления отливки:  
 а – чертёж детали; б – чертёж отливки; в – модель отливки;  
 г – стержень; д – стержневой ящик; е – литейная форма  
 для получения отливки

По чертежу отливки изготавливается модель (рис. 2.5,в), которая состоит из двух половинок. Разъём делается по плоскости симметрии. Половинки модели скрепляются коническими штырями 4.

Отверстия у модели нет; в местах выхода отверстия у отливки модель имеет выступы – стержневые знаки 5. В отпечатки от этих выступов будет укладываться стержень. Размеры модели превышают размеры отливки на величину усадки.

Заформовав половинки модели в две опоки, получают верхнюю и нижнюю полуформы. Затем половинки модели извлекаются, в формовочной смеси от них остаются отпечатки.

Отдельно в стержневом ящике (рис. 2.5,д) изготавливается стержень (рис. 2.5,г), имеющий очертания отверстия в отливке. Стержень длиннее отверстия на величину знаковой части 6, а его поперечные размеры больше размеров отверстия на величину усадки.

На рис. 2.5,е изображена собранная форма (канал-питатель находится за плоскостью рисунка).

## 2.4. Ручная и машинная формовка

**Формовка** – это изготовление литейных форм. Ручная формовка в парных опоках по неразъёмной модели описана в [3].

Для повышения производительности и улучшения условий труда в серийном производстве отливок применяется машинная формовка. Механизируют следующие операции:

- 1) установку опок на модельную плиту;
  - 2) заполнение опок формовочной смесью;
  - 3) уплотнение смеси;
  - 4) извлечение моделей;
  - 5) сборку форм;
  - 6) транспортировку готовых форм.
- Формовочные машины уплотняют смесь различными способами. Уплотнение прессованием показано на рис. 2.6,а).

Формовочная смесь 1 из бункера насыпается на модельную плиту 3 с моделью 2 и в опоку 5, затем опока перекрывается прессовой колодкой 6, и модельная плита под действием сжатого воздуха 7 поднимается по направляющим 4 до уровня *a-a*, вдвигая модель в опоку.

При этом происходит уплотнение смеси. Опока снимается – в ней остается отпечаток модели. Это способ нижнего прессования.

Есть другие способы прессования формовочной смеси (верхнее прессование, с многоплунжерной прессовой головкой, с эластичной диафрагмой).

**Уплотнение встряхиванием** (рис. 2.6,б).

Сжатый воздух 1 поднимает поршень 3 вместе со столом 4, на котором в опоке 6 находится модель 5. Когда открывается выпускное окно 8, то под поршнем создается разрежение, и он резко опускается.

Стол ударяется о торец цилиндра 2. Смесь 7 уплотняется за счет сил инерции. Частота ударов – до 200 в минуту. Иногда используют подпрессовку для более равномерного уплотнения.

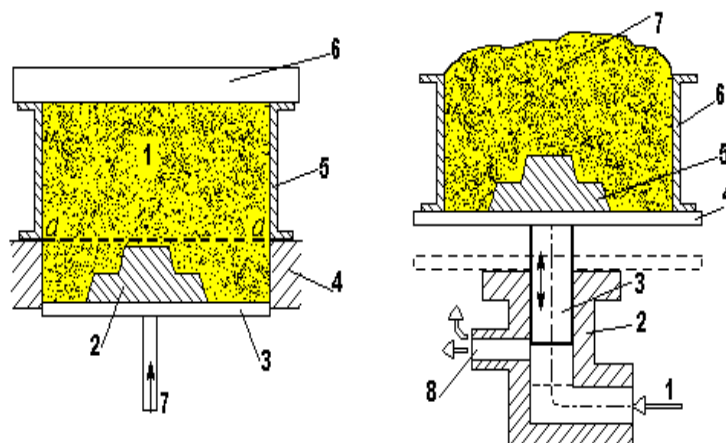


Рис. 2.6. Уплотнение формовочной смеси нижним прессованием (а) и встряхиванием (б)

**Для изготовление стержней** – стержневые ящики заполняются смесью на пескодувных или пескострельных машинах. Для уплотнения смеси используется сжатый воздух.

Пескодувная машина постепенно надувает смесь в стержневой ящик, пескострельная – выстреливает порцию смеси. Затем стержни отделяют, сушат, красят.

Стержни делают из специальных смесей: *отверждаемых в нагреваемой оснастке, жидкостекольных* и др.

## 2.5. Сборка форм, заливка, выбивка и обработка отливок

**Нижняя полуформа** помещается на заливочный стол. В нее устанавливают стержни, накрывают верхней полуформой и скрепляют опоки. Для крупных форм иногда приходится накладывать грузы на верхнюю полуформу, чтобы металл не вытек в разъем.

Перед заливкой металл перегревают выше температуры плавления: стали – на 100°C; чугуны – на 200°C, цветные сплавы – на 150°C. Это делается для повышения жидкотекучести. Металл из печи выпускают в разливочный ковш.

**Охлаждение** песчаных форм, заполненных металлом, продолжается от нескольких часов до нескольких недель (многотонные отливки). Для ускорения охлаждения формы обдувают холодным воздухом или пропускают воду по змеевикам, уложенным заранее в толще формы. Это нужно для массивных отливок, чтобы обеспечить их равномерное охлаждение.

**Выбивка отливок** – это разрушение литейной формы и извлечение готовой отливки. Выбивка осуществляется на выбивных решётках.

Стержни из отливок выбивают пневматическими вибрационными устройствами, подобными отбойному молотку, или вымывают струёй воды в гидравлических камерах.

**Обрубка отливок** – это удаление литников, прибылей, выпоров, заливов (залив – металл, затекший в разъем формы).

У цветных отливок это делается пилами, ленточными или дисковыми, у стальных – газовой или плазменной резкой, у чугунных – прибыли отбивают молотками.

**Зачистка** – операция удаления остатков литников, мелких заливов и т. п. Выполняется шлифовальными кругами, пневматическими зубилами, газопламенной обработкой.

**Очистка отливок** – удаление пригара и остатков формовочной смеси с наружных и внутренних поверхностей. Выполняется в галтовочных барабанах, дробеструйных и гидropескоструйных камерах, а также химическим и электрохимическим способами (в растворах и расплавах щелочей).

**Термическая обработка** отливок нужна для измельчения зерна, снижения твёрдости, снятия внутренних напряжений. Для этого отливки нагревают в печи и медленно охлаждают.

## 2.6. Специальные виды литья

Литьё в песчаные формы не всегда даёт нужную точность размеров и чистоту поверхности. Поэтому разработано большое количество других способов литья. Все они называются *специальными*. Рассмотрим некоторые *специальные виды литья*.

### 2.6.1. Литьё в оболочковые формы

Схема изготовления оболочковой формы показана на рис. 2.7.

Формовочная смесь 3 состоит из кварцевого песка и терморезактивной смолы. Смесь в сухом виде находится в бункере 2.

На бункер устанавливается модельная плита 1 с закрепленной на ней половинкой модели, нагретой до 250 °С (рис. 2.7,а). Бункер переворачивается на 180°, смесь покрывает поверхность модели (рис. 2.7,б).

При нагреве смола в слое, прилегающем к модели, расплавляется и связывает зёрна песка в единое целое. Образуется оболочка 4 толщиной около 20 мм.

Затем бункер возвращается в исходное положение (рис. 2.7,в), а плиту с оболочкой снимают и помещают в печь с температурой 350 °С. При этом происходит необратимое отверждение смеси.

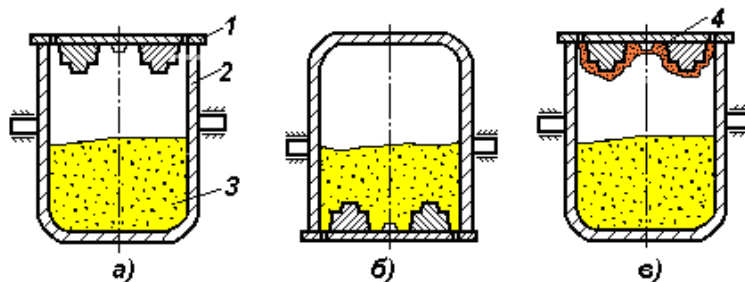


Рис. 2.7. Изготовление оболочковой формы

Так же изготавливают *вторую полуформу*, затем половинки собирают, *скрепляя трубочинами* или *склеивая*. Чтобы оболочка не разрушилась, формы помещают в контейнер и засыпают сухим песком. При заливке смола начинает выгорать, форма постепенно рассыпается, но металл уже успевает затвердеть.

### 2.6.2. Литьё по выплавляемым моделям

Схема изготовления литейной формы методом выплавляемых моделей представлена на рис. 2.8.

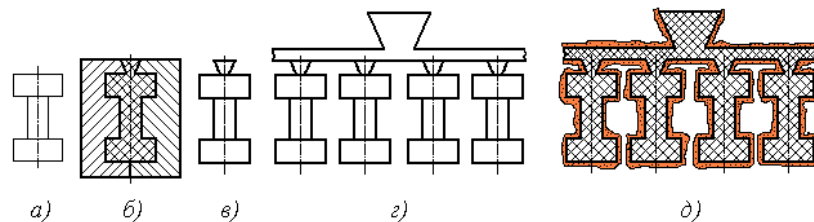


Рис. 2.8. Изготовление литейной формы методом выплавляемых моделей

**Модель отливки**, показанной на рис. 2.8,а, делают из смеси легкоплавких веществ (например, по 50 % парафина и стеарина). Смесь плавится при 80 °С, размягчается при 60 °С.

Подогретый модельный состав заливают или запрессовывают в *металлическую пресс-форму* (рис. 2.8,б).

После охлаждения модели (рис. 2.8,в) вынимают из пресс-форм и собирают в блоки с одной литниковой системой на несколько моделей, нагревая место соединения паяльником (рис. 2.8,г). Блок может включать до сотни моделей. Литники для прочности можно армировать проволокой.

**Собранный модельный блок** погружают в керамическую суспензию из кварцевого песка и гидролизованного раствора этилсиликата в этиловом спирте, затем обсыпают сухим песком и сушат. На поверхности модели образуется керамическая оболочка. Операцию повторяют 3...4 раза, пока не получится корочка толщиной примерно 8 мм (рис. 2.8,д).

**Модельный состав из оболочки** выплавляют горячим паром или водой, собирают и используют снова. Оболочку прокаливают при 850 °С, предварительно установив её в опоку и засыпав песком. Корочка становится прочной.

Затем заливают *расплавленный металл*. При извлечении отливки корочка разрушается, но для полной очистки поверхности отливки применяют щёлочи.

### 2.6.3. Литьё под давлением

**Литьё под давлением** – является разновидностью литья в *металлические формы* (кокильного), при котором заполнение формы расплавом и кристаллизация отливки происходит под давлением.

Машины для литья под давлением имеют сложную конструкцию. Их можно подразделить на три группы.

1. Машины с холодной горизонтальной камерой прессования (рис. 2.9).

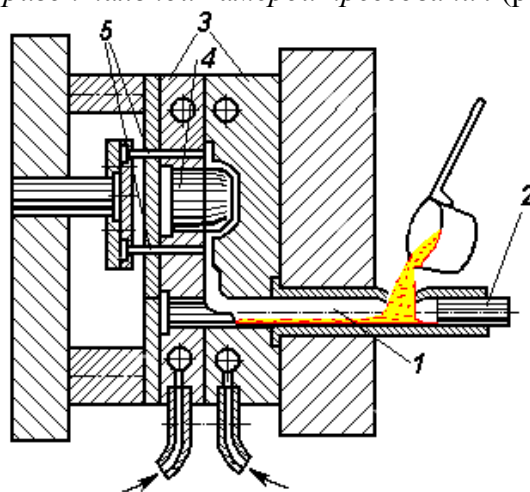


Рис. 2.9. Машина для литья под давлением с холодной горизонтальной камерой прессования

Порция металла заливается в *камеру прессования* 1, затем расплав заполняет *пресс-форму* 3 под давлением *плунжера* 2.

После затвердевания отливки форма раскрывается, и отливка выталкивается при помощи толкателей 5. Половинки формы снова соединяются, и цикл повторяется. Для образования полости в отливке применяют *металлический стержень* 4. Давление поршня на жидкий металл составляет до 200 Мпа.

2. *Машины с холодной вертикальной камерой прессования.*

3. *Машины с горячей вертикальной камерой прессования* (рис. 2.10).

*Камера прессования* 1 расположена в обогреваемом тигле и окружена расплавленным металлом, который попадает в камеру через *отверстия* 2 при ходе *плунжера* 3 вверх.

Ход плунжера вниз заставляет расплав под давлением устремляться в *пресс-форму* 4.

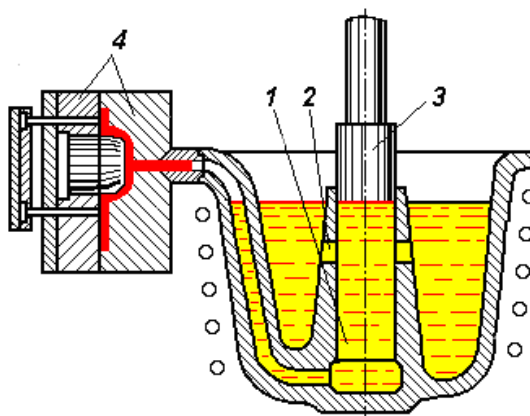


Рис. 2.10. *Машина для литья под давлением с горячей вертикальной камерой прессования*

*Литьё на машинах* с холодной камерой прессования применяют для *медных* и *алюминиевых* сплавов, с горячей – для *сплавов магния* и *цинка*.

#### 2.6.4. *Центробежное литьё*

При этом способе литья *заливка расплава* и *формирование отливки* идёт *под действием центробежных сил*. Машины для центробежного литья могут иметь *горизонтальную* и *вертикальную ось вращения*.

Металл заливают во вращающиеся формы – *изложницы* (металлические, песчаные или оболочковые). Для лёгкости извлечения отливок форме придают небольшую конусность, при усадке сплава возникает зазор, и отливка легко вынимается.

За счёт центробежных сил расплав отесняется к стенкам формы, и получается отливка с отверстием без применения стержней.

*На машинах с вертикальной осью вращения* можно получать отливки высотой до 500 мм, так как сила тяжести не позволяет металлу подняться высоко. При этом толщина стенок внизу больше, чем в верхней части отливки.

*На машинах с горизонтальной осью вращения* получают *литые трубы*, длиной до 12 м. Для *чугунных труб* – это *единственный* способ изготовления.

*Методом центробежного литья* получают отливки – *тела вращения*. Это *кольца, втулки, стаканы, трубы, подшипники скольжения* и т.д.

### РАЗДЕЛ 3. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ (ОМД)

*Обработка металлов давлением* (ОМД) – это процессы получения заготовок и деталей машин из металлов *методами пластического деформирования*.

До 90 % металлических изделий в процессе изготовления подвергаются *обработке давлением*. Уровень использования обработки давлением в машиностроении определяет уровень этой отрасли в целом.

Продукция кузнечно-прессового производства включает как самые тяжелые и сложные изделия – роторы турбогенераторов, гребные винты морских судов, корпуса реакторов АЭС, так и мелкие товары повседневного спроса: гвозди, крепеж, аэрозольные баллончики, заклепки и пуговицы.

### 3.1. Физические основы ОМД

Интерактив: лекция-беседа (0,25 час.)

Обработка металлов давлением возможна благодаря способности металлов к *пластической деформации*, то есть к изменению формы металла без разрушения.

Под действием нагрузки в металле возникают *напряжения*. **Напряжением в механике** называют отношение силы  $P$  к площади сечения  $F$ , на которое она действует:

$$\sigma = \frac{P}{F}.$$

Растущее напряжение вызывает в металле сначала *упругую деформацию*, затем *пластическую* и, наконец, *разрушение*.

**Упругая деформация** – обратимая. Атомы смещаются из положений равновесия, а после снятия нагрузки возвращаются на свои места. *Упругая деформация исчезает* после снятия нагрузки.

**Пластическая деформация** – остается после снятия нагрузки. Атомы смещаются на значительные расстояния и занимают новые устойчивые положения. Слои металла смещаются относительно друг друга и происходит «скольжение» слоев.

При достижении некоторой величины напряжения происходит разрыв межатомных связей, зарождается и растет трещина – т.е происходит *разрушение металла*.

В процессе обработки металлов давлением необходимо достичь напряжения, достаточного для начала пластической деформации, но при этом не превысить величину напряжения, при котором начинается разрушение.

Каждый металл и сплав имеет свое определенное напряжение пластического течения, которое называется *пределом текучести* и обозначается  $\sigma_T$ , или  $\sigma_{02}$ .

**Максимальное напряжение**, которое металл выдерживает, не разрушаясь, называется *пределом прочности* и обозначается  $\sigma_B$ .

Обе эти величины приводятся в справочниках. Рабочие напряжения в процессе ОМД должны быть выше предела текучести, но ниже предела прочности:  $\sigma_T < \sigma < \sigma_B$ .

#### 3.1.1. Законы пластической деформации

**1. Закон постоянства объёма:** «Объём тела до деформации равен его объёму после деформации» – используется для определения размеров заготовок (рис. 3.1).

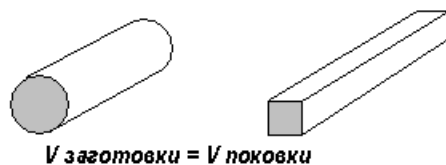


Рис. 3.1. Закон постоянства объёма

**2. Закон наименьшего сопротивления:** «Каждая точка деформируемого тела перемещается в направлении наименьшего сопротивления» – используется для определения формы изделия после обработки давлением (рис. 3.2).

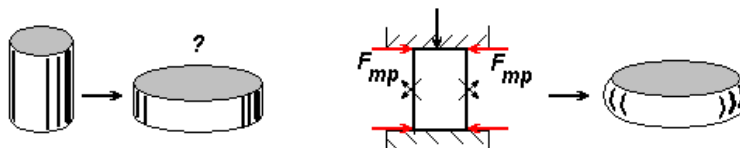


Рис. 3.2. Закон наименьшего сопротивления

Бочкообразная форма поковки объясняется действием сил трения между заготовкой и бойками молота

**3. Закон сдвигающего напряжения:** «Пластическая деформация начнется только тогда, когда сдвигающие напряжения в деформируемом теле достигнут определенной величины, зависящей от природы тела и условий деформирования» –используется при расчетах необходимого усилия, или мощности оборудования.

