

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Брянский государственный аграрный университет»

Инженерно-технологический институт

Михальченков А.М., Козарез И.В., Тюрева А.А.

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ  
И ТЕХНОЛОГИЯ  
КОНСТРУКЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

учебное пособие для лабораторно-практической и самостоятельной работы  
студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки  
35.03.06 Агроинженерия и 23.03.02 Наземные и транспортные технологические  
комплексы

БРЯНСКАЯ ОБЛАСТЬ

2017

УДК 669.018.2:513.347:658.58

ББК 74.58:40.72

М69

Михальченков, А.М. **Материаловедение и технология конструкционных материалов:** учебное пособие / А.М. Михальченков, И.В. Козарез, А.А. Тюрева – Брянск. Издательство Брянского ГАУ, 2017. – 391 с.

В учебном пособии изложен материал для лабораторно-практической и самостоятельной работы студентов очной и заочной форм по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов».

Рецензент: директор ИТИ, профессор, д.т.н. А.И. Купреенко.

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию методическим советом инженерно-технологического факультета, протокол №12 от 31 августа 2017 года.

© Брянский ГАУ, 2017

© А.М. Михальченков, 2017

© А.А. Тюрева, 2017

© И.В. Козарез, 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие для лабораторно-практической и самостоятельной работы студентов очной и заочной форм разработано согласно программы курса «Материаловедение и технология конструкционных материалов» для студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» и 23.03.02 «Наземные и транспортные технологические комплексы».

Проведение лабораторно-практических и самостоятельной работ по курсу «Материаловедение и технология конструкционных материалов» является важным этапом в подготовке инженеров для агропромышленного комплекса и предназначено для формирования компетенции ОПК-5 - способность обоснованно выбирать материал и способы его обработки для получения свойств, обеспечивающих высокую надежность детали. В учебном пособии содержатся работы, отражающие последние научно-технические достижения в области материаловедения; по основам литейного производства, обработки металлов давлением и сварочного производства; по изучению режущего инструмента, настройке станков на определенные виды работ. Каждая лабораторная работа содержит практическое задание и контрольные вопросы.

Тематика лабораторных и практических работ максимально приближена к специфике инженерной службы: в сельскохозяйственном производстве, в ремонтном производстве и в перерабатывающих отраслях агропромышленного комплекса. Особое внимание уделено работам по сварке как наиболее распространенному методу при изготовлении и восстановлении деталей машин и аппаратов. Рассмотрены перспективные методы изготовления деталей без применения последующей обработки, современные режущие инструменты и приспособления

При написании учебного пособия использовались последние достижения не только науки, но и практики в области материаловедения и технологии конструкционных материалов. Изложенные материалы могут быть полезны как студентам, так и инженерно-техническим работникам, занятым в различных производствах агропромышленного комплекса.

# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ

*Цель работы:* научиться методике определения твердости по Бринеллю. Определить прочность при растяжении по твердости.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* прибор для измерения твердости металлов по методу Бринелля (могут быть различных марок); образцы стали, чугуна и сплавов цветных металлов; лупа для измерения диаметра отпечатка; установка для шлифовки образцов.

### 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Твердостью* называют свойство материала оказывать сопротивление проникновению в него другого более твердого тела, не получающего при этом остаточной деформации. Проба на твердость проводится чаще других механических испытаний вследствие простоты, оперативности и сохраняемости изделия.

Испытания по Бринеллю регламентированы ГОСТ 9012–59. Стальной закаленный шарик диаметром  $D$ , равным 10; 5; 2,5 мм вдавливаются в изучаемый образец с силой  $P = 29430; 9810; 7357; 2452$  Н (3000; 1000; 750; 187,5 кгс). В результате на поверхности образца остается отпечаток в форме шарового сегмента диаметром  $d$  (рисунк 1).