### 3.1.2. Холодная и горячая пластическая деформация

При нагревании сопротивление металла деформации значительно снижается, т. е. уменьшается предел текучести. Для успешной обработки давлением необходимо точно знать, до каких температур нужно нагревать металл.

Существует **определённая температура**, своя для каждого металла и сплава, называемая **температурой рекристаллизации**  $T_p$ . Она имеется в справочниках, но её можно также определить, зная температуру плавления  $T_{пл}$ , по формулам:

$$T_p = 0,4 \cdot T_{пл} - \text{для металлов,}$$

$$T_p = (0,6 \div 0,7) \cdot T_{пл} - \text{для сплавов.}$$

При этом:  $T_{пл} = t_{пл} + 273$ , где  $T$  – температура в градусах Кельвина;  $t$  – в градусах Цельсия.

**Температура рекристаллизации** является границей между областями *горячей* и *холодной деформации*.

Деформация при температурах ниже  $t_p$  называется – *холодной*, выше  $t_p$  – *горячей*.

**В результате холодной пластической деформации** искажается кристаллическая структура металла; зёрна, из которых он состоит, вытягиваются в одном направлении; *возрастает прочность* и *снижается пластичность*.

Это явление называется *наклёп*. Деформировать наклепанный металл труднее, так как нужны *большие усилия*, более мощное оборудование.

Поэтому *холодная пластическая деформация* применяется реже, только для *самых пластичных металлов* или *заготовок малого сечения* (листы, проволока).

*Волочение* и *листовая штамповка* обычно осуществляются в холодную. При этом достигается высокая точность размеров и чистота поверхности. Есть возможность влиять на свойства изделия за счёт разной степени наклепа.

**При горячей пластической деформации** *наклёп* не возникает, т. е. *металл не упрочняется*. Сопротивление металла при горячей пластической деформации примерно в 10 раз меньше, чем при холодной. Поэтому можно получить *большую величину деформации*.

Но в процессе нагрева на металле образуется *окалина* (слой оксидов), что снижает качество поверхности и точность размеров.

**Методом горячей обработки давлением** выполняются *прокатка, ковка, прессование, объёмная штамповка*.

### 3.1.3. Температурный режим ОМД

Для осуществления *горячей деформации* надо начинать и заканчивать обработку металла выше температуры рекристаллизации. В процессековки или прокатки *металл непрерывно остывает* и важно не дать ему остыть ниже  $t_p$ .

Поэтому для каждого металла и сплава определяют *температурный интервал обработки давлением* – т.е. температуру начала и окончания горячей деформации.

**Температура начала деформации** должна быть на 100...200°C ниже *температуры плавления*. При нарушении этого правила (завышении температуры) возможен брак:

- 1) *перегрев* – рост зерна в металле заготовки сверх допустимых значений;
- 2) *пережог* – окисление границ зерен. Этот вид брака неисправим.



**Температура окончания деформации** должна на 50...100°C превышать *температуру рекристаллизации*, чтобы не допустить упрочнения.

**Температурные интервалы ОМД:**

- 1) углеродистые стали – 900...1200 °С;
- 2) медь – 800...1000 °С;
- 3) бронза – 700...900 °С.

**Крупные заготовки** должны нагреваться медленно, чтобы напряжения, возникающие из-за разности температур в центре и на поверхности, не привели к появлению трещин. Например, слиток весом 40 т нагревают 24 часа.

### 3.2. Устройства для нагрева заготовок

Интерактив: лекция-беседа (0,25 час.)

**1. Старейшим нагревательным устройством** является *горн*. Металл в нем нагревается в непосредственном контакте с топливом (*коксом, древесным или каменным углем*). Сейчас горны применяют только в ремонтных мастерских.

**2. Камерная пламенная печь** имеет одинаковую температуру во всем рабочем пространстве. Источник тепла – *факел*, получаемый при сгорании *природного газа* или *мазута*.

**3. Методическая пламенная печь** состоит из нескольких зон с постепенно повышающейся температурой. Заготовки в печи продвигаются с помощью толкательных механизмов или конвейера.

Для очень крупных заготовок используют печи с выдвигным подом. Загрузку и выгрузку производят с помощью кран-балки. Для нагрева слитков весом в десятки тонн в прокатных цехах применяются печи-колодцы. Их рабочее пространство расположено под полом цеха, а крышка – на уровне пола.

**4. Электрические печи сопротивления** имеют нагреватели в виде лент или спиралей вдоль всего рабочего пространства. Температурный режим поддерживается автоматически. По конструкции они могут быть как камерными, так и методическими. Окарины в них образуются меньше, чем в пламенных печах.

**5. Электронагревательные устройства** – это установки *индукционного* или *контактного нагрева*. Они используются для нагрева больших партий одинаковых заготовок, обычно простой геометрической формы.

### 3.3. Классификация видов обработки металлов давлением

1. Получение машиностроительных профилей:

- 1) прокатка;
- 2) прессование;
- 3) волочение.

2. Получение заготовок и деталей:

- 1) ковка;
- 2) горячая объемная штамповка;
- 3) холодная листовая штамповка.

**Машиностроительный профиль** – это длинномерное изделие с определенной формой поперечного сечения. Длина профиля значительно больше поперечных размеров. Примеры профилей: *рельсы, балки, прутки, трубы, проволока*.

### 3.4. Прокатное производство

Интерактив: лекция-беседа (0,25 час.)

**Прокатка** это способ получения изделий *при пластическом деформировании нагретой заготовки* между вращающимися валками. При этом силы трения между валками и

заготовкой втягивают ее в межвалковый зазор, а нормальные силы, перпендикулярные к поверхности валков, производят работу деформации.

**Существуют три схемы прокатки** (рис. 3.3).

1. *Продольная прокатка* – заготовка движется поступательно, перпендикулярно осям валков, валки вращаются в разные стороны (рис. 3.3,а).

2. *Поперечная прокатка* – оси валков и заготовки параллельны, валки вращаются в одну сторону, а заготовка – в противоположную (рис. 3.3,б).

3. *Поперечно-винтовая прокатка* – валки вращаются в одну сторону, заготовка одновременно вращается в противоположном направлении и движется поступательно между валками (рис. 3.3,в).

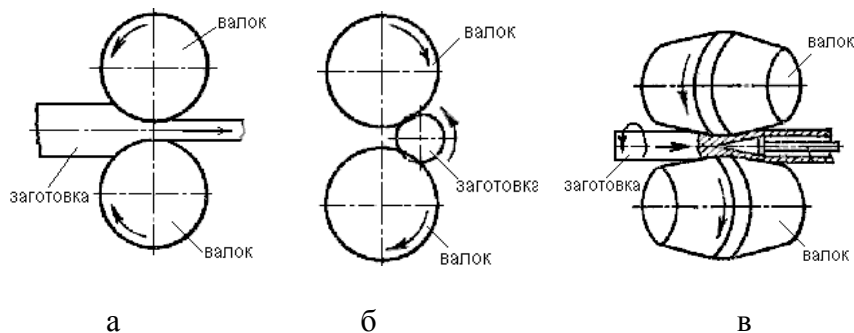


Рис. 3.3. Схемы прокатки: а – продольная; б – поперечная; в – поперечно-винтовая

**Инструмент для прокатки** – это *валки*. Рабочая часть вала называется *бочкой*, *шейки* служат для опоры на подшипники, фасонный выступ, называемый *трефой*, – служит для передачи валку вращения от привода.

*Валки* – парный инструмент: *клеть прокатного стана* состоит из двух или более валков.

**В зависимости от формы рабочей части** валки могут быть *гладкими*, *ступенчатыми* и *ручьевыми*.

*Гладкие валки* служат для прокатки листа.

У *ручьевых валков* на боковой поверхности имеются вырезы – *ручьи*.

При смыкании пары валков их ручки образуют просвет определенной формы – *калибр*. Поперечное сечение прокатываемой заготовки принимает форму калибра. Такие валки служат для получения сортового проката.

*Калибр* называется *открытым*, так как линия разъема валков проходит через калибр; в противном случае, если линия разъема валков находится вне калибра, то калибр – *закрытый*.

**В оборудование для прокатки** – входит комплект валков со *станиной*, которые образует *рабочую клеть*. Рабочая клеть с передаточным механизмом и электродвигателем – это *рабочая линия прокатного стана*.

*Передаточный механизм* состоит из *редуктора*, *шестеренной клетки*, *шпинделей* и *муфт*. *Редуктор* понижает число оборотов электродвигателя, *шестеренная клетка* передает вращение с одного вала на два шпинделя, чтобы привести в движение оба вала.

*Нажимное устройство* позволяет регулировать положение верхнего вала, т. е. величину зазора.

По количеству валков клетки прокатных станов могут быть *двухвалковые*, *трёхвалковые*, *четырёхвалковые* и *многовалковые*.

В *трёхвалковой* клетке заготовка прокатывается вначале между нижним и средним валками, а потом – в обратном направлении, между средним и верхним.

В случае *четырёх валков* в клетке два из них являются рабочими, а два других, большего диаметра, – опорными. Они нужны, чтобы уменьшить деформацию рабочих валков.

В *многовалковых клетях* рабочие валки – бесприводные, вращение им передается от приводных валков, а те, в свою очередь, опираются на большие опорные валки. Таким способом достигается минимальная деформация рабочих валков и высокая точность размеров прокатываемой заготовки.

*Универсальные клетис* двумя парами валков, расположенных одна – горизонтально, другая – вертикально, позволяют обрабатывать и боковые стороны заготовки. Это нужно для толстых листов, плит, широкополочных балок.

В самых мощных прокатных станах – *блумингах* и *слябингах* – клетки *реверсивные*: направление вращения валков в них меняется после каждого прохода.

По числу рабочих клетей станы могут быть *одно-* и *многоклетьевыми*. Наиболее современные – *многоклетьевые непрерывные* станы. На них полоса металла одновременно прокатывается в нескольких клетях.

### **3.4.1. Классификация прокатных станов**

**По назначению прокатные станы** классифицируются следующим образом.

1. *Станы полупродукта.*

1.1. *Обжимные станы:*

1) *слябинги* – производят скляб (прокат) с размерами поперечного сечения 2000×20 мм.

2) *блуминги* – производят блюм (прокат) с размерами поперечного сечения 500×500 мм.

1.2. *Заготовочные станы.*

2. *Станы готового проката.*

2.1. *Сортовые станы* – производят сортовой прокат.

2.2. *Листовые станы* – производят листовой прокат.

2.3. *Специальные станы* – производят специальный прокат.

2.4. *Трубные станы* – производят бесшовные трубы и сварные трубы.

**Исходной заготовкой** для получения всех видов проката служат *слитки*, которые на обжимных станах прокатываются на *блюмы* или *слябы*.

Затем *блюмы* поступают на *заготовочные станы*, а оттуда – на *сортовые* или *трубные станы*. Из *слябов* на листовых станах прокатывают *листы*.

*Периодический прокат* изготавливают из полупродуктов соответствующего сечения, а штучные заготовки (кольца, колеса) – из отдельных литых или штампованных заготовок.

*Шары* получают из *прутков*, изготовленных на специальных станах.

### **3.4.2. Продукция прокатного производства**

Все многообразие профилей проката называется *сортаментом*. Сортамент делится на четыре группы.

1. **Сортовой прокат** – простые и фасонные профили

2. **Листовой прокат** – это толстый лист (толщиной свыше 4 мм), тонкий лист (менее 4 мм) и фольга (менее 0,2 мм). Максимальная толщина проката может составлять 160 мм (броневые плиты).

По назначению листовой прокат делится на *автотракторную листовую сталь*, *электротехническое*, *трансформаторное железо*, *кровельную жессть* и т. д. Листы могут быть покрыты *цинком*, *оловом*, *алюминием*, *пластиком*.

3. **Трубы** – *бесшовные* (диаметр от 30 до 650 мм, толщина стенки от 2 до 160 мм) и *сварные* (диаметр от 5 до 2500 мм, толщина стенки от 0,5 до 16 мм).

4. **Специальные виды проката** – это *кольца*, *шары*, *шестерни*, *колеса*, *периодический прокат*. *Периодический прокат* используют для получения штампованных поковок и обработки деталей резанием с минимальными отходами.

## **3.5. Прессование**

**Прессование** – это процесс получения изделий путем выдавливания нагретого металла из замкнутой полости (*контейнера*) через отверстие инструмента (*матрицы*). Существуют два способа прессования: *прямой* и *обратный*.

*При прямом прессовании* (рис. 3.4,а) металл выдавливается в направлении движения пуансона. *При обратном прессовании* (рис. 3.4,б) металл движется из контейнера навстречу движению пуансона.

**Исходной заготовкой для прессования** является слиток или горячекатаный пруток. Для получения качественной поверхности после прессования заготовки *обтачивают и шлифуют*.

Нагрев ведется в индукционных установках или в печах-ваннах в расплавах солей. Цветные металлы прессуются без нагрева.

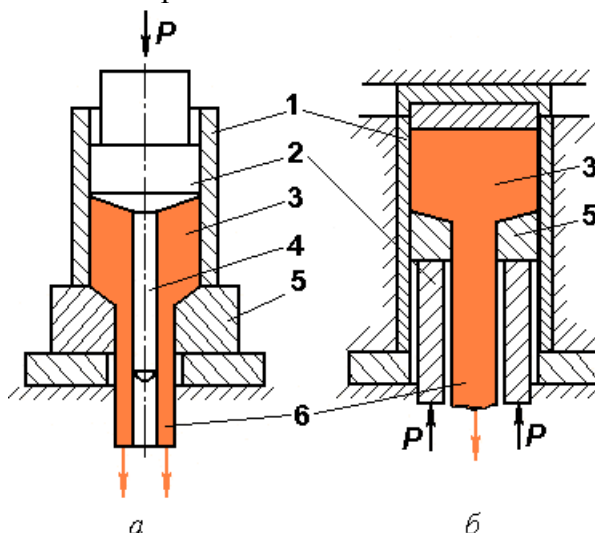


Рис. 3.4. Прессование прямое (а) и обратное (б): 1 – контейнер; 2 – пуансон; 3 – заготовка; 4 – игла; 5 – матрица; 6 – профиль

**При прессовании** реализуется схема всестороннего неравномерного сжатия, при этом нет растягивающих напряжений. Поэтому прессовать можно даже стали и сплавы с низкой пластичностью, например, *инструментальные стали* или *чугуны*.

Таким образом, прессованием можно обрабатывать материалы, которые из-за низкой пластичности другими методами деформировать невозможно.

**Инструментом для прессования** – являются: *контейнер; пуансон; матрица; игла* (для получения полых профилей).

Профиль получаемого изделия определяется *формой отверстия матрицы*, форма отверстия в профиле – *иглой*.

На инструмент воздействуют большие *контактные давления, истирание, нагрев* до 800...1200°C. Поэтому его изготавливают из *высококачественных инструментальных сталей* и *жаропрочных сплавов*.

Для уменьшения трения применяют твердые смазки: *графит, порошки никеля и меди, дисульфид молибдена*.

**Оборудование для прессования** – это гидравлические прессы, с горизонтальным или вертикальным расположением пуансона.

**Прессованием получают** следующие виды продукции: *простые профили* (круг, квадрат) – из сплавов с низкой пластичностью; профили очень сложных форм, которые нельзя получить другими видами ОМД.

### 3.6. Волочение

**Волочение** – это изготовление профилей путем протягивания заготовки через постепенно сужающееся отверстие в инструменте – *волоке*.

Исходной заготовкой для волочения является *пруток, толстая проволока или труба*. Заготовка не нагревается, т. е. волочение – это *холодная пластическая деформация*.

Конец заготовки заостряется, его пропускают сквозь *волоку*, захватывают зажимным устройством и протягивают (рис. 3.5).

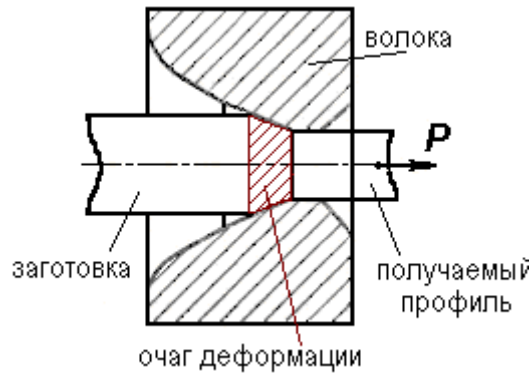


Рис. 3.5. Схема волочения

**При волочении** на заготовку действуют растягивающие напряжения. Металл должен деформироваться только в сужающемся канале волоки; за пределами инструмента деформация недопустима.

**При обжатии за один проход** – вытяжка металла составляет  $\mu = 1,1 \dots 1,5$ . Для получения нужного профиля проволока протягивается через несколько отверстий уменьшающегося диаметра.

**При осуществлении холодной деформации** металл *наклепывается* (т.е. *упрочняется*). Поэтому между протягиваниями через соседние *волоки* выполняется термическая операция – *отжиг*, после которой *наклеп* снимается и металл заготовки снова становится пластичным, способным к дальнейшей деформации.

**Инструмент для волочения** – это *волока*, или *фильера*, представляющая собой кольцо с профилированным отверстием.

Волоки изготавливают из *твердых сплавов*, *керамики* и *технических алмазов* (для очень тонкой проволоки, диаметром менее 0,2 мм).

Трение между инструментом и заготовкой уменьшают с помощью *твердых смазок*. Для получения полых профилей применяют *оправки*.

**Допуск на размер проволоки** в среднем составляет 0,02 мм.

**Оборудование для волочения** – это *волочильные станы* различных конструкций (*барabanные*, *реечные*, *цепные*, с гидравлическим приводом и др.).

**Барabanные станы** (рис. 3.6) применяют для волочения *проволоки*, *прутков* и *труб* малого диаметра, которые можно сматывать в *бунты*.

**Барabanные станы** многократного волочения могут включать до 20 *барabanов*; между ними располагаются *волоки* и *печи для отжига*. Скорость движения проволоки находится в пределах от 6 до 3000 м/мин.

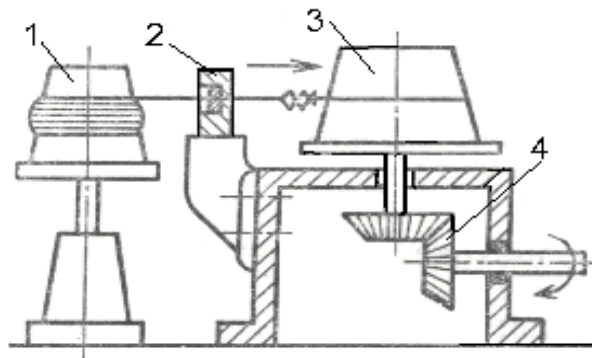


Рис. 3.6. Барабанный волочильный стан: 1 – вертушка с бунтом проволоки; 2 – волока; 3 – барабан; 4 – зубчатая передача

**Продукция, получаемая волочением:** проволока диаметром от 0,002 до 5 мм, а также прутки, фасонные профили (различные направляющие, шпонки, шлицевые валики) и трубы.

### 3.7. Ковка

**Ковкой** называют получение изделий путем последовательного деформирования нагретой заготовки ударами универсального инструмента – бойков. Получаемую заготовку или готовое изделие называют *поковкой*.

Исходной заготовкой для ковки служат *слитки* или *блумы*, *сортовой прокат простого сечения*. Заготовки нагревают в печах камерного типа.

Схема ковки (осадки) показана на рис. 3.7.

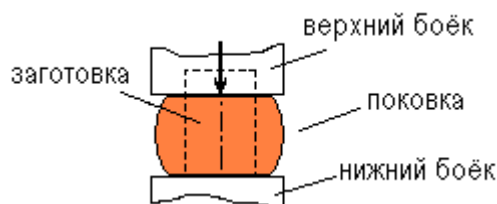


Рис. 3.7. Схема ковки (осадки)

**Деформация при ковке** идет по схеме свободного пластического течения между поверхностями инструмента.

Деформирование может выполняться последовательно на отдельных участках заготовки, поэтому её размеры могут значительно превышать площадь бойков.

Величину деформации выражает *уковка*: 
$$U = \frac{F_{\max}}{F_{\min}},$$

где  $F_{\max}$  и  $F_{\min}$  – начальная и конечная площадь поперечного сечения заготовки, причем берется отношение большей площади к меньшей, поэтому *уковка* всегда больше 1.

Чем больше значение *уковки*, тем лучше прокован металл.

**Инструмент для ковки** – является универсальным, применимым для разных по форме поковок: *бойки плоские* или *вырезные*; набор подкладного инструмента (*оправки, прожимки, прошивни* и т. д.).

**Оборудование для ковки** – это машины динамического или ударного, действия – *молоты* и машины статического действия – *гидравлические прессы*.

Молоты подразделяются на *пневматические*, с массой падающих частей до 1 т, и *паровоздушные*, с массой падающих частей до 8 т. Молоты передают заготовке энергию удара за доли секунды. Рабочим телом в молотах является сжатый воздух или пар.

*Гидравлические прессы* с усилием до 100 МН предназначены для обработки самых тяжелых заготовок. Рабочим телом в *гидравлических прессах* является *жидкость* (минеральное масло, водная эмульсия).

*Ковка применяется* в единичном и мелкосерийном производстве для получения тяжелых поковок. Из слитков весом до 300 т можно получить изделия только ковкой – это *валы гидрогенераторов, диски турбин, коленчатые валы судовых двигателей, валки прокатных станков*.

### 3.8. Горячая объемная штамповка

**Горячая объёмная штамповка** – процесс получения изделий пластическим деформированием нагретой заготовки с помощью специального инструмента – *штампа*. При этом течение металла ограничено углублениями, выполненными в половинках штампа, которые, смыкаясь, образуют единую замкнутую полость – *ручей*.

Исходной заготовкой для штамповки является раскroенный прокат простого профиля. Получаемое изделие называется *штампованной поковкой*.

**Штамповка применяется** в *открытых* и *закрытых штампах*.

У *открытого штампа* по всему периметру ручья есть зазор – *облойная канавка*, куда вытесняется излишек (до 20 %) металла.

Поверхность разъема штампа плоская. При штамповке не требуется высокая точность раскроя заготовки. Объем заготовки больше объема поковки на величину *облоя*, который затем обрезается.

Узкий мостик *облойной канавки* гарантирует заполнение всей полости штампа металлом, так как он создает наибольшее сопротивление течению металла.

При штамповке в *закрытых штампах* объем заготовки равен объему поковки, так как *облойной канавки* нет.

Необходимо точно выдерживать размеры заготовки и устанавливать ее строго по центру штампа, иначе половинки штампа не сомкнутся, не будет заполнения всей полости.

Поверхность разъема штампа более сложная, с направляющей конической частью.

**Для штамповки применяется** специальный инструмент – *штамп*. Для каждой поковки разрабатывается чертеж, и изготавливается свой *штамп*.

Обязательно предусматриваются *припуски на механическую обработку* и *на усадку при охлаждении*. Для свободного извлечения поковки из штампа назначаются уклоны 3...10°.

В *штампе с одним разъемом* нельзя получить сквозное отверстие, оно только намечается. После штамповки надо в специальных *штампах* обрезать *облой* (лишний металл).

Штамп крепится к ползуну штамповочного молота или прессы с помощью выступа, называемого «*ласточкин хвост*», и *клиньев*.

**Оборудованием для штамповки.**

1. *Паровоздушные штамповочные молоты* – подобны ковочным. Молоты совершают 3...5 ударов для заполнения полости *штампа* металлом заготовки.

2. *Кривошипные штамповочные прессы* (КШП) – дороже, но имеют более высокую производительность, чем *молоты*.

3. *Горизонтально-ковочные машины* (ГКМ) применяются для штамповки изделий типа *стержень с фланцем, стакан, кольцо*. На них можно получать сквозные отверстия, так как штамп состоит из трех частей: *подвижной* и *неподвижной матрицы* и *пуансона*.

4. *Гидравлические прессы* применяют для самых тяжелых поковок массой до 3 т.

*Штамповка применяется* при крупносерийном производстве поковок.

**Холодная объемная штамповка** – это процесс *холодного выдавливания* (подобно прессованию) для получения *баллонов* и *тюбиков* из пластичных металлов, *холодной высадки* (изготовление гвоздей, болтов, заклепок) и *чеканки* (чеканят монеты, медали, значки).

### 3.9. Холодная листовая штамповка

**Холодная листовая штамповка** – это получение *плоских* и *пространственных изделий* из заготовки в виде *листа, полосы, ленты*. Исходная заготовка имеет толщину не более 10 мм.

Операции листовой штамповки делятся на *разделительные* (заготовка разрушается) и *формообразующие* (заготовка не разрушается).

Примерами *разделительных операций* являются *вырубка* и *пробивка*. Они выполняются по одной схеме, но *вырубка* формирует внешний периметр заготовки, а *пробивка* – внутренний.

Штамп состоит из пуансона и матрицы. От их острых кромок начинается развитие трещин. Трещины встречаются и часть заготовки отделяется.

Примером *формообразующей операции* является *вытяжка* – получение объемного изделия из плоской заготовки Пуансон и матрица для вытяжки имеют скругленные кромки. Прижим исключает образование складок на фланце. При вытяжке можно уменьшать толщину стенки примерно в 2 раза, но дно изделия останется такой же толщины.

**Деформация металла** при холодной листовой штамповке – приводит к его *холодной деформации* и *упрочнению*, поэтому иногда приходится делать *отжиг* металла.

Холодная листовая штамповка применима только к пластичным металлам и сплавам: *низкоуглеродистым сталям* или *сплавам алюминия, меди, титана*.

**Инструмент и оборудование** для холодной листовой штамповки – это специальный инструмент для каждой операции и размера изделия (*матрицы* и *пуансоны* соответствующей формы).

В качестве оборудования используются *кривошипные прессы* и *гидравлические прессы* (для толстых листов).

Холодная листовая штамповка – применяется для получения изделий малой массы, но большой прочности и жёсткости. Широко используется в *авиастроении, автомобиле- и тракторостроении*.

## РАЗДЕЛ 4. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

### 4.1. Процесс сварки

Интерактив: лекция-беседа (0,2 час.)

**Сварка** – это процесс получения неразъёмного соединения в результате возникновения *межатомных связей* между соединяемыми деталями.

Создание этих связей между атомами на поверхности соединяемых деталей требует затрат энергии, которую можно внести в зону сварки двумя путями: *нагревом* или *пластической деформацией*.

**Различают две группы методов сварки:** *сварку плавлением* и *сварку давлением*.

При *сварке плавлением* атомные связи между соединяемыми деталями возникают в результате *оплавления* их кромок, примыкающих друг к другу, с получением общей ванны жидкого металла. При охлаждении эта ванна затвердевает и соединяет детали в единое целое.

При *сварке давлением* детали в зоне соединения подвергают совместной пластической деформации *сжатием*. При этом поверхности очищаются от загрязняющих плёнок, микрорельеф сглаживается, и возникают *межатомные связи*.

Детали можно нагревать перед сваркой, но пластичные металлы (*алюминий, медь*) свариваются и без нагрева.

Возможны комбинированные процессы, когда металл заготовок *расплавляют* и *обжимают* зону сварки.

**Различают более 70 видов сварки:** нагревать можно *электрической дугой, газокислородным пламенем, лазером, прямым пропусканием тока* и др.

Можно по-разному защищать зону сварки от *кислорода воздуха, деформировать разными способами*.

Сварка применяется во всех областях техники. Сваривают не только *металлы*, но и *стекло, пластмассу, керамику, разнородные материалы*.

Сварку выполняют *в космосе и под водой*.

Основные области применения сварки: *строительство, трубопроводный транспорт, машиностроение* (особенно судостроение и авиастроение).

### 4.2. Электродуговая сварка

Интерактив: лекция-беседа (0,2 час.)

**Электродуговая сварка** – наиболее широко применяемый способ сварки с помощью *электрической сварочной дуги*.

**Сварочная дуга** – это мощный стабильный *электрический разряд* между электродами, находящимися в среде *ионизированных газов и паров*.



Обычно используют дугу прямого действия, которая горит между электродом и изделием (рис. 4.1). Нагрев идёт за счёт бомбардировки поверхности металла электрически заряженными частицами.

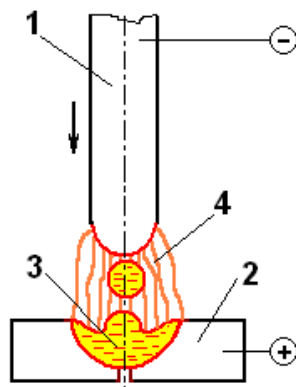


Рис. 4.1. Схема сварочной дуги постоянного тока: 1 – электрод; 2 – свариваемое изделие; 3 – ванна жидкого металла; 4 – столб дуги

Косвенная дуга горит между двумя электродами, и нагрев металла осуществляется за счёт излучения дуги.

Для электродуговой сварки чаще применяют плавящиеся металлические электроды, которые формируют сварной шов.

Неплавящиеся электроды (угольные, вольфрамовые) используют сравнительно редко, так как применение этих электродов усложняет технологию сварки – требуется присадочный материал.

На рис. 4.1 показана схема сварки на прямой полярности – электрод подключён к отрицательному полюсу источника тока.

Дуга зажигается коротким замыканием электрода на изделие (постукивание или «чирканье»).

Микровыступы на поверхности электрода и изделия нагреваются до температуры кипения, и при отводе электрода начинается термоэлектронная эмиссия, а также автоэлектронная эмиссия (отрыв электронов от атомов под действием электрического поля высокой напряжённости).

В промежутке между электродом и изделием появляются свободные электроны, которые ионизируют пары металла. Поток заряженных частиц растёт лавинообразно. Электроны и отрицательно заряженные ионы движутся к аноду, а положительные ионы – к катоду.

Поверхности изделия и электрода разогреваются, и через  $10^{-6}$  с устанавливается дуга. Температура у оси столба дуги составляет  $5700...7700$  °С. То есть дуга – это низкотемпературная плазма.

Зависимость напряжения дуги от силы тока при постоянной длине дуги  $l$  называется статической вольт-амперной характеристикой дуги. Напряжение дуги пропорционально её длине, т. е. для сохранения постоянного напряжения необходимо поддерживать постоянную длину дуги.

При питании дуги переменным током с частотой 50 Гц электрический ток в сети 50 раз в секунду меняют направление на противоположное.

Напряжение зажигания дуги на переменном токе составляет  $50...70$  В, на постоянном токе –  $40...60$  В. При нулевых значениях напряжения и тока дуга гаснет.

### 4.2.1. Ручная дуговая сварка

*Ручная дуговая сварка* (РДС) осуществляется при падающей характеристике с переходом к жёсткой, *автоматическая дуговая сварка под флюсом* (АДСФ) – при жёсткой с переходом к восходящей, *сварка в углекислом газе* – при возрастающей.

**1. Оборудованием для ручной дуговой сварки** (РДС) является: *источник питания дуги; гибкие провода (кабели); электрододержатель; электрод.*

1. *Источник питания дуги переменным током* – это сварочный трансформатор, *постоянным* – сварочные выпрямитель и генератор.

*Современные инверторные источники тока* для сварки – позволяют получать на выходе как *постоянный*, так и *переменный* ток.

*В полевых условиях* применяют *сварочные агрегаты* (генераторы с приводом от двигателя внутреннего сгорания).

2. *Провода* (кабели) имеют *большее* сечение на низкой стороне трансформатора, *меньшее* – на высокой. Длина кабелей не должна превышать 30...50 м, так как при значительной длине увеличивается потеря напряжения в проводах.

3. *Электрододержатель* – это рукоятка из изолирующего материала с тремя металлическими стержнями (вилкой) на одном конце, между которыми зажимается зачищенный конец электрода.

4. *Сварочный электрод* – представляет собой стержень из проволоки, покрытый слоем смеси порошков со связующим веществом. Покрытие наносится опрессовкой или окунанием, затем сушится.

Различают *тонкие* (стабилизирующие) покрытия и *толстые* (защитно-легирующие). В состав покрытия входят вещества:

- 1) стабилизаторы дуги – ионизирующие дуговой промежуток;
- 2) шлакообразующие (для защиты ванны жидкого металла и шва);
- 3) газообразующие (для газовой защиты зоны сварки);
- 4) раскисляющие (для удаления кислорода из расплава);
- 5) легирующие (для повышения прочности металла шва);
- 6) связующее (обычно жидкое стекло).

*Раскисляющие и легирующие компоненты* присутствуют только в толстых покрытиях, *ионизирующие и образующие шлак* – во всех.

В зависимости от входящих в покрытие шлакообразующих веществ они делятся на виды: *кислые; основные, рутиловые и целлюлозные*. Наиболее распространены электроды с *рутиловым* покрытием, обеспечивающим высокие механические характеристики шва.

*Длина электродов* составляет от 250 до 450 мм, со стандартными диаметрами от 2 до 6 мм. Для некоторых видов работ выпускают электроды больших или меньших диаметров.

*Материал электрода* формирует шов, поэтому химический состав электродной проволоки должен соответствовать составу свариваемого изделия.

**Марки электродной проволоки** обозначают: **Св-08** или **Св-30ХГСА**, где буквы «Св» обозначают назначение проволоки – *сварочная*, **08** или **30** – *содержание углерода* в сотых долях процента, буквы **Х, Г, С** – обозначают легирующие элементы (*хром, марганец, кремний*), буква **А** в конце марки означает, что сталь высококачественная.

Электроды для сварки *углеродистых и легированных конструкционных сталей* классифицируют по *механическим характеристикам* металла шва, которые они обеспечивают.

*Тип электрода* обозначается как **Э38...Э150**, где цифры – гарантируемый предел прочности шва в кг/мм<sup>2</sup>.

**Марка электрода** – это условное наименование, данное *разработчиком*, оно не содержит информации о характеристиках металла шва. Например, марки – **ЦМ-7, ОММ-5, АНО-8, УОНИ 13/45, МР-3, ОЗС-4, ВСЦ-4**.

*При ручной дуговой сварке* расход электродов на угар, разбрызгивание, огарки (остаток электрода в держателе) довольно велик и может составлять до 25 % массы электродов.

**2. Схема процесса сварки покрытым электродом** изображена на рис. 4.2.

**3. Режим сварки** – это параметры процесса: диаметр электрода; сила сварочного тока; напряжение дуги и длина дуги.

Диаметр электрода  $d$  выбирается в зависимости от толщины заготовок:  $d = \frac{s}{2} + 1$ , где  $s$  – толщина свариваемого металла в мм.

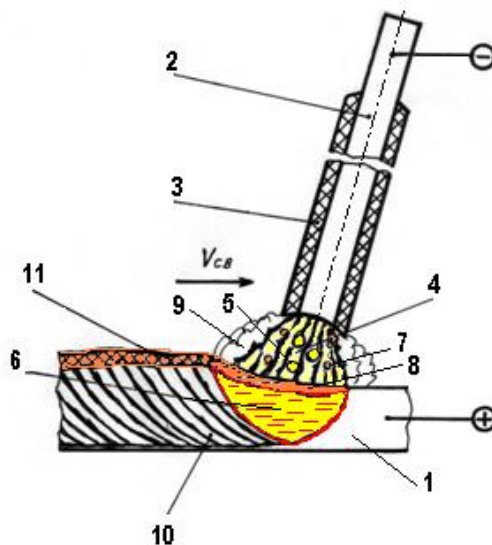


Рис. 4.2. Схема процесса сварки покрытым электродом: 1 – свариваемый металл; 2 – стержень электрода; 3 – покрытие электрода; 4 – дуга; 5 – капли расплавленного металла электрода; 6 – сварочная ванна; 7 – капли плавящегося покрытия; 8 – слой жидкого шлака, образовавшегося из веществ покрытия; 9 – газовая защитная атмосфера (тоже из покрытия); 10 – сварной шов; 11 – шлаковая корка, которая впоследствии счищается

Сила тока  $I$  указывается в паспорте на марку электрода или определяется по формуле  $I = k \cdot d$ , где коэффициент  $k$  зависит от марки стали электродной проволоки. Для углеродистых сталей  $k = 35 \dots 60$  А/мм.