Число твердости по Бринеллю (НВ) определяется как отношение нагрузки, действующей на шарик  $P$  (нагрузка вдавливания), Н к площади поверхности сферического отпечатка  $F$ , мм<sup>2</sup>.

$$HB = \frac{P}{F} \quad (1)$$

Для удобства вычисления значений твердости пользуются формулой:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2)$$



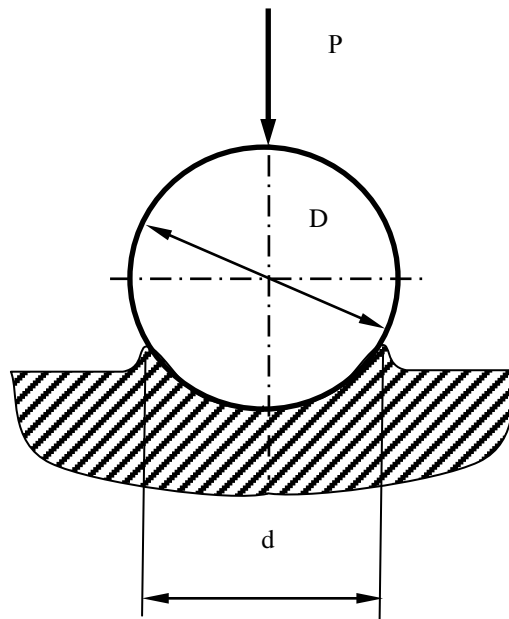


Рисунок 1 – Схема измерения твердости по Бринеллю

Метод Бринелля позволяет, по сравнению с другими методами, получать минимальные разбросы значений твердости для материалов с несовершенной структурой, например, чугуна, вследствие охвата пластической деформацией значительных объемов. Диаметр полученного отпечатка служит мерой твердости: диаметр  $d$  будет тем меньше, чем тверже металл.

На рисунке 2 приведена схема автоматического рычажного прибора Бринелля. В верхней части станины 1 расположен шпиндель 2, в котором крепится наконечник с шариком 3. (Устанавливается по мере надобности любой из трех наконечников с диаметрами шариков 10; 5 и 2,5 мм). Образец 5 устанавливается на столик 4. Вращением по часовой стрелке рукоятки 6, винт 7 приводится в движение, поднимает столик, и образец прижимается к шарошку. Вращение осуществляется до ощутимого упора или пока указатель 8 не станет против риски. При этом пружина 9 сжимается до отказа, создавая предварительную нагрузку в 1000 Н (100 кгс). Электродвигатель 10, включенный нажатием кнопки, расположенной на станине прессы, приводит во вращение эксцентрик 11. При вращении эксцентрика шатун 12, перемещаясь вниз, опускает рычаг 13 и соединенную с ним подвеску 14 с грузами 15, создавая этим нагрузку на шарик, который вдавливаются в образец. При дальнейшем вращении эксцентрика шатун, перемещаясь вверх, поднимает рычаг и подвеску с грузами,

снимая этим нагрузку с шарика. Выключение прибора происходит автоматически, когда рычаг и подвеска достигнут исходного положения. Вращая рукоятку 6 против часовой стрелки, опускают столик 4 и снимают образец.