Напряжение дуги для большинства марок электродов и покрытий составляет 20...28 В.

Длина дуги поддерживается сварщиком в пределах 4...6 мм. Можно считать, что длина дуги составляет примерно  $l_d = (0,5 \div 1,1) d_э$ .

**4. Виды сварных соединений.** Без разделки кромок можно сваривать заготовки толщиной до 6 мм.

При ручной дуговой сварке за один проход возможна глубина проплавления не более 8 мм. Более толстые материалы сваривают за несколько проходов, шов получается многослойным.

#### 4.2.2. Автоматическая дуговая сварка под флюсом

**Автоматическая дуговая сварка под флюсом (АДСФ)** ведётся под слоем флюса, непокрытой проволокой. Место стыка перед сваркой засыпают флюсом (толщиной 30...50 мм) и дуга горит под этим слоем. Этот процесс называют ещё *сваркой закрытой дугой*.

Схема процесса АДСФ показана на рис. 4.3. Механизм подачи 2 обеспечивает подачу сварочной проволоки 3 в дугу 10.

Проволока подключена к источнику тока через скользящий токопровод 1. Дуга закрыта слоем флюса 5.

При плавлении основного металла 8 и проволоки возникает ванна жидкого металла 9, а плавящийся флюс создаёт ванну жидкого шлака 4. Сварной шов 7 формируется при кристаллизации расплавленного металла, сверху он покрыт шлаковой коркой 6, образованной застывшим шлаком.

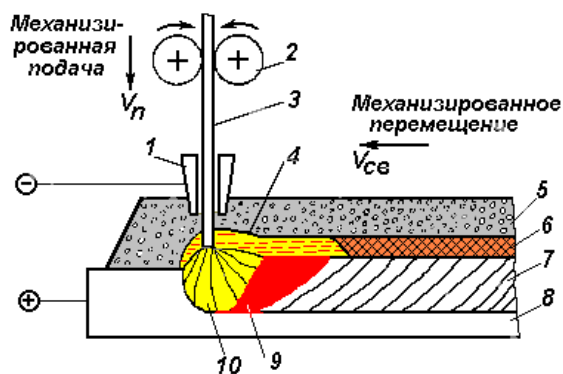


Рис. 4.3. Схема процесса автоматической дуговой сварки под флюсом: 1 – скользящий токопровод; 2 – механизм подачи; 3 – сварочная проволока; 4 – ванна жидкого шлака. 5 – слой флюса; 6 – шлаковая корка; 7 – сварной шов; 8 – основной металл; 9 – ванна жидкого металла; 10 – дуга

**Оборудование для АДСФ** – автомат для дуговой сварки. Это устройство, механизующее возбуждение и поддержание дуги, перемещение её вдоль линии шва и подачу сварочных материалов в зону плавления.

Существуют различные конструкции сварочных автоматов, но в любом из них присутствуют:

- 1) устройство для закрепления бухты проволоки;
- 2) механизм подачи проволоки;
- 3) мундштук (скользящий контакт) для подвода сварочного тока;
- 4) механизм перемещения дуги вдоль линии шва.

Применяют также *шланговые полуавтоматы*. Они механизуют только подачу проволоки в дугу. Полуавтоматы позволяют сочетать гибкость ручной дуговой сварки с глубиной провара и высокой производительностью АДСФ.

**Материалы:** сварочная проволока и флюсы – плавные или керамические (спечённые). Флюсы выполняют те же функции, что и покрытие электрода при РДС:

- 1) изолируют сварочную ванну от воздуха;
- 2) обеспечивают устойчивое горение дуги;
- 3) придают нужный состав и свойства наплавленному металлу.

АДСФ применяется в серийном и массовом производстве – при изготовлении котлов, резервуаров, корпусов судов, мостовых балок, сварных труб с прямым и спиральным швом, колёс.

#### 4.2.3. Автоматическая дуговая сварка в защитном газе

Для защиты шва применяют струю газа, подаваемого в зону сварки через горелку под давлением. Для этого годятся газы, которые тяжелее воздуха и не окисляют расплавленный металл – углекислый газ, аргон.

**Схема сварки в углекислом газе** (рис. 4.4) включает следующие элементы: 1 – кассета с проволокой; 2 – механизм подачи; 3 – проволока; 4 – токоподводящий мундштук; 5 – корпус горелки; 6 – сопло; 7 – атмосфера защитного газа; 8 – дуга; 9 – ванна жидкого металла; 10 – свариваемый металл; 11 – шов.

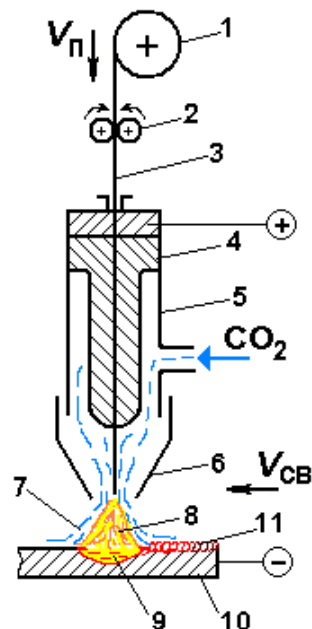


Рис. 4.4. Схема сварки в углекислом газе: 1 – катушка с проволокой; 2 – механизм подачи; 3 – проволока; 4 – токоподводящий мундштук; 5 – корпус горелки; 6 – сопло; 7 – атмосфера защитного газа; 8 – дуга; 9 – ванна жидкого металла; 10 – свариваемый металл; 11 – шов

Углекислый газ в 1,5 раза тяжелее воздуха. Он хорошо защищает место сварки, шов при этом виден. Сварка ведётся на *обратной полярности*: электрод подключён к положительному полюсу источника, изделие – к отрицательному.

Сварка в атмосфере аргона, который в 1,4 раза тяжелее воздуха, выполняется по такой же схеме, но вместо сварочной проволоки используется неплавящийся вольфрамовый электрод, а проволока в зону сварки подаётся отдельно. Полярность прямая.

### 4.3. Газовая сварка

Интерактив: лекция-беседа (0,2 час.)

**Схема газовой сварки** показана на рис. 4.5. На схеме видно, что основной материал 1 и присадочный материал 2 расплавляют высокотемпературным газовым пламенем 4.

Горючий газ (ацетилен  $C_2H_2$ , пропан  $C_3H_8$  и т. п.) сгорает в кислороде при выходе из сварочной горелки 3.

К месту сварки газы подают из баллонов по резиновым шлангам через редукторы (устройства, понижающие давление). Для формирования шва используют *присадочные прутки* из сплава нужного состава.

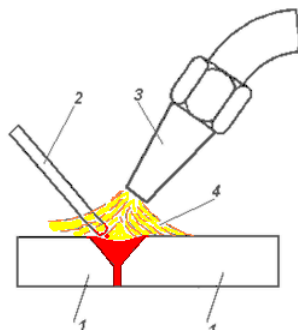


Рис. 4.5. Схема газовой сварки: 1 – основной материал; 2 – присадочный материал; 3 – сварочная горелка; 4 – газовое пламя

Другие горючие газы дают пламя с меньшей температурой. Обычно соотношение между кислородом и ацетиленом составляет

$$O_2 : C_2H_2 = 1,1.$$

Это *нормальная* пламя. Если кислорода больше, то пламя становится *окислительным* – так сваривают только *латуни*. Когда ацетилена больше, то пламя – *науглероживающее*. Оно используется при сварке *высокоуглеродистых сталей, чугунов, твёрдых сплавов*.

*Газовая сварка* широко используется при проведении ремонтных работ, для устранения дефектов отливок.

*Ацетилено-кислородное пламя* применяют также для подогрева металла в процессе газокислородной резки.

Существуют и другие способы сварки плавлением: *плазменная, лазерная, электронно-лучевая*.

#### 4.4. Электроконтактная сварка

*Рассмотренные выше способы сварки* осуществляются за счет плавления. Но только *оплавления* свариваемых кромок иногда бывает недостаточно для получения качественного соединения.

Тогда применяют *комбинированные способы* – расплавляя или нагревая до пластического состояния соединяемые участки металла с последующим их совместным обжатием.

*Электроконтактная сварка* осуществляется за счёт *нагрева* места соединения при протекании через него электрического тока и *осадки* (сдавливания) разогретых заготовок.

*Между кромками*, разогретыми до *пластического состояния* или до *оплавления*, в процессе *деформации* и *охлаждения* возникают *межатомные связи* – в результате образуется прочное соединение.

Количество теплоты, выделяемой при протекании тока по проводнику, определяется законом Джоуля-Ленца:

$$Q = k \cdot I^2 \cdot R \cdot t,$$

где  $I$  – сила тока в цепи;  $R$  – сопротивление проводника,  $t$  – время протекания тока.

Наибольшим сопротивлением обладает место контакта свариваемых деталей, поэтому там и выделяется наибольшее количество теплоты, позволяющее расплавить стальные заготовки.

По типу соединения различают *три вида электроконтактной сварки* – *стыковая, точечная* сварка, *шовная* (роликовая) сварка.

##### 4.4.1. Стыковая сварка

*Стыковая сварка* применяется для *заготовок типа стержней*. Соединение возникает по всей поверхности соприкосновения торцов заготовок.

Существуют *два варианта стыковой сварки*.

1. *Сварка сопротивлением*. Заготовки сдавливаются, затем включается ток и заготовки разогреваются в месте стыка до пластического состояния. Затем производится осадка и в месте стыка возникает утолщение.

**Недостаток метода:** соединяемые поверхности нужно тщательно зачищать (шлифовать) для лучшего контакта.

**Применение:** детали малого сечения диаметром до 20 мм.

2. *Сварка оплавлением*. Вначале включают ток, затем начинают сближать заготовки.

Первыми соприкасаются выступы соединяемых поверхностей и оплавляются за счёт большой плотности тока.

Заготовки продолжают сближаться и оплавляются уже по всей поверхности, затем включается механизм осадки.

Расплавленный металл вместе с оксидами и другими загрязнениями выдавливается из стыка, образуя неровный валик – *грат*, который потом удаляется на токарном станке.

**Применение:** сварка колёс, колец, концевых инструмента (свёрла, фрезы, метчики), штоков, рельсов, арматуры, труб.

#### 4.4.2. Точечная сварка

**Точечная сварка** – предназначена для соединения листовых заготовок, которые соединяются в отдельных точках. Листы собирают внахлестку, зажимают между медными электродами и включают ток.

В месте контакта заготовки нагреваются до расплавления. Ток выключают, а давление увеличивают. Кристаллизация сварной точки происходит под давлением.

**Применение:** для изготовления штампованных конструкций из металла толщиной 0,5...6 мм. Можно сваривать конструкционные стали, алюминий, медь и их сплавы.

#### 4.4.3. Шовная (роликовая) сварка

При шовной (роликовой) сварке собранные внахлестку листы зажимают между медными роликами-электродами и включают ток. Ролики вращаются, поэтому сварные точки перекрываются, образуя герметичный шов.

На схеме шовной (роликовой) сварки: (рис. 4.6): 1 – электроды (медные ролики); 2 – заготовки; 3 – сварная точка; 4 – трансформатор.

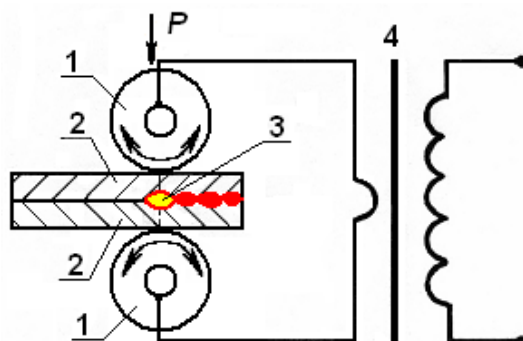


Рис. 4. 6. Схема шовной (роликовой) электроконтактной сварки

**Применение:** для изготовления различных сосудов и труб, для воды и других жидкостей и газов. Толщина листов – 0,3...3 мм. Способ высокопроизводительный – скорость сварки составляет до 10 м/мин.

#### 4.5. Сварка трением

При **сварке трением** также применяется нагрев и давление. Заготовки разогреваются при трении друг о друга, затем производится осевое сжатие и заготовки соединяются.

На схеме сварки (рис. 4. 7) показаны: 1 – неподвижная заготовка; 2 – вращающаяся заготовка; 3 – зажимное устройство; 4 – грат.

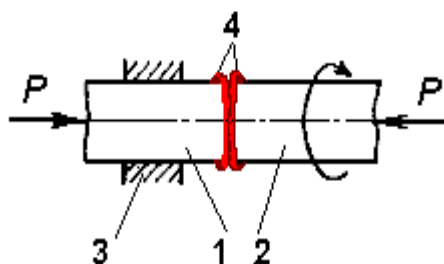


Рис. 4.7. Схема сварки трением

**Применение:** для получения заготовок свёрл, метчиков и другого режущего инструмента, для сварки валов, пуансонов, поршней со штоками, осей, труб.

#### 4.6. Холодная сварка

**Холодная сварка** – это механическая сварка, которая выполняется без нагрева металла или при пониженных температурах.

При холодной сварке свариваемые поверхности сближаются до образования межатомных связей за счёт значительной пластической деформации. При этом, жировые и оксидные плёнки удаляют заранее.

При сжатии заготовок усилием  $P$  выступы пуансонов вдавливаются в металл, до тех пор, пока пуансоны не упрутся в поверхность заготовок.

Выступы внедряются в металл на 70...80 % его толщины. В зоне сварки происходит значительная пластическая деформация металла, плёнки оксидов и загрязнения выжимаются на периферию, а между чистыми поверхностями заготовок возникают межатомные связи.

В результате сжатия заготовок образуется сварное соединение. Форма сварной точки соответствует форме выступа.

Холодной сваркой можно получать точечные, стыковые и шовные соединения.

Применение: для соединения заготовок из мягких пластичных металлов (алюминия, меди, никеля, свинца, олова, цинка) – так сваривают корпуса приборов, провода, шины, алюминиевые оболочки кабелей.

#### 4.7. Дефекты и контроль качества сварных соединений

Все возникающие при сварке дефекты можно разделить на внешние – видимые и внутренние – невидимые, поэтому особенно опасные.

К **внешним дефектам**, которые можно обнаружить при визуальном осмотре, относятся: нарушения геометрии шва; неравномерное сечение шва; несоответствие размеров шва заданным значениям; подрезы; наплывы; трещины (рис. 4.8).

При стыковой контактной сварке возможно смещение осей заготовок; при точечной и шовной – выплески металла и вмятины.

**Внутренние дефекты** можно обнаружить только специальными методами неразрушающего контроля. Это непровары, шлаковые включения, поры (рис. 4.8). Также возможно появление внутренних трещин и рост зерна сверх допустимого – при перегреве.

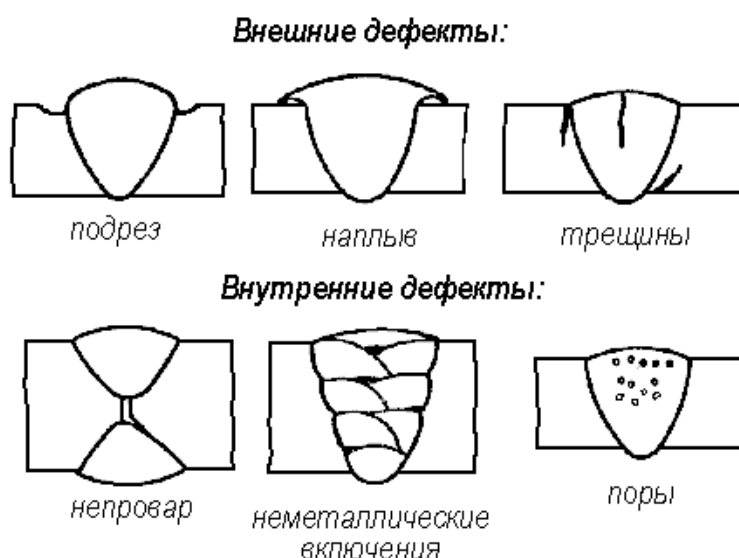


Рис. 4.8. Дефекты сварных соединений

**Методы контроля качества сварки.**

1. Внешний осмотр и измерение швов.



2. Металлографический анализ (разрушающий метод контроля) – позволяет определить *непровар* и наличие *внутренних дефектов*.

3. Химический анализ – позволяет установить, соответствует ли наплавленный *металл* сертификату электрода.

4. Механическими испытаниями определяют *твёрдость* и *прочность* сварного соединения.

5. Просвечивание рентгеновскими или гамма-лучами – неразрушающий метод контроля, все *внутренние дефекты* видны на плёнке.

6. Ультразвуковой метод – позволяет обнаружить дефект по отклонению луча на экране осциллографа.

7. Магнитные методы – фиксируют дефекты за счёт рассеяния магнитного потока.

8. Сварные швы сосудов испытывают на *плотность* с помощью керосина или сжатого воздуха.

#### 4.8. Особенности сварки жаропрочных сталей

Хорошо свариваются *низкоуглеродистые* (с содержанием углерода до 0,3 %) и *низколегированные* стали.

**Сварка жаропрочных сталей** представляет некоторые технологические трудности. Поэтому необходимо применять *подогрев заготовок* до 200...300 °С и *термообработку* – для снятия сварочных напряжений после сварки. Так как напряжения из-за разницы температур шва и основного металла могут привести к *короблению* и *трещинам*.

Для *сварки жаропрочных сталей* применяют только электроды с основным *фтористокальциевым покрытием*.

#### 4.9. Пайка

**Пайкой** называют соединение металлов и сплавов *в твёрдом состоянии* с помощью *припоя* – сплава с температурой плавления ниже, чем у соединяемых металлов.

*Припой* должен *смачивать* и *растворять* металл соединяемых деталей или образовывать с ним *химические соединения*.

*Важнейшую роль* в процессе пайки играют капиллярные явления: они обеспечивают проникновение жидкого припоя в зазор между соединяемыми деталями.

Для *растворения и удаления оксидов* с поверхности деталей, а также для улучшения *смачиваемости металла припоем* применяют *флюсы*.

*Флюсы* – это *канифоль, соляная кислота, хлористый цинк, бура, борная кислота, нашатырный спирт*.

*Припои делятся*: на *мягкие* – с низкой температурой плавления (оловянно-свинцовые марки ПОС и *твёрдые* – с высокой температурой плавления (*сплавы меди с цинком, никелем, серебром*)).

### РАЗДЕЛ 5. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

**Обработка металлов резанием** – это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, заданной точности размеров и качества поверхности детали.

На долю *обработки резанием* приходится в разных отраслях машиностроения от 80 до 95 % всех обрабатываемых деталей.

*Преимущества обработки резанием* перед другими способами:

1) *мобильность* – перенастройка оборудования на обработку новых изделий не требует значительных затрат и времени;

2) *возможность получения деталей с высокой точностью, из любых металлов и сплавов*.

Чтобы срезать с заготовки слой металла, режущему инструменту и заготовке придают относительные движения. Для этого инструмент и заготовку закрепляют в рабочих органах станков – в шпинделе, на столе, в револьверной головке.

Эти узлы станков обеспечивают необходимые перемещения инструмента и заготовки.

### 5.1. Основные понятия

Интерактив: лекция-беседа (0,6 час.)

*Движения рабочих органов* в металлорежущих станках подразделяют на *движения резания, установочные и вспомогательные*.

**1. Движения резания** – это движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя металла.

К ним относят *главное движение резания  $D_r$*  и *движение подачи  $D_s$* .

*Главное движение* – определяет скорость деформирования и отделения стружки, а *движение подачи* – обеспечивает непрерывное врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки.

Эти движения могут быть *непрерывными и прерывистыми*, по характеру – *вращательными и поступательными*.

*Скорость главного движения резания* обозначают  $V$ , *скорость движения подачи* –  $V_s$ . Главное движение при обработке резанием всегда одно, а направлений подачи может быть несколько.

*Установочные движения* – обеспечивают взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее заданного слоя материала.

*Вспомогательные движения* – это закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов станка, транспортирование заготовки и т. д.

**2. Классификация видов обработки резанием.** Виды обработки резанием подразделяются на *лезвийные и абразивные*.

*В лезвийных методах* используется инструмент с одним или несколькими режущими лезвиями, геометрия которых определяет точность размеров и качество получаемой поверхности – это *точение, сверление, строгание, фрезерование, протягивание*.

*К абразивным методам* относятся *шлифование, полирование, притирка, хонингование* и другие виды обработки, в которых *инструментом являются частицы* очень твердого вещества – *абразива*, соединенные связкой или разрозненные.

*Абразивные методы* используют для чистовой, окончательной обработки.

*Кроме обработки резанием*, поверхности заготовки могут быть сформированы различными *электрофизическими и электрохимическими методами*, а также за счёт чистовой обработки *пластическим деформированием*.

Существуют также комбинированные способы, включающие, например, *обработку резанием и электрофизические процессы*.

**3. Схемы обработки резанием.** Любой процесс резания можно изобразить схематично: *показать заготовку, её установку и закрепление на станке, закрепление и положение инструмента*, а также *движения резания*.

Обработанную поверхность *выделяют цветом или толщиной линии*. Обозначение подач:  $S_{пр}$  – *продольная подача*,  $S_{п}$  – *поперечная*,  $S_{в}$  – *вертикальная*,  $S_{кр}$  – *круговая подача* и т. д.

### 5.2. Физические явления в процессе резания

Интерактив: лекция-беседа (0,4 час.)

*Резание металлов* – сложный процесс взаимодействия режущего инструмента и заготовки; оно сопровождается рядом физических явлений.

**1. Деформирование срезаемого слоя и виды стружки.** В срезаемом слое металла возникают вначале *упругие*, а затем *пластические деформации*. В прирезцовой зоне возникают *сдвиги*, кристаллы *деформируются и разрушаются*, *измельчаются и вытягиваются*.

Срезанный слой металла дополнительно деформируется из-за трения стружки о переднюю поверхность инструмента (рис. 5.1).



Рис. 5.1. Процесс образования стружки

Сдвиговые деформации приводят к скалыванию элементарного объема металла, затем процесс повторяется и образуется следующий элемент стружки. До 90 % работы резания расходуется на пластическое деформирование металла.

Имеются следующие виды стружки:

1) *сливная* – сплошная лента с гладкой прирезцовою стороной и слабыми зубринами с внешней стороны;

2) *суставчатая* (стружка скалывания) – с ярко выраженными зубринами;

3) *элементная* (стружка надлома) – отдельные, не связанные между собой элементы.

Работа резания *максимальна* при образовании суставчатой стружки, *минимальна* – для стружки надлома.

Удалять из зоны резания наиболее сложно *сливную стружку* – она навивается на резец и деталь, летит с большой скоростью во все стороны.

Чтобы сделать стружку мелкой, применяют резцы специальной конструкции – *со стружколомными выступами*, используют *вибрационное резание* (колебания ломают стружку).

Для этого также созданы специальные стали для деталей массового производства, обрабатываемых на станках-автоматах. Эти стали содержат неметаллические включения, поэтому при их обработке образуется *элементная стружка*.

**2. Тепловые явления в процессе резания.** В процессе резания образуется теплота, общее количество которой складывается из теплоты, выделяемой за счет:

1) трения стружки о переднюю поверхность инструмента;

2) трения задних поверхностей инструмента о заготовку;

3) деформации металла.

Из зоны резания тепло отводится *стружкой* (25...85 %), поглощается *заготовкой* (10...50 %), *инструментом* (2...8 %), часть тепла – излучается в *окружающую среду* (рис. 5.4).

Уравнение теплового баланса процесса резания:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_{\text{стр}} + Q_{\text{инстр}} + Q_{\text{заг}} + Q_{\text{изл}}$$

Теплообразование *вредно*, так как инструмент теряет режущие свойства, изменяется его геометрия, из-за чего возникают отклонения размеров и формы обработанной поверхности от заданных. *Нагрев заготовки* также приводит к изменению ее размеров и формы.

Для уменьшения вредного влияния теплоты на качество обработки применяют *смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ)* – это *водные растворы солей, эмульсии, минеральные масла, сульфозфрезолы* (масла с добавками фосфора, серы, хлора), *керосин* и др.

Жидкости снижают *трение стружки об инструмент и инструмента о заготовку*, уменьшают количество выделяемой теплоты и отводят ее во внешнюю среду.

Смазывающее действие жидкостей *препятствует налипанию металла на инструмент* – в результате качество обработки повышается.

При черновой обработке необходимо сильное охлаждение, поэтому применяют эмульсии. При чистовой обработке, когда требуется получить высокое качество обработанной поверхности, – используют различные масла.

Жидкость подают под напором через узкое сопло на переднюю поверхность инструмента, иногда распыляют в виде тумана.

**3. Трение, износ и стойкость инструмента.** Износ инструмента вызван трением между стружкой и передней поверхностью лезвия, а также между главной задней поверхностью инструмента и заготовкой. Характер износа – абразивный, т. е. инструмент истирается по передней и задней поверхностям.

На передней поверхности резца возникает лунка шириной  $b$ , а на главной задней поверхности – ленточка шириной  $h$ .

Главное значение имеет износ по задней поверхности, так как из-за этого уменьшается глубина резания (вылет резца из резцедержателя). Обработанная поверхность получается конусообразной.

Принятый критерий износа – это наибольшее допустимое значение ширины ленточки  $h$ :

- 1) для быстрорежущей стали  $h = 1,5 \dots 2$  мм;
- 2) для твердосплавных пластин  $h = 0,8 \dots 1$  мм;
- 3) для минералокерамики  $h = 0,5 \dots 0,8$  мм.

Допустимому износу соответствует определённая стойкость инструмента.

Стойкостью инструмента  $T$  – это суммарное время его работы между переточками на определённом режиме резания.

Стойкость измеряется в минутах. Обычная стойкость токарных резцов составляет 30...90 мин, фрез – десятки часов.

Сильнее всего на стойкость влияет скорость резания:

$$V \cdot T^m = \text{const}, \text{ или } V = c/T^m,$$

где  $c$  – постоянная величина;  $m$  – показатель относительной стойкости (для резцов  $m = 0,1 \dots 0,3$ ).

Поскольку показатель  $m$  мал, то стойкость резко падает даже при незначительном увеличении скорости резания.

Поэтому обработку следует вести на расчетной скорости или ближайшей к ней меньшей.

### 5.3. Обработка заготовок на сверлильных станках

Интерактив: лекция-беседа (0,4 час.)

Сверление – это получение отверстий в сплошном материале, а также обработка отверстий для увеличения их размеров, повышения точности и уменьшения шероховатости.

Главным движением резания является вращательное движение инструмента вокруг оси, вертикальная подача – поступательное движение инструмента вдоль оси. Заготовка закреплена неподвижно.

Инструментом является спиральное сверло (рис. 5.2), но имеется множество свёрл других конструкций.

Хвостовик служит для закрепления сверла на станке, лапка – предохраняет хвостовик при выбивании сверла из шпинделя станка. Рабочая часть состоит из режущей и направляющей частей с винтовыми канавками.

На рабочей части сверла имеются две главные режущие кромки, поперечная режущая кромка, сминающая материал заготовки перед врезанием главных, и две вспомогательные режущие кромки. Вдоль винтовых канавок расположены две узкие ленточки, обеспечивающие направление сверла при резании.

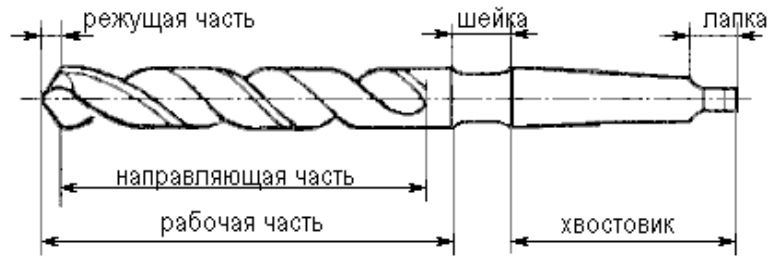


Рис. 5.2. Спиральное сверло

Условия работы инструмента при сверлении более сложные, чем при точении, фрезеровании, строгании, так как затруднён отвод стружки и подвод охлаждающей жидкости в зону резания.

Стружка истирает поверхность канавок сверла, а сверло трется о поверхность отверстия.

Скорость резания при сверлении определяется по формуле:

$$V = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3}, \text{ м/мин,}$$

где  $D$  – наружный диаметр сверла, мм.

Подача  $S_v$ , мм – это осевое перемещение сверла за один оборот.

Глубина резания  $t = D_{\text{сверла}}/2$ , при рассверливании  $t = (D - d)/2$ , где  $d$  – диаметр отверстия до обработки.

Для обработки заготовок на сверлильных станках применяют также зенкеры, развертки, метчики.

Зенкеры используют для обработки отверстий с целью уменьшения шероховатости и повышения точности. В отличие от сверл, зенкеры снабжены тремя или четырьмя главными режущими кромками и не имеют поперечной режущей кромки.

Развертки – многолезвийный инструмент для окончательной обработки отверстий. Развертки имеют 6...12 главных режущих кромок и снимают припуск с глубиной резания в сотые доли мм.

Метчиком нарезают резьбу в отверстиях.

#### 5.4. Обработка заготовок на шлифовальных станках

**Шлифование** – это обработка заготовок резанием при помощи шлифовального круга, инструмента, имеющего форму тела вращения и состоящего из абразивных зёрен и связки.

При вращении круга зёрна своими острыми кромками снимают тонкие стружки размером с пылинку. Таких стружек снимается до 100 млн ( $10^8$  штук) в минуту, поэтому производительность шлифования высокая.

Скорость резания при шлифовании определяется по формуле:

$$V = \pi \cdot D_{\text{кр}} \cdot n / (10^3 \cdot 60), \text{ м/с,}$$

где  $D_{\text{кр}}$  – наружный диаметр круга в мм;  $n$  – частота вращения круга в об/мин.

При шлифовании скорость составляет 30...100 м/с, температура в зоне резания доходит до 1500 °С, поэтому стружки горят – т.е. летят искры. Обычно шлифование выполняют с подачей СОЖ.

Твердость абразивных материалов выше твердости любого металла, поэтому шлифовать можно закалённые стали, твёрдые сплавы, белые чугуны.

Точность обработки соответствует 8...9 качеству, шероховатость – до  $R_z 0,4$  мкм.

Абразивные круги обладают способностью к самозатачиванию – затупленные зёрна абразива сами выкрашиваются из-за большой силы трения, при этом обнажаются новые острые грани.

Однако поры круга постепенно забиваются отходами, и износ поверхности становится неравномерным. Это явление называют засаливанием круга.

*Режущие свойства* восстанавливаются *правкой*: алмазным инструментом снимается слой толщиной 0,01...0,03 мм, при этом также восстанавливается геометрическая форма круга.

*По конструкции круглошлифовальный станок* подобен токарному.

*Заготовка закрепляется в центрах, вращение* (движение круговой подачи  $D_{s_{кр}}$ ) заготовке передается от *поводкового патрона* через палец и закрепленный на нем *хомутик*.

Главное движение резания – *вращение шлифовального круга*, кроме того, заготовка вместе со столом совершает *возвратно-поступательное движение продольной подачи*  $D_{s_{пр}}$ .

Шлифовальный круг в конце прохода может вместе со шлифовальной бабкой совершать *движение поперечной подачи*  $D_{s_{п}}$ .

*На плоскошлифовальных станках* заготовка, закрепленная на магнитной плите, обрабатывается по плоскости боковой поверхностью шлифовального круга.

## 5.5. Отделочная обработка резанием

*Отделочная обработка* повышает точность размеров, уменьшает шероховатость поверхностей, повышает надёжность работы машин. Доля отделочных методов в обработке резанием непрерывно растёт.

*Тонкое точение и растачивание* выполняется с высокой скоростью резания, с малой глубиной резания и подачей – *чистовыми резами* с широкими режущими лезвиями, параллельными оси заготовки.

*Тонкое шлифование* шлифовальными кругами выполняют с очень малой глубиной, с подачей СОЖ, мягкими высокопористыми мелкозернистыми кругами.

*Полирование* не только уменьшает шероховатость, но и придает зеркальный блеск, что нужно для снижения трения и декоративного вида.

*Для полирования* применяют полировальные пасты – *абразивные зёрна со смазочным веществом*.

*Инструментом* являются круги из войлока, фетра, кожи, щётки, *бесконечные абразивные ленты*.

Полирование *не исправляет погрешности формы*, так как используется гибкий инструмент.

*Хонингование* даёт не только точность и малую шероховатость, но и создаёт микропрофиль поверхности – *сетку* для удержания смазки в цилиндрах ДВС.

*При хонинговании* заготовка закрепляется неподвижно, а инструмент – *хонинговальная головка* (или *хон*), которая имеет мелкозернистые абразивные бруски, совершает одновременно *вращательное* и *возвратно-поступательное* движение; при этом их скорости  $V_1$  и  $V_2$  неодинаковы (рис. 5.3).

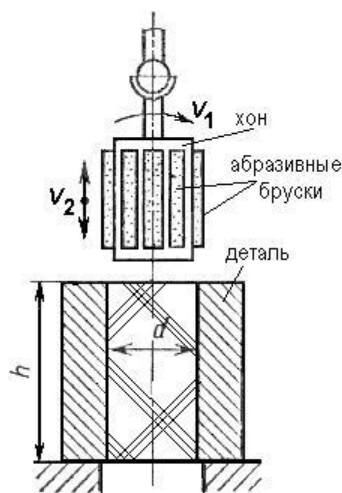


Рис. 5.3. Хонингование

*Сочетание этих движений* дает сетку микроскопических винтовых царапин – следов абразивных зерен. Наложение траекторий исключается.

*Абразивные бруски подпружинены*, поэтому контакт их с поверхностью отверстия непрерывен. Обязательно обильное охлаждение *керосином*.

*Хонингование исправляет* погрешности формы, полученные при обработке отверстия.

*Точность размеров*, которую дают отделочные методы, – соответствует 8...9 качеству, *шероховатость* (высота неровностей – до  $R_z 0,4$  мкм).

## 5.6. Чистовая обработка пластическим деформированием

**Чистовая обработка пластическим деформированием** – это обработка поверхностей без снятия стружки, в частности, пластическим деформированием, тоже позволяет получить нужную точность и малую шероховатость.

*Пластическим деформированием* обрабатывают только поверхности, сопряженные с поверхностями других деталей (*отверстия и валы*).

*Эти способы проще*, чем чистовая обработка резанием, к тому же *они безотходны*.

*Объем заготовки не меняется*. Под действием деформирующего инструмента перемещаются только элементарные объемы металла. Происходит *сглаживание микронеровностей* за счёт смятия *микровыступов* и заполнения ими *микровпадин*.

Температура при обработке не повышается, поэтому *структура металла не нарушается*.

Пластическая деформация *упрочняет поверхность металла*, *заглаживает риски и микротрещины*. При этом *возрастает надёжность изделия* в условиях эксплуатации (*выше сопротивление усталости, износу, коррозии*).

Выполнять обработку можно на обычных *металлорежущих станках*, с помощью *специального инструмента и приспособлений*. Охлаждения не требуется, но для смазки применяют *керосин, веретенное масло* и т.п.

*Обработка пластическим деформированием* годится для всех *пластичных металлов*, но лучший эффект получается на *более мягких ( $HB \leq 280$ )*.

**Разновидностью этого способа** является *накатывание резьбы, шлицевых валов и зубчатых колёс*. Профиль резьбы и др. образуется за счёт вдавливания инструмента в материал заготовки.

При этом сочетается *черновая, чистовая и отделочная обработка*.

*Пластическая деформация* – более производительный и дешёвый способ, чем обработка резанием. Качество поверхности высокое, формируется благоприятная для механических нагрузок структура.