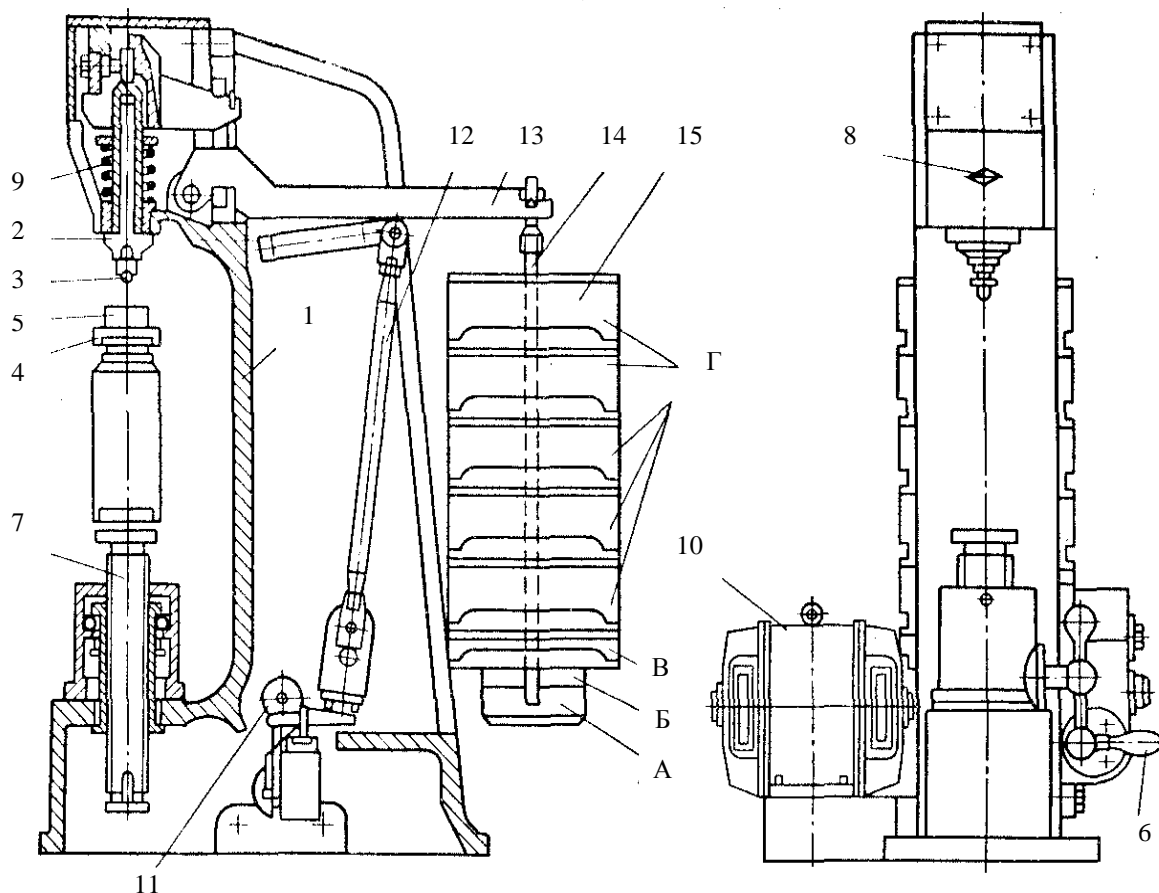


Рисунок 2 – Схема автоматического рычажного прибора Бринелля

Нагрузку на шарик регулируют количеством устанавливаемых грузов:

А – подвеска, создающая нагрузку в 1875 Н;

Б – груз, создающий нагрузку в 625 Н;

В – груз, создающий нагрузку в 2500 Н;

Г – груз, создающий нагрузку в 5000 Н.

При измерении твердости диаметр шарика  $D$  и величину нагрузки выбирают исходя из толщины испытуемого изделия (таблица 1). Определенное влияние на величину НВ оказывает и время выдержки под нагрузкой –  $\tau$  (увеличение  $\tau$  позволяет более полно пройти пластической деформации в объеме материала под шариком).