## 5.7. Электрофизическая и электрохимическая обработка

Эти методы используют *электрическую, химическую, звуковую, лучевую энергию*. Они дополняют ОМР, но иногда могут ее заменять.

**1. Электроискровая обработка** – основана на эрозии (разрушении) электродов при пропускании между ними импульсов электрического тока.

Когда *напряжение между электродами* достигает *пробойного*, происходит *искровой разряд*, оплавляется и испаряется элементарный объём металла на *аноде* и образуется *лунка*.

Вырванные частички металла застывают в виде гранул микронной величины в *диэлектрической жидкости*.

*Расстояние между электродами* поддерживается автоматически (0,01...0,05 мм).

С помощью этого метода можно получать *отверстия и полости, вырезать заготовки сложной формы*.

*Метод применяется* для труднообрабатываемых металлов и сплавов – *инструментальных, жаропрочных*.

**2. Электрохимическая обработка** основана на явлении *анодного растворения*. Металл с поверхности анода переходит в химическое соединение и растворяется, причём в первую очередь растворяются *микровыступы*, так как плотность тока на них выше.

Такая обработка применяется для *полирования* и *доводки поверхностей*. В результате избирательного растворения *микронеровности* *сглаживаются*, и обрабатываемая поверхность приобретает *металлический блеск*.

Этим методом можно одновременно обрабатывать партию заготовок по всей их поверхности. Так готовят поверхности деталей под *гальваническое покрытие*, доводят *рабочие поверхности режущего инструмента*, получают *тонкие ленты* и *фольгу*, очищают и декоративно отделывают детали.

## РАЗДЕЛ 6. КЛАССИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 6.1. Свойства металлов и сплавов

*Свойства металлов и сплавов* определяются *химическим составом* и *структурой* и подразделяются на *физические, химические, механические* и *технологические*.

*К физическим свойствам* относятся *блеск, цвет, плотность, температура плавления, тепловое расширение, тепло- и электропроводность, способность намагничиваться*.

*Химические свойства* заключаются в *способности металлов вступать в реакции* с другими элементами и сложными соединениями (*кислородом воздуха, углекислотой, водой* и т.д.). В результате могут происходить разрушения металлов и необратимые изменения их структуры и свойств.

*Механические свойства* металлов определяют способность *сопротивляться* прилагаемым усилиям. К таким свойствам относятся *прочность, упругость, пластичность, твёрдость, хрупкость, вязкость* и *износостойкость*.

*Прочностью* называется свойство металла, не разрушаясь, *оказывать сопротивление воздействию внешних сил* при его *растяжении, изгибе, срезе* или *скручивании*.

*Упругость* – это свойство металла *принимать первоначальную форму и размеры* после прекращения действия внешних сил.

*Пластичность* – свойство металла *деформироваться без разрушения под действием внешних сил* и *сохранять принятую форму после прекращения действия сил*. Пластичность – свойство, обратное *упругости*.

*Под твёрдостью* понимают свойство металла *оказывать сопротивление вдавливанию в него другого предмета* из более твёрдого материала.

*Хрупкость* – это способность металла *разрушаться* или *разбиваться на части от ударов* без видимых предварительных деформаций.

*Вязкость* – свойство металла *не разрушаться и не давать трещин при ударе* (противоположно хрупкости).

*Износостойкостью* называется способность металла *оказывать сопротивление изнашиванию* в процессе трения.

*Технологические свойства* характеризуют способность металлов *поддаваться* различным видам механической обработки: *ковке; штамповке; прокатке; обработке режущим инструментом*.

Узлы и детали машин и механизмов работают в условиях больших нагрузок, поэтому для металлов *важнейшими* являются их *механические свойства*.

### 6.2. Способы улучшения качества стали

Интерактив: лекция-беседа (0,5 час.)

#### 6.2.1. Термическая обработка

*Термическая и химико-термическая обработка* позволяют улучшить *механические свойства* стали путем изменения ее *структуры* и *химического состава*.



**Термообработка стали** заключается в последовательном проведении нагрева металла с определенной скоростью до необходимой температуры, выдержке при этой температуре в течение некоторого времени и охлаждении с заданной скоростью.

Основными видами термообработки являются *отжиг, нормализация, закалка и отпуск.*

**Отжиг** производится для выравнивания химического состава стали, измельчения формы зерна, снятия остаточных внутренних напряжений, повышения пластичности и улучшения ее обрабатываемости.

При полном отжиге детали нагревают до температуры на 30...50 °С выше критической точки  $A_{C3}$  на диаграмме состояния железо-углерод, выдерживают некоторое время, затем охлаждают вместе с печью до 200...500 °С и заканчивают охлаждение на воздухе.

**Нормализация** производится с той же целью, что и полный отжиг. В этом случае после нагрева, сталь выдерживают некоторое время и охлаждают на воздухе, поэтому нормализация более производительна, чем отжиг.

Нормализация применяется для углеродистых и малолегированных сталей с целью уменьшения величины зерна и внутренних напряжений, улучшения структуры перед закалкой и улучшения обрабатываемости резанием.

**Закалка стали** применяется для повышения прочности, твердости, упругости и износостойкости деталей. В результате закалки снижается пластичность сталей.

Закаливаемостью стали называется способность приобретать максимально высокую твердость, которая возрастает с увеличением содержания углерода. Стали с содержанием  $C < 0,3\%$  не закаливаются.

Процесс закалки заключается в нагреве металла до температуры на 30...50 °С выше критической точки  $A_{C3}$  для доэвтектоидных сталей и на 20...30 °С выше точки  $A_{C1}$  для заэвтектоидных сталей, выдержке при этих температурах и быстром охлаждении в воде, минеральном масле, в водных растворах солей, щелочей и т.п.

**Поверхностная закалка** состоит в том, что деталь помещают в индукционную катушку (индуктор), через который проходит ток высокой частоты (ТВЧ) от машинного или лампового генератора.

Вокруг индуктора возникает переменное магнитное поле, возбуждающее по закону электромагнитной индукции вихревые токи в детали, которые за несколько секунд нагревают ее поверхностный слой до температуры закалки. Затем деталь быстро охлаждают в воде, минеральном масле и др.

Изменяя частоту тока в индукторе, можно менять глубину нагрева и соответственно толщину закаленного слоя.

**Отпуск** представляет собой заключительную операцию термообработки стали после закалки.

При отпуске закаленные детали нагревают ниже температуры критической точки  $A_{C1}$ , выдерживают при этой температуре и затем охлаждают на воздухе.

**Низкому отпуску** с нагревом до 150...250 °С подвергают инструментальные стали, детали, прошедшие поверхностную закалку и цементацию; **среднему отпуску** (350...500 °С) – пружины и рессоры, штампы и ударный инструмент; **высокому отпуску** (500...650 °С) – шатуны в сборе с болтами, крестовины карданных валов и т.д.

Отпуск выполняют для снижения внутренних напряжений, уменьшения хрупкости закаленной стали, повышения ее вязкости и пластичности, а также некоторого снижения твердости.

### 6.2.2. Химико-термическая обработка

**Химико-термическая обработка** основана на высокотемпературной диффузии, т.е. проникновении с поверхности детали внутрь ее атомов различных элементов с целью повышения износо-, жаро- и антикоррозионной стойкости при сохранении достаточно вязкой сердцевины.

Различают следующие виды химико-термической обработки деталей: цементация, азотирование, цианирование и диффузионная металлизация.

**Цементация** (газовая и твёрдая) представляет процесс *поверхностного насыщения стали углеродом* при нагреве в среде *углеродосодержащих газов* или в *твёрдом карбюризаторе*.

В результате у деталей образуется *поверхностный цементированный слой* толщиной 0,5...2,5 мм, благодаря чему они приобретают высокую *поверхностную твёрдость* и *износостойкость*, при мягкой и вязкой *сердцевине*. Твёрдость цементированного слоя заметно *снижаются при нагреве* деталей до 200...250 °С.

**Газовая цементация** осуществляется в герметичных нагревательных печах в течение 6...12 ч при температуре 930...950°С., куда непрерывно подаётся *метан*.

**Твёрдая цементация** происходит в нагревательных печах (герметичных стальных ящиках), заполненных *смесью древесного активированного угля, ускорителей процесса* и *детальями* при температуре 910...930 °С.

После *цементации* детали (шестерни коробок передач и ведущих мостов) подвергаются *закалке* и *низкому отпуску*.

**Азотированием** называется процесс *диффузионного насыщения азотом* в атмосфере аммиака *поверхностного слоя* толщиной 0,2...0,6 мм *среднеуглеродистых сталей*, содержащих *легирующие элементы*, который протекает в герметичной печи при температуре 500...700 °С.

В отличие от *цементированного слоя твёрдость азотированной поверхности* детали не *снижается* при нагреве до 600 °С.

Ввиду низкой твёрдости после азотирования, углеродистые стали подвергаются *азотированию* только с целью повышения *антикоррозийной стойкости*.

**Цианирование** представляет процесс *одновременного насыщения стали* на глубину 0,3...2,0 мм *углеродом* и *азотом*, протекающий в жидких расплавленных солях, содержащих *цианистый натрий* NaCN при температуре 820...960 °С, в течении 0,5...6,0 ч.

По сравнению с *цементированием* обработанные детали обладают *большой твёрдостью, износостойкостью* и *сопротивлением коррозии*.

Недостатком цианирования является *повышенная токсичность цианистых солей*, что обуславливает выполнение особых требований ТБ.

**Диффузионная металлизация** – это процесс *диффузионного насыщения* поверхности стали различными металлами при высокой температуре в твёрдой, жидкой или газовой среде.

**Алитирование** (насыщение алюминием) заключается в *образовании* на поверхности деталей *плотной плёнки окиси алюминия*  $Al_2O_3$  для *сопротивления окислению* в обычных условиях и при нагреве до 850...900 °С.

**Хромирование** – повышает *твёрдость* и *износостойкость высокоуглеродистых сталей*, а также увеличивает их *антикоррозионную стойкость* при нагреве до 800 °С.

### 6.3. Основные марки сталей и чугунов

Интерактив: лекция-беседа (0,25 час.)

#### 6.3.1. Основные марки сталей

При производстве и ремонте автомобилей используются многие материалы, главными из которых являются *различные металлы* и прежде всего – *стали*. В индустриально развитых странах на изготовление автомобилей расходуется около 1/3 всей произведённой стали.

Стали *классифицируют* по *способу производства, степени раскисления, качеству, назначению* и *химическому составу*.

**По способу производства** стали подразделяют на: *бессемеровскую, кислородно-конверторную, мартеновскую* и *электросталь*; **по степени раскисления** – на *кипящую (КП), полуспокойную (ПС) и спокойную* (не обозначается).

**По признаку качества** стали могут быть *обыкновенного качества, качественными* и *высококачественными*, что определяется предельным содержанием *вредных примесей (сера, фосфор и неметаллические включения)*.

**В зависимости от химического состава** стали бывают *углеродистыми* и *легированными*.

**К углеродистым** относят стали, в которых основным элементом, влияющим на их свойства, является *углерод*.

**Легированные стали** содержат добавки *цветных металлов* и *неметаллических веществ* (бор, кремний), которые изменяют свойства сталей в нужном направлении.

**По назначению** углеродистые и легированные стали подразделяют на *конструкционные*, *инструментальные* и *специальные*. При производстве и ремонте автомобилей применяют стали всех трёх групп, причём их сортамент включает **более 250 марок**.

**Углеродистые конструкционные стали** обыкновенного качества применяют для деталей, изготовленных с помощью *сварки* и работающих *при небольших нагрузках*.

**По гарантированным характеристикам качества** они подразделяются на группы: **А** – *поставляется по механическим свойствам*; **Б** – *по химическому составу*; **В** – *по механическим свойствам и химическому составу*.

Стали всех трёх групп маркируют буквами и цифрами (номер стали). Имеется *семь* номеров сталей групп **А** и **Б** (от 0 до 6) и *пять* (от 1 до 5) – для группы **В**. Чем *выше номер*, тем больше в стали *углерода* и тем выше ее *твёрдость*.

Например, **маркировка ВСтЗГпсЗ** означает, что это: сталь *группы В* (**А** – не обозначается); **Ст** – *сталь*; **З** – *условный номер марки*; **Г** – *повышенное содержание марганца*; **пс** – *полуспокойная сталь*; **З** – *по нормируемым показателям сталь третьей категории*.

Стали *обыкновенного качества* **СТ0...СТ4** применяют для изготовления *малонагруженных деталей* кузова автомобиля и *крепёжа*; **СТ5, СТ6** – *средненагруженных осей*, малоответственных болтов, гаек и т.д.

**Углеродистые конструкционные качественные стали** подразделяются на: *малоуглеродистые* марок – **05, 08, 10, 15, 20, 25**; *среднеуглеродистые* – **30, 35, 40, 45, 50, 55** и *высокоуглеродистые* – **60, 60Г, 70, 70Г, 75, 80, 85**.

Цифры в обозначении указывают *среднее содержание углерода в сотых долях процента*. Буква **Г** – на *повышенное содержание марганца*.

*Из малоуглеродистых сталей* марок **08, 10** штампуют кузовные облицовочные детали, панели крыши и двери; *малоуглеродистых сталей* марок **15...25** – рычаги, кронштейны, вал рулевого механизма, тяги, шкивы, крепёж; *среднеуглеродистых сталей* марок **30...55** – валы, зубчатые колёса, полуоси; *среднеуглеродистых сталей* марок **60...85** – крестовины карданов, диски сцепления; *среднеуглеродистых сталей* марок **60Г** и **70Г** – пружины, рессорные листы и торсионы.

*Из литейных углеродистых сталей* **15Л, 20Л, 25Л** получают отливки корпусных деталей, ступиц колёс, дисков, зубчатых колёс, маховиков и т.д.

Положительные свойства *легированным сталям* придают добавки элементов: **Х** – *хрома*; **Г** – *марганца*; **Н** – *никеля*; **С** – *кремния*; **М** – *молибдена*; **В** – *вольфрама* и др.

**Легированные стали** дороже углеродистых, но значительно превосходят их по своим свойствам.

**Маркировка легированным сталям** состоит из двух цифр и последующих букв с цифрами: первые две цифры обозначают *наличие углерода в сотых долях процента*; цифры после буквы – *процентное содержание и условное обозначение легирующего элемента*.

*Отсутствие цифры* после буквы свидетельствует, что этого элемента в стали *менее 1%*.

Например, **маркировка 18ХН2М** означает, что в стали содержится *0,18% углерода*, *менее 1% хрома (Х)*, *2% никеля (Н2)* и *до 1% молибдена (М)*.

В конце обозначения *качественных сталей* ставится буква **А**, а *особо высококачественных* – **Ш**.

**Легированные стали** применяют, для изготовления *наиболее ответственных деталей*: поршневых пальцев; толкателей; клапанов; шатунов; полуосей и т.д.

**Низколегированные стали** используют для производства грузовых платформ, рам, балок мостов и др.

*Для выпуска крепёжных изделий* (болты, гайки, шпильки) на автоматных станках применяются стали **A20, A40**, в которых буква **A** обозначает, что *сталь автоматная*, а цифры – процентное содержание углерода в сотых долях процента.

*К специальным сталям* относятся: *высоколегированные коррозионностойкие против всех видов коррозии стали* I подгруппы – **20X13, 17X18H9** и т.д.; *жаростойкие* до 500 °С II подгруппы – **40X9C2** и т.п.; *жаропрочные* до 1000 °С III подгруппы – **36X18H25C2** («нержавека») и др.

*Из специальных сталей* изготавливают детали системы питания двигателей, элементы форсунок, клапаны, пружины.

*Инструментальные стали* отличаются повышенной *твёрдостью* и *теплостойкостью*. Они содержат углерод в десятых долях процента и легирующие добавки.

Например, *сталь 4XC* содержит 0,4% углерода 1% хрома и 1% кремния.

*В углеродистых инструментальных* (буква **У**) качественных сталях (буква **A**) для изготовления *режущего инструмента* **У8A, У10, У12A** имеется соответственно 0,8%; 1,0% и 1,2% углерода.

*Особую группу инструментальных сталей* составляют *быстрорежущие стали*, которые предназначены для производства *режущего инструмента* быстроходных станков.

В обозначение марки эти стали они имеют букву **P** – режущая и число – процент содержания вольфрама.

Например, в быстрорежущей стали **P18** содержится 18% вольфрама, 4,2% хрома, 1,2% ванадия и 0,75% углерода.

### **6.3.2. Основные марки чугунов**

*По состоянию углерода* в сплаве чугуны классифицируются на следующие основные виды: *серый СЧ*; *белый* (не обозначается) и *ковкий чугун КЧ*.

*В сером чугуне* весь *несвязанный углерод* находится в свободном состоянии в виде *пластинчатого* или *шаровидного графита*, *в ковком* – в виде *хлопьев*.

*В белом чугуне* весь *углерод* связан в химическое соединение – *цементит*, вследствие чего он обладает повышенной твёрдостью.

*Маркировка серого чугуна СЧ25* (буквы **СЧ**) означает, что он имеет *предел прочности на растяжение* 2,5 МПа (цифра **25**).

*Ковкий чугун КЧ35-10* (буквы **КЧ**) означает что он имеет *предел прочности на растяжение* 3,5 МПа (цифра **35**) и *относительное удлинение* 10% (цифра **10**).

*Из серого чугуна* изготавливают блоки цилиндров двигателей ГАЗ, КАМАЗ, ЯМЗ, головки цилиндров, гильзы блоков цилиндров, картеры сцеплений и коробок передач, маховики, тормозные барабаны и т.д.

*Ковкий чугун* идёт на производство деталей повышенной прочности – картеров редукторов и коробок передач, кронштейнов рессор и т.п.

*Белый чугун* применяется для выпуска деталей повышенной усталостной прочности – коленчатых и распределительных валов, сёдел клапанов, шестерён масляного насоса и др.

### **6.4. Основные сведения о цветных металлах и сплавах**

В автомобилестроении наиболее часто применяются сплавы, основными компонентами которых являются следующие цветные металлы: *алюминий*; *медь*; *цинк*; *олово* и *свинец*.

*Алюминий* используют для защиты сплавов от коррозии путём нанесения на их поверхность тонкой плёнки (плакирование).

*Из меди* изготавливают электрические провода.

Около половины добываемых *цинка* и *олова* расходуется соответственно на покрытие чёрных металлов (цинкование) и поверхности консервной жести (лужение).

*Из свинца* изготавливают пластины, переключки и клеммы аккумуляторных батарей.

После переработки чистота цветных металлов достигает свыше 99%. Поэтому процесс их получения более трудоёмкий, энергоёмкий и дорогой, чем производство чёрных металлов.

**Алюминиевые сплавы** обладают высокой прочностью, антикоррозионной стойкостью и хорошей технологичностью при малой плотности. В их состав входят *медь, магний, кремний, цинк, марганец* и другие элементы.

**Алюминиевые литейные сплавы** на основе Al-Si (силумины) маркируются буквами **АЛ** и цифрами, стоящими за буквами, указывающими условный номер сплава.

*Из них изготавливают* поршни двигателей, головки и блоки цилиндров, картеры коробок передач, тормозные барабаны, крышки распределительных шестерён и др.

**Деформируемые алюминиевые сплавы** (дюралюмин) используют для изготовления давлением, прокаткой, прессованием и сваркой силовых деталей кузова (стойки, поперечины), тормозных цилиндров, дверных порогов, обшивки, решёток и т.д.

*Дюралюмин Д16* содержит 4,4% меди, 1,5% магния, 0,6% марганца и менее 0,5% кремния и железа.

Этот сплав можно упрочнять термообработкой – закалкой и старением для получения равновесной структуры.

**Медные сплавы** получили наибольшее распространение в виде *латуни* и *бронзы*.

**Латунями** называют сплавы *меди с цинком*. Для повышения механических свойств в их состав могут также входить *олово, свинец, кремний, марганец, никель, алюминий и железо*.

*Маркировка латуни* содержит буквы и цифры. Например, в **ЛС60-3** буква **Л** означает *латунь*, в которой имеется 60% *меди* (цифра **60**) и 3% *свинца* (**С3**), остальное *цинк*.

*Латуни* обладают высокой прочностью и пластичностью. Их можно обрабатывать давлением (прокатка, штамповка, волочение и горячее прессование).

*Из латуни Л63* изготавливают бачки и трубки радиаторов, из **Л72** – детали электрооборудования, различные втулки, пробки, штекеры, наконечники и т.п.

**Бронзы** – это сплавы *меди с оловом, алюминием, кремнием, свинцом, бериллием* и другими элементами.

Они обладают высокой прочностью, низким коэффициентом трения, коррозионной стойкостью, хорошей жидкотекучестью и обрабатываемостью резанием.

*Бронзы* могут быть *оловянными* и *безоловянными*. Сплавы на основе олова обладают *антифрикционными свойствами*, хорошо свариваются и паяются.

*Безоловянные бронзы* содержат в качестве присадок *алюминий, бериллий, никель, кремний, марганец* и др. Они отличаются высокой прочностью, упругостью и хорошей антикоррозионной устойчивостью.

Бронзу маркируют по аналогии с латунью. Например, *оловянная бронза БрОЦС5-5-5* содержит по 5% (цифры **5-5-5**) *олова, цинка и свинца* и 85% *меди*.

*Бронза применяется* для изготовления деталей топливоподающей аппаратуры, втулок шатунов двигателей, упорных шайб, шестерён полуосей и т.д.

**Антифрикционные сплавы** – это сплавы на основе *олова, свинца, меди* или *алюминия*, обладающие высокими антифрикционными свойствами.

*Эти сплавы используются* для изготовления вкладышей подшипников коленчатых валов и втулок распределительных валов.

Указанные детали изготавливают штамповкой из предварительно прокатанной ленты или полосы.

В настоящее время для *подшипников скольжения* используют биметаллические или трехслойные вкладыши, в которых рабочий слой представляет собой *свинцовую бронзу* или пластичные *алюминиевые сплавы*, содержащие *алюминий, сурьму* и *медь* или *алюминий, олово* и *медь*.

### 4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2.	Исследование литейных свойств сплавов (жидкотекучести и усадки).	2	Тренинг в малой группе (0,4 час)
2	2.	Литье в песчано-глинистые формы.	4	Тренинг в малой группе (0,4 час)
3	3.	Штамповка листовая – вытяжка.	4	Тренинг в малой группе (0,4 час)
4	3.	Ковка свободная.	4	Тренинг в малой группе (0,4 час)
5	4.	Исследование характеристик рабочих процессов ручной дуговой сварки.	4	Тренинг в малой группе (0,4 час)
6	4.	Ультразвуковой метод контроля сварных швов.	2	Тренинг в малой группе (0,4 час)
7	4.	Газовая сварка и кислородная резка металлов.	4	Тренинг в малой группе (0,4 час)
8	5.	Металлорежущий инструмент – резцы и фрезы.	4	Тренинг в малой группе (0,4 час)
9	5.	Точение и износы металлорежущего инструмента.	2	Тренинг в малой группе (0,4 час)
10	6.	Термическая обработка стали.	4	Тренинг в малой группе (0,4 час)
<b>ИТОГО</b>			<b>34</b>	<b>4</b>

### 4.4. Практические занятия

Учебным планом не предусмотрено.

### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>			$\Sigma$ <i>комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебных занятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<b>ОК-1</b>	<b>ПК-10</b>	<b>ПСК-2.7</b>				
<b>1</b>		<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>1.</b> Metallургическое производство		10	+	+	+	3	3,3	Лк, СРС	экзамен
<b>2.</b> Литейное производство		15,2	+	+	+	3	5,1	Лк, ЛР, СРС	экзамен
<b>3.</b> Обработка металлов давлением		17,2	+	+	+	3	5,7	Лк, ЛР, СРС	экзамен
<b>4.</b> Сварочное производство		17,2	+	+	+	3	5,7	Лк, ЛР, СРС	экзамен
<b>5.</b> Обработка металлов резанием		15,2	+	+	+	3	5,1	Лк, ЛР, СРС	экзамен
<b>6.</b> Классификация конструкционных материалов		15,2	+	+	+	3	5,1	Лк, ЛР, СРС	экзамен
<b><i>всего часов</i></b>		<b>90</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>3</b>	<b>30</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

2. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.	Лк, ЛР	50	1
<b>Дополнительная литература</b>				
2.	Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF">http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF</a>	ЛР	1 ЭР	1
3.	Ефанов Л.А., Попов В.Н. Технология конструкционных материалов. Лабораторный практикум / Л.А. Ефанов, В.Н. Попов. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2007. – 128 с.	ЛР	119	1
4.	Хворова И.А. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Электронный ресурс]: учебное пособие. / И.А. Хворова; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212 с. Б. ц. <a href="http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/k/KHVOROVA/Studentam/Tab/Lectures_MS_TCM.pdf">http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/k/KHVOROVA/Studentam/Tab/Lectures_MS_TCM.pdf</a>	Лк	1 ЭР	1
5.	Гини Э.Ч. Технология литейного производства. Специальные виды литья: учебник для вузов / Э.Ч. Гини, А.М. Зарубин, В.А. Рыбкин. – 3-е изд., стереотип. – М.: Академия, 2008. – 352 с.	Лк	30	1
6.	Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / Т.М. Барсукова, В.С. Гаврилюк, А.М. Дмитриев и др.; Под ред. А.М. Дальского – 6-е изд., испр. и доп.. - М.:	Лк	25	1



	Машиностроение, 2005. – 592с.			
7.	Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2017. – 105 с. [Электронный ресурс]. URL: <a href="http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Технология%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2017.PDF">http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебно-методические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Технология%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2017.PDF</a>	Лк	1 ЭР	1

## **8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ  
[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ  
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»  
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»  
<http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"  
<http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)  
<https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ  
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ**

#### **Лабораторная работа №1**

#### **Исследование литейных свойств сплавов (жидкотекучести и усадки)**

Цель занятия: Исследовать основные литейные свойства сплавов (жидкотекучести, усадки и характера зарождения усадочных раковин).

Задание:

1. Исследовать жидкотекучесть расплава в специальной металлической спиральной пробе.
2. Исследовать усадку отливок в металлических формах.
3. Исследовать влияние различных размеров прибылей на характер зарождения усадочных раковин.

Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: заготовки, отливки, свойства литейных сплавов (жидкотекучесть, линейная и объёмная усадка, трещины, газовые раковины и поры).
2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить

письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия
3. Задание.
4. Решение.
5. Схемы для исследования жидкотекучести, усадки и характера зарождения усадочных раковин.
6. Ответы на вопросы задания.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите литейные свойства сплавов.
2. Что называется жидкотекучестью, усадкой, склонностью к образованию трещин, газовых раковин и пор?
3. Какие черные металлы являются лучшими литейными сплавами.
4. В каких относительных единицах выражается усадка?
5. Объясните, чем определяется склонность металлов к образованию трещин, газовых раковин и пор?

**Лабораторная работа №2**

**Литье в песчано-глинистые формы**

Цель занятия: Ознакомление с основными принципами разработки технологического процесса получения литой заготовки – отливки.

Задание:

1. Знакомство с основными принципами разработки технологического процесса получения литой заготовки – отливки по заданному рабочему чертежу детали в разовых песчано-глинистых формах.
2. Проектирование отливки, литейной формы и литниковой системы с проведением необходимых расчетов.
3. Приобретение навыков в изготовлении разовых песчано-глинистых форм.

Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: формовочные материалы; литейная оснастка; ручная и машинная формовка; сборка форм, заливка, выбивка и обработка отливок.
2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

#### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия
3. Задание.
4. Решение.
5. Схемы рабочего чертежа и отливки втулки, литниковой системы, литейной формы в сборе.
6. Ответы на вопросы задания.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во втором разделе данной дисциплины.

##### Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

##### Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Что входит в состав формовочных материалов?
2. Назовите элементы литейной формы и оснастки.
3. Назовите основные части литниковой системы.
4. Чем отличается чертёж отливки от чертежа детали?
5. Для чего предназначена модель отливки?
6. Для чего предназначены стержни при литье в песчано-глинистые формы?

### **Лабораторная работа №3**

#### **Штамповка листовая – вытяжка**

Цель занятия: Ознакомление с одним из наиболее распространенных видов обработки конструкционных материалов листовой штамповкой – вытяжкой

#### Задание:

1. Знакомство с методом обработки конструкционных материалов листовой штамповкой – вытяжкой.
2. Знакомство с конструкцией штампов и основами разработки технологического процесса листовой штамповки.
3. Исследования рабочих характеристик процесса штамповки.

#### Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: физические основы обработка металлов давлением (ОМД); устройства для нагрева заготовок; виды обработки металлов давлением.
2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

#### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия
3. Задание.
4. Решение.
5. Схемы штампа и процесса вытяжки, многопереходной штамповки – вытяжки, размещения штампа для вытяжки на столе прессы.
6. Ответы на вопросы задания.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

##### Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

##### Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Для чего предназначена холодная листовая штамповка?
2. Приведите примеры разделительных и формообразующих операций листовой штамповки.
3. Назовите инструмент и оборудование для холодной листовой штамповки.
4. К каким пластичным металлам и сплавам применима холодная листовая штамповка?
5. Дайте характеристику основных способов обработки металлов давлением (ОМД).

### **Лабораторная работа №4** **Ковка свободная**

#### Задание:

1. Знакомство с методом обработки металлов давлением – свободной ковкой.
2. Знакомство с устройством паровоздушных и пневматических молотов, нагревательными устройствами.
3. Знакомство с основными принципами разработки технологических процессовковки с подготовкой эскиза (чертежа) поковки по заданному рабочему чертежу детали.

#### Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: свободная ковка; технологический процессковки; основные операции свободнойковки.

2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия
3. Задание.
4. Решение.
5. Рабочий чертеж детали, эскиз (чертеж) поковки, эскиз (чертеж) заготовки для поковки.
6. Ответы на вопросы задания.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в третьем разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологи конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какой процесс получения изделий называют ковкой?
2. Что служит исходными заготовками дляковки?
3. Назовите основные операцииковки.
4. Назовите инструмент и оборудование дляковки.
5. Приведите формулу для вычисления величины деформации заготовки приковке. Как называется эта величина?
6. Назовите преимущества и недостаткиковки.

**Лабораторная работа №5**

**Исследование характеристик рабочих процессов ручной дуговой сварки**

Цель занятия:

Ознакомление с основами технологии расчета режимов дуговой сварки.

Задание:

1. Знакомство с основами технологии расчета режимов дуговой сварки.
2. Исследование характеристики рабочих процессов ручной дуговой сварки.

Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: технологический процесс сварки; ручная дуговая сварка; сварка в условиях низкой температуры окружающей среды
2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия
3. Задание.
4. Решение.
5. Ответы на вопросы задания.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в четвертом разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Какой процесс называется сваркой.
2. Что называется вольт-амперной характеристикой дуги?
3. Что называется внешней вольт-амперной характеристикой источника питания?
4. Назовите оборудованием для ручной дуговой сварки.
5. Объясните устройство электрододержателя и электрода.
6. Приведите маркировку электродной проволоки и электродов.
7. Приведите виды сварных соединений и расположение шва в пространстве.

**Лабораторная работа №6**

**Ультразвуковой метод контроля сварных швов**

Цель занятия:

Овладение методикой неразрушающего контроля дефектов сварных соединений.

Задание:

1. Знакомство с устройством и принципом действия приборов ультразвукового неразрушающего контроля качества сварных швов ДУК-11М и др.
2. Изучение методики неразрушающего контроля дефектов сварных соединений

Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: ультразвук; ультразвуковой метод контроля сварных швов; основные методы ультразвукового контроля или ультразвуковой дефектоскопии.
2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия
3. Задание.
4. Решение.
5. Схема принципиальная дефектоскопа ДУК-11М.
6. Ответы на вопросы задания.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в четвертом разделе данной дисциплины.

Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

Контрольные вопросы для самопроверки

1. Назовите внешние и внутренние дефекты сварных соединений.
2. Назовите методы контроля качества сварки.
3. В чем заключается ультразвуковой метод контроля качества сварки.
4. Назовите основные методы ультразвукового контроля или ультразвуковой дефектоскопии.
5. Начертите принципиальную схему и объясните устройство эходефектоскопа ДУК-11М.

### **Лабораторная работа №7**

#### **Газовая сварка и кислородная резка металлов**

Цель занятия:

Овладение технологией газовой сварки и кислородной резки металлов.

Задание:

1. Знакомство с технологией газовой сварки и резки.
2. Изучение оборудования для газовой сварки и резки.

Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: процесс газовой сварки и резки металлов; оборудование и аппаратура, используемые при сварке; технологии газовой сварки и резки металлов.
2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия

3. Задание.
4. Решение.
5. Схемы инжекторной горелки, видов пламени, кислородного резака.
6. Ответы на вопросы задания.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в четвертом разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

#### Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Нарисуйте и объясните схему газовой сварки и кислородная резка металлов.
2. Объясните строение кислородно-ацетиленового пламени.
3. Какой горючий газ сгорает в кислороде при выходе из сварочной горелки?
4. Объясните преимущества и недостатки газовой сварки и кислородной резки металлов.

### **Лабораторная работа №8**

#### **Металлорежущий инструмент – резцы и фрезы**

#### Цель занятия:

Изучить конструкцию металлорежущего инструмента – резцов и фрез.

#### Задание:

1. Изучение основных типов токарных резцов и фрез.
2. Знакомство с геометрическим и конструктивными элементами резцов и фрез.
3. Исследование геометрии токарных резцов и фрез.

#### Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: режущий инструмент в машиностроении; назначение режущего инструмента; основные геометрические элементы металлорежущих инструментов.
2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

#### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия
3. Задание.
4. Решение.
5. Схема для определения основных геометрических элементов металлорежущих инструментов.
6. Ответы на вопросы задания.



Задания для самостоятельной работы:  
Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе  
Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в пятом разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

#### Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Дайте характеристику процесса обработки металлов резанием.
2. Назовите виды движения рабочих органов в металлорежущих станках.
3. Приведите классификацию видов обработки резанием.
4. Нарисуйте и объясните схемы обработки резанием
5. Назовите преимущества обработки резанием перед другими методами.

### **Лабораторная работа №9**

#### **Точение и износы металлорежущего инструмента**

#### Цель занятия:

Изучить методику расчета режимов резания конструкционных материалов при точении.

#### Задание:

1. Освоение методики расчета оптимальных режимов резания конструкционных материалов при точении.
2. Освоение настройки токарных станков на заданный режим обработки.
3. Исследование износов режущих инструментов при точении.

#### Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: технологический процесс точения; виды металлорежущих станков; износ режущих кромок инструмента; виды износов.
2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

#### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия
3. Задание.
4. Решение.
5. Схемы износа режущего клина резца, измерения величины износа резца на микроскопе МСБ-2, эскиз операционный токарной обработки.
6. Ответы на вопросы задания.

Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в пятом разделе данной дисциплины.

##### Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

##### Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Объясните процесс деформирования срезаемого слоя и виды стружки.
2. Дайте характеристику тепловым явлениям в процессе резания.
3. Дайте характеристику смазочно-охлаждающим жидкостям.
4. Объясните процесс трения, износа и стойкости инструмента.
5. Назовите принятый критерий износа металлорежущего инструмента.

#### **Лабораторная работа №10**

#### **Термическая обработка стали**

##### Цель занятия:

Изучить методику термической обработки стали.

##### Задание:

1. Изучение видов термической обработки стали.
2. Исследование зависимости механических свойств стали (по твердости) от ее структурного состояния.

##### Порядок выполнения:

1. На основании конспекта лекций, рекомендуемых источников, основной и дополнительной литературы изучить определения: свойства стали одного химического состава; термическая обработка; технологический процесс закалки.
2. Выбрать необходимые для решения данные, выполнить расчет задания, составить письменный отчет о результатах проделанной работы, применить полученные знания в процессе тренинга в формате малой группы.

##### Форма отчетности:

Отчет сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Номер варианта.
2. Цель занятия
3. Задание.
4. Решение.
5. Схема (диаграмма) состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C.
6. Ответы на вопросы задания.

##### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в шестом разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Колесов, С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учебник для вузов / С.Н. Колесов, И.С. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 535 с.