Таблица 1 – Рекомендуемые параметры при измерении твердости

| НВ          | Минимальная<br>толщина образца<br>h, мм | $P/D^2$ | D, мм | P, Н  | $\tau$ , с | Материал           |
|-------------|---|---------|-------|-------|------------|--------------------|
| 1400...4500 | 6...3                                   | 300     | 10    | 30000 | 10         | Черные<br>металлы  |
| 1400        | 4...2                                   | 300     | 5     | 7500  | 10         |                    |
|             | 2                                       | 300     | 2,5   | 1875  | 10         |                    |
|             | 6                                       | 100     | 10    | 10000 | 10         |                    |
|             | 6...3                                   | 100     | 5     | 2500  | 10         |                    |
|             | 3                                       | 100     | 2,5   | 625   | 10         |                    |
| 130         | 6...3                                   | 300     | 10    | 30000 | 30         | Цветные<br>металлы |
| 35...130    | 4...2                                   | 300     | 5     | 7500  | 30         |                    |
|             | 2                                       | 300     | 2,5   | 1875  | 30         |                    |
|             | 9...3                                   | 100     | 10    | 10000 | 30         |                    |
| 6...35      | 6...3                                   | 100     | 5     | 2500  | 30         |                    |
|             | 3                                       | 100     | 2,5   | 625   | 30         |                    |
|             | 6                                       | 25      | 10    | 2500  | 60         |                    |
|             | 6...3                                   | 25      | 5     | 625   | 60         |                    |
|             | 3                                       | 25      | 2,5   | 156   | 60         |                    |

Примечание: Нагрузки P даны приблизительно, для упрощения выполнения работы.

При  $P/D^2 = \text{const}$  твердость для различных диаметров инденторов должна оставаться неизменной.

Твердость изучаемого материала не должна превышать НВ 450 из-за деформации шарового индентора и как следствия получение неправильного результата. Расстояние от центра отпечатка до края образца должно быть не менее  $2d$ , а расстояние между центрами соседних отпечатков не менее  $4d$ . Уменьшение этих расстояний приводит к изменению диаметра лунки и неверному результату вследствие наведения пластических деформаций от предыдущих отпечатков.

Подготовка образца или поверхности детали для измерения твердости ведется таким образом, чтобы отчетливо были видны края полученного отпечатка при измерении его диаметра. С этой целью зачистка места проведения испытаний производится до металлического блеска. Окончательную обработку следует проводить напильником с мелкой насечкой либо грубой наждачной бумагой. Полученная поверхность должна быть ровной, гладкой без следов видимых дефектов, но в то

же время не полированной во избежание размытия контура отпечатка при его измерении.

Измерение полученного отпечатка производится с помощью микроскопа Бри-нелля (рисунок 3. а) (можно использовать и другие оптические приборы), шкала которого имеет цену деления 0,05 мм. Однако, для удобства пользования и не снижения при этом точности пользуются большими делениями 0,1 мм (рисунок 3. б). На представленной шкале малые деления не показаны.

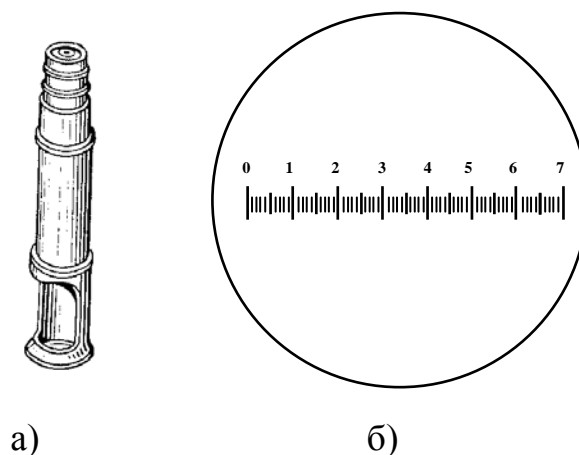


Рисунок 3 – Микроскоп Бринелля для измерения отпечатков: а – внешний вид; б – шкала микроскопа

Микроскоп нижней опорной частью устанавливается на испытываемую поверхность образца над отпечатком. Четкость контура отпечатка регулируется вращением окуляра. Совмещают любой край отпечатка с нулевым отсчетом шкалы (рисунок 4). Количество делений шкалы, попадающие в зону отпечатка, и будут являться его диаметром (на рисунке 4 диаметр отпечатка равен 4,3 мм). Для упрощения измерений следует учесть, что деления между цифрами соответствуют 1 мм.

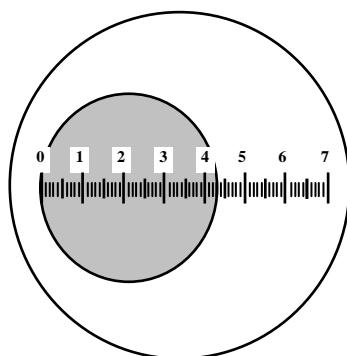


Рисунок 4 – Измерение отпечатка по шкале микроскопа

Вследствие того, что рекомендуется принимать среднее арифметическое двух взаимно-перпендикулярных диаметров, необходимо измерения повторить, повернув микроскоп на  $90^\circ$ . Определить число твердости можно расчетным путем по формуле (2) и (или) по специальной таблице (приложение А, таблица 1). Для точного определения НВ необходимо проводить несколько испытаний (не менее 3-х). Если сплав имеет несовершенную структуру, то количество испытаний следует значительно увеличить, например до 10.

Обозначение твердости имеет буквенно-цифровой вид. Встречаются две системы обозначений (пояснение на примерах):

1. НВ150, где НВ – твердость по Бринеллю, а цифра указывает значение твердости – 1500 МПа.

2. 150НВ 2,5/1875/10 – цифра – значение твердости; НВ – твердость по Бринеллю; 2,5 – диаметр шарика; 1875 – нагрузка на индентор в Н; 10 – время выдержки, с.

По значению НВ можно с определенной достоверностью судить о прочности при растяжении (временное сопротивление разрыву  $\sigma_B$ ).

$$\sigma_B \approx K \cdot \text{НВ}, \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий специфику материала: для стали  $K = 3,4 \dots 3,5$ ; меди, латуни отожженной  $K = 3,5$ ; алюминия, алюминиевых сплавов  $K = 3,3 \dots 3,6$ .

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.

2.2 Подготовить образцы для проведения испытаний. По усмотрению преподавателя могут использоваться различные образцы.

2.3 Произвести испытания на прессе Бринелля с различными нагрузками и диаметрами шариков.

2.4 Измерить диаметры отпечатков микроскопом Бринелля.

2.5 Определить твердость. При определении НВ пользоваться приложением А, таблица 1. Полученные данные занести в протокол испытаний (приложение Б, таблица 1).

### 3. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Краткие теоретические сведения: определение твердости; схема определения твердости; расчетные формулы.

3.2 Протокол испытаний (приложение Б, таблица 1).

3.3 Указать, изменяется ли НВ при  $P/D^2 = \text{const}$ . Определить  $\sigma_B$  для каждого испытания.

3.4 Выводы по проделанной работе.

### 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Определение твердости.
- 2 Причины широкого применения твердости по сравнению с другими механическими характеристиками.
- 3 Как определяется число твердости по Бринеллю?
- 4 Преимущества и недостатки способа Бринелля.
- 5 Как изменяется диаметр отпечатка с увеличением твердости образца?
- 6 Методика проведения испытаний на прессе Бринелля.
- 7 Принцип работы прибора.
- 8 Что влияет на выбор нагрузки вдавливания и диаметр шарика?
- 9 Влияние времени выдержки под нагрузкой на изменение значений НВ.
- 10 Почему ограничивается измеряемое значение твердости?
- 11 Чем обусловлены ограничения по расстоянию между отпечатками?
- 12 Подготовка образцов к испытанию.
- 13 Методика измерения отпечатка.
- 14 Обозначение твердости.

### ЛИТЕРАТУРА

1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008.

2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, 2009.

3 Твердомеры для металлов. Общие технические требования. ГОСТ 23677-79.

4 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013.