#### Дополнительная литература

1. Ясенков Е.П., Парфенова Л.А. Основы технологии конструкционных материалов: учеб. пособие. – Братск: Изд-во БрГУ, 2018. – 127 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://ecat.brstu.ru/catalog/Учебные%20и%20учебнометодические%20пособия/Техника/Ясенков%20Е.П.Основы%20технологии%20конструкционных%20материалов.Учеб.пособие.2018.PDF>.

#### Контрольные вопросы для самопроверки

1. Для чего проводится термическая обработка стали?
2. В чем заключается метод термообработки стали?
3. Назовите основные виды термической обработки стали?
4. Дайте характеристику основным видами термической обработки стали.
5. Назначение отпуска стали. Назовите виды отпуска.

### **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

1. Программное обеспечение: Microsoft Imagine Premium; Microsoft Windows Professional 7; Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level; Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security; Adobe Reader; КОМПАС-3D V13.

### **11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ Лк, № ЛР</i>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Лк	Лаборатория материаловедения	Персональный компьютер AMD FX-4100, интерактивная доска ActivBoard 595 Pro	Лк №№ 1-17
ЛР	Лаборатория материаловедения	Персональный компьютер AMD FX-4100, интерактивная доска ActivBoard 595 Pro	ЛР №№ 1-10
СР	Читальный зал №1	Оборудование 10 ПК i5-2500/Н67/4Gb(монитор TFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
1	2	3	4	5
ПСК-2.7  ОК-1  ПК-10	Способность разрабатывать технологическую документацию для производства, модернизации, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта средств механизации и автоматизации подъемно-транспортных, строительных и дорожных работ  Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу  Способность разрабатывать технологическую документацию для производства, модернизации, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта наземных транспортно-технологических средств и их технологического оборудования	1. Metallургическое производство	<p><b>1.1.</b> Основы металлургического производства.</p> <p><b>1.2.</b> Структура металлургического производства.</p> <p><b>1.3.</b> Получение чугуна.</p> <p><b>1.4.</b> Получение стали.</p> <p><b>1.5.</b> Мартеновская печь.</p> <p><b>1.6.</b> Кислородный конвертор.</p> <p><b>1.7.</b> Электродуговая сталеплавильная печь.</p> <p><b>1.8.</b> Электроиндукционная печь.</p> <p><b>1.9.</b> Этапы выплавки стали.</p> <p><b>1.10.</b> Повышение качества стали.</p>	Экзаменационный билет
		2. Литейное производство	<p><b>2.1.</b> Литейные свойства сплавов.</p> <p><b>2.2.</b> Формовочные материалы.</p> <p><b>2.3.</b> Литейная оснастка.</p> <p><b>2.4.</b> Ручная и машинная формовка.</p> <p><b>2.5.</b> Сборка форм, заливка, выбивка и обработка отливок.</p> <p><b>2.6.</b> Специальные виды литья.</p> <p><b>2.7.</b> Литьё в оболочковые формы.</p> <p><b>2.8.</b> Литьё по выплавляемым моделям.</p> <p><b>2.9.</b> Литьё под давлением.</p> <p><b>2.10.</b> Центробежное литьё.</p>	Экзаменационный билет
		3. Обработка металлов давлением (ОМД)	<p><b>3.1.</b> Физические основы ОМД.</p> <p><b>3.2.</b> Законы пластической деформации.</p> <p><b>3.3.</b> Холодная и горячая пластическая деформация.</p> <p><b>3.4.</b> Температурный режим ОМД.</p> <p><b>3.5.</b> Устройства для нагрева заготовок.</p>	Экзаменационный билет

			<p><b>3.6.</b> Классификация видов обработки металлов давлением.</p> <p><b>3.7.</b> Прокатное производство.</p> <p><b>3.8.</b> Классификация прокатных станов. Продукция прокатного производства.</p> <p><b>3.9.</b> Волочение. 30.</p> <p><b>3.10.</b> Горячая объемная штамповка.</p> <p><b>3.11.</b> Холодная листовая штамповка.</p>	
		<p><b>4.</b> Сварочное производство.</p>	<p><b>4.1.</b> Процесс сварки.</p> <p><b>4.2.</b> Электродуговая сварка.</p> <p><b>4.3.</b> Ручная дуговая сварка.</p> <p><b>4.4.</b> Автоматическая дуговая сварка под флюсом.</p> <p><b>4.5.</b> Автоматическая дуговая сварка в защитном газе.</p> <p><b>4.6.</b> Газовая сварка.</p> <p><b>4.7.</b> Электроконтактная сварка.</p> <p><b>4.8.</b> Стыковая сварка.</p> <p><b>4.9.</b> Точечная сварка.</p> <p><b>4.10.</b> Шовная (роликовая) сварка.</p> <p><b>4.11.</b> Сварка трением.</p> <p><b>4.12.</b> Холодная сварка.</p> <p><b>4.13.</b> Дефекты и контроль качества сварных соединений.</p> <p><b>4.14.</b> Особенности сварки жаропрочных сталей.</p> <p><b>4.15.</b> Пайка.</p>	<p>Экзаменационный билет</p>
		<p><b>5.</b> Обработка металлов резанием</p>	<p><b>5.1.</b> Обработка металлов резанием. Основные понятия.</p> <p><b>5.2.</b> Физические явления в процессе резания.</p> <p><b>5.3.</b> Обработка заготовок на сверлильных станках.</p> <p><b>5.4.</b> Обработка заготовок на шлифовальных станках.</p> <p><b>5.5.</b> Отделочная обработка резанием.</p> <p><b>5.6.</b> Чистовая обработка пластическим деформированием.</p> <p><b>5.7.</b> Электрофизическая и электрохимическая обработка.</p>	<p>Экзаменационный билет</p>
		<p><b>6.</b> Классификация конструкционных</p>	<p><b>6.1.</b> Свойства конструкционных</p>	<p>Экзаменационный билет</p>

		материалов.	металлов и сплавов. <b>6.2.</b> Способы улучшения качества стали. <b>6.3.</b> Термическая обработка. <b>6.4.</b> Химико-термическая обработка. <b>6.5.</b> Основные марки сталей. <b>6.6.</b> Основные марки чугунов. <b>6.7.</b> Основные сведения о цветных металлах и сплавах.	
--	--	-------------	---	--

## 2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела	
	Код	Определение			
1	2	3	4	5	
1.	ПСК-2.7	Способность разрабатывать технологическую документацию для производства, модернизации, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта средств механизации и автоматизации подъемно-транспортных, строительных и дорожных работ	1. Основы металлургического производства	1. Металлургическое производство	
			2. Структура металлургического производства		
			3. Получение чугуна		
			4. Получение стали		
			5. Мартеновская печь		
			6. Кислородный конвертор		
			7. Электродуговая сталеплавильная печь		
			8. Электроиндукционная печь		
			9. Этапы выплавки стали		
			10. Повышение качества стали		
	ОК-1	Способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу		1. Литейные свойства сплавов	2. Литейное производство
				2. Формовочные материалы	
				3. Литейная оснастка	
				4. Ручная и машинная формовка	
				5. Сборка форм, заливка, выбивка и обработка отливок	
				6. Специальные виды литья	
				7. Литьё в оболочковые формы	
				8. Литьё по выплавляемым моделям	
				9. Литьё под давлением	
				10. Центробежное литьё	
	ПК-10	Способность разрабатывать технологическую документацию для производства, модернизации, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта наземных транспортно-технологических средств и их технологического		1. Физические основы ОМД	3. Обработка металлов давлением (ОМД)
				2. Законы пластической деформации	
				3. Холодная и горячая пластическая деформация	
				4. Температурный режим ОМД	
				5. Устройства для нагрева заготовок	
				6. Классификация видов обработки металлов давлением	
				7. Прокатное производство	
				8. Классификация прокатных станов	
				9. Продукция прокатного производства	
				10. Волочение	

		оборудования	11. Ковка	4. Сварочное производство	
			12. Горячая объемная штамповка		
			13. Холодная листовая штамповка		
			1. Процесс сварки		
			2. Электродуговая сварка		
			3. Ручная дуговая сварка		
			4. Автоматическая дуговая сварка под флюсом		
			5. Автоматическая дуговая сварка в защитном газе		
			6. Газовая сварка		
			7. Электроконтактная сварка		
			8. Стыковая сварка		
			9. Точечная сварка		
			10. Шовная (роликовая) сварка		
			11. Сварка трением		
			12. Холодная сварка		
			13. Дефекты и контроль качества сварных соединений		
			14. Особенности сварки жаропрочных сталей		
			15. Пайка		
			1. Обработка металлов резанием. Основные понятия		5. Обработка металлов резанием
			2. Физические явления в процессе резания		
			3. Обработка заготовок на сверлильных станках		
			4. Обработка заготовок на шлифовальных станках		
			5. Отделочная обработка резанием		
			6. Чистовая обработка пластическим деформированием		
			7. Электрофизическая и электрохимическая обработка		
			1. Свойства конструкционных металлов и сплавов		6. Классификация конструкционных материалов
			2. Способы улучшения качества стали		
			3. Термическая обработка		
			4. Химико-термическая обработка		
			5. Основные марки сталей		
			6. Основные марки чугунов		
			7. Основные сведения о цветных металлах и сплавах.		

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ПСК-2.7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные характеристики и принципы выбора конструкционных материалов для изготовления деталей наземных транспортно-технологических машин;</li> </ul> <p>(ОК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методические, нормативные и руководящие материалы, касающиеся выполняемой работы;</li> <li>– основы технологии заготовительного и металлообрабатывающего производства;</li> </ul> <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методические, нормативные и руководящие материалы, касающиеся проблем создания машин различных типов, приводов, систем, технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств;</li> </ul>	<b>отлично</b>	<p>Во время ответа обучающийся демонстрирует глубокое и прочное усвоение программного материала: знает методические, нормативные и руководящие материалы, касающиеся выполняемой работы; проблемы создания машин различных типов, приводов, систем, технические характеристики, конструктивные особенности разрабатываемых и используемых технических средств; умеет выполнять работы по проектированию, техническому контролю в машиностроении; владеет методами проведения комплексного технико-экономического анализа для обоснованного принятия решений, процесса их реализации с обеспечением необходимых технических данных в машиностроительном производстве.</p>
<p><b>Уметь</b> (ПСК-2.7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– идентифицировать на основании маркировки конструкционные и эксплуатационные материалы и определять возможные области их применения;</li> </ul> <p>(ОК-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выполнять работы по проектированию, техническому контролю в машиностроении;</li> </ul> <p>(ПК-10):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пользоваться чертежами узлов оригинальных наземных транспортно-технологических машин в объёме, достаточном для изготовления их сборочных чертежей;</li> </ul>	<b>хорошо</b>	<p>Обучающийся излагает материал грамотно и по существу, но ответ содержит неточности. Требуются дополнительные вопросы, с которыми обучающийся справляется отлично.</p>
<p><b>Владеть</b> (ПСК-2.7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами проведения комплексного технико-экономического анализа для процесса реализации принятых решений с обеспечением необходимых технических данных в машиностроительном</li> </ul>	<b>удовлетворительно</b>	<p>Обучающийся ответил только на один вопрос, либо слабо ответил на оба вопроса. На дополнительные вопросы отвечает неуверенно.</p>
	<b>неудовлетворительно</b>	<p>На оба вопроса обучающийся отвечает неубедительно. На дополнительные вопросы преподавателя также не может ответить.</p>



<p>производстве;  – методами обеспечения безопасной эксплуатации машин и оборудования;  (ОК-1):  - методами проведения комплексного технико-экономического анализа для обоснованного принятия решений;  (ПК-10):  – основными методами исследования и проектирования механизмов машин;  – инженерной терминологией в области наземных транспортно-технологических машин..</p>		
---	--	--

#### 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина Технология конструкционных материалов направлена на ознакомление с наукой «Технология конструкционных материалов», на получение теоретических знаний и практических навыков при изучении ряда профессиональных дисциплин для их дальнейшего использования в практической деятельности.

Изучение дисциплины информатика предусматривает:

- лекции;
- лабораторные работы;
- самостоятельную работу обучающихся;
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 «Металлургическое производство» обучающиеся должны уяснить, что в современной технике используются следующие группы конструкционных материалов: металлы и их сплавы; полимеры (пластмассы); керамика; стекла; композиционные материалы. До 80 % объема всех выпускаемых конструкционных материалов составляют *металлы*. Они являются основными материалами для производства машин и оборудования.

В разделе 2 «Литейное производство» рассматривается задача литейного производства – получение заготовок и деталей машин путем заливки расплавленного металла в литейную форму, полость которой имеет очертания заготовки. После затвердевания металл сохраняет форму полости. Получаемые заготовки называются отливками. Отливки могут иметь: массу до 300 т; максимальную длину – 20 м; толщину стенок до 500 мм.

В ходе освоения раздела 3 «Обработка металлов давлением (ОМД)» обучающиеся должны уяснить, что ОМД – это процессы получения заготовок и деталей машин из металлов методами пластического деформирования. До 90 % металлических изделий в процессе изготовления подвергаются обработке давлением.

В разделе 4 «Сварочное производство» говорится, что сварка – это процесс получения неразъёмного соединения в результате возникновения межатомных связей между соединяемыми деталями. Создание этих связей между атомами на поверхности соединяемых деталей требует затрат энергии, которую можно внести в зону сварки двумя путями: нагревом или пластической деформацией.

В ходе освоения раздела 5 «Обработка металлов резанием» обучающиеся должны уяснить, что обработка металлов резанием – это процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, заданной точности размеров и качества поверхности детали. На

долю обработки резанием в разных отраслях машиностроения приходится от 80 до 95 % всех обрабатываемых деталей.

В разделе 6 «Классификация конструкционных материалов» говорится, что свойства металлов и сплавов определяются химическим составом и структурой и подразделяются на физические, химические, механические и технологические. Узлы и детали машин и механизмов работают в условиях больших нагрузок, поэтому для металлов важнейшими являются их механические свойства.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе обратить внимание на понятийно-категориальный аппарат дисциплины. Овладение ключевыми понятиями является важным этапом в освоении ее содержания.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить основным вопросам изучаемой дисциплины – основам металлургического и литейного производства, обработке металлов давлением и резанием, получению сварных соединений, а также основам материаловедения в автомобилестроении.

В процессе проведения практических занятий у обучающихся формируется умение и приобретаются навыки для первоначального представления о постановке инженерных и технических задач, их формализации, выборе модели изучаемого механического явления.

Самостоятельную работу необходимо начинать с проработки конспекта лекций, обобщения, систематизации, углубления и конкретизации полученных теоретических знаний с использованием основной и дополнительной литературы, а также рекомендуемых ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет».

В процессе консультации с преподавателем необходимо прояснять вопросы, термины и материал, вызвавший трудности при самостоятельной работе.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине, а также при подготовке к экзамену. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой литературы. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

## **АННОТАЦИЯ**

### **рабочей программы дисциплины**

### **Технология конструкционных материалов**

#### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является: сформировать знания у обучающихся в области материаловедения, производства, методов обработки и улучшения свойств конструкционных материалов; научить выбирать необходимые материалы, методы повышения их функциональных параметров, технологические процессы производства деталей, обеспечивающие высокое качество машин, экономию материалов, высокую производительность механизмов и машин лесного комплекса.

Задачами изучения дисциплины являются:

- ознакомление обучающихся с основными технологическими методами получения заготовок литьем, обработкой металлов давлением, сваркой, резанием;
- изучение методов формообразования заготовок и деталей;
- ознакомление обучающихся с принципиальными схемами работы технологического оборудования (станками, машинами, автоматами и т.д.);
- изучение устройства инструментов, приспособлений и оснастки их назначения и применения;
- ознакомление обучающихся с современными конструкционными материалами, их основными свойствами и областями применения.

#### **2. Структура дисциплины**

2.1 Общая трудоемкость дисциплины составляет 144 часов, 4 зачетные единицы.

2.2 Основные разделы дисциплины:

- 1 – Металлургическое производство.
- 2 – Литейное производство.
- 3 – Обработка металлов давлением.
- 4 – Сварочное производство.
- 5 – Обработка металлов резанием.
- 6 – Классификация конструкционных материалов.

#### **3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПСК-2.7 - способность разрабатывать технологическую документацию для производства, модернизации, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта средств механизации и автоматизации подъемно-транспортных, строительных и дорожных работ;

ОК-1 - способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу;

ПК-10 - способность разрабатывать технологическую документацию для производства, модернизации, эксплуатации, технического обслуживания и ремонта наземных транспортно-технологических средств и их технологического оборудования.

#### **4. Вид промежуточной аттестации: экзамен.**

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по специальности 25.05.01 Наземные транспортно-технологические средства от «11» августа 2016 г. № 1022

**для набора 2013 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «03» июля 2018 г. № 413,

**для набора 2014 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «03» июля 2018 г. № 413, для заочной формы обучения от «03» июля 2018 г. № 413,

**для набора 2015 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «03» июля 2018 г. № 413, для заочной формы обучения от «03» июля 2018 г. № 413,

**для набора 2016 года:** учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «16» сентября 2016г. № 622,

**для набора 2017 года:** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «06» марта 2017 г. № 125, учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «06» марта 2017 г. № 125,

**для набора 2018 года** и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018г. № 130, учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для заочной формы обучения от «12» марта 2018г. № 130.

**Программу составил:**

Ясенков Е.П., доцент каф. ММиИГ, доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ММиИГ

от «14» декабря 2018 г., протокол № 3

Заведующий кафедрой ММиИГ \_\_\_\_\_ Л.П. Григорьевская  
(подпись)

СОГЛАСОВАНО:

И.о. Заведующий выпускающей кафедрой СДМиО \_\_\_\_\_ К.Н. Фигура

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Т.Ф. Сотник  
(подпись)

Рабочая программа одобрена методической комиссией механического факультета  
(сокращенное наименование)

от «14» декабря 2018 г., протокол № 4.

Председатель методической комиссии факультета \_\_\_\_\_ Г.Н. Плеханов  
(подпись) (Ф.И.О.)

СОГЛАСОВАНО:

Начальник учебно-методического управления \_\_\_\_\_ Г.П. Нежевец

Регистрационный № \_\_\_\_\_