5 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Таблица 1 – Определение чисел твердости по Бринеллю

| Диаметр отпечатка $d_{10}$ , или $2d_5$ , или $4d_{2,5}$ , мм | Число твердости НВ, при нагрузке Р, Н |           |          | Диаметр отпечатка $d_{10}$ , или $2d_5$ , или $4d_{2,5}$ , мм | Число твердости НВ, при нагрузке Р, Н |           |          |
|---|---------------------------------------|-----------|----------|---|---------------------------------------|-----------|----------|
|   | $300 D^2$                             | $100 D^2$ | $20 D^2$ |   | $300 D^2$                             | $100 D^2$ | $20 D^2$ |
| 2,90  | 4440                                  | –         | –        | 4,50  | 1790                                  | 595       | 149      |
| 2,95  | 4290                                  | –         | –        | 4,55  | 1740                                  | 581       | 145      |
| 3,00  | 4150                                  | –         | 346      | 4,60-   | 1700                                  | 568       | 142      |
| 3,05  | 4010                                  | –         | 334      | 4,65  | 1670                                  | 555       | 139      |
| 3,10  | 3880                                  | 1290      | 323      | 4,70  | 1630                                  | 543       | 136      |
| 3,15  | 3750                                  | 1250      | 313      | 4,75  | 1590                                  | 530       | 133      |
| 3,20  | 3630                                  | 1210      | 303      | 4,80  | 1560                                  | 519       | 130      |
| 3,25  | 3520                                  | 1170      | 293      | 4,85  | 1520                                  | 507       | 127      |
| 3,30  | 3410                                  | 1140      | 284      | 4,90  | 1490                                  | 496       | 124      |
| 3,35  | 3310                                  | 1100      | 276      | 4,95  | 1460                                  | 486       | 122      |
| 3,40  | 3210                                  | 1070      | 267      | 5,00  | 1430                                  | 475       | 119      |
| 3,45  | 3110                                  | 1040      | 259      | 5,05  | 1400                                  | 465       | 116      |
| 3,50  | 3020                                  | 1010      | 252      | 5,10  | 1370                                  | 455       | 114      |
| 3,55  | 2930                                  | 977       | 245      | 5,15  | 1340                                  | 446       | 112      |
| 3,60  | 2850                                  | 950       | 237      | 5,20  | 1310                                  | 437       | 109      |
| 3,65  | 2770                                  | 923       | 231      | 5,25  | 1280                                  | 428       | 107      |
| 3,70  | 2690                                  | 897       | 224      | 5,30  | 1260                                  | 419       | 105      |
| 3,75  | 2620                                  | 872       | 218      | 5,35  | 1230                                  | 410       | 103      |
| 3,80  | 2550                                  | 849       | 212      | 5,40  | 1210                                  | 402       | 101      |
| 3,85  | 2480                                  | 826       | 207      | 5,45  | 1180                                  | 394       | 98,6     |
| 3,90  | 2410                                  | 804       | 201      | 5,50  | 1160                                  | 386       | 96,6     |
| 3,95  | 2350                                  | 783       | 196      | 5,55  | 1140                                  | 379       | 94,6     |
| 4,00  | 2290                                  | 763       | 191      | 5,60  | 1110                                  | 371       | 92,7     |
| 4,05  | 2230                                  | 743       | 186      | 5,65  | 1090                                  | 364       | 91,0     |
| 4,10  | 2170                                  | 724       | 181      | 5,70  | 1070                                  | 357       | 89,3     |
| 4,15  | 2120                                  | 706       | 176      | 5,75  | 1050                                  | 350       | 87,6     |
| 4,20  | 2070                                  | 688       | 172      | 5,80  | 1030                                  | 343       | 85,9     |
| 4,25  | 2010                                  | 671       | 168      | 5,85  | 1010                                  | 337       | 84,3     |
| 4,30  | 1970                                  | 655       | 164      | 5,90  | 992                                   | 331       | 82,6     |
| 4,35  | 1920                                  | 639       | 160      | 5,95  | 973                                   | 324       | 81,1     |
| 4,40  | 1870                                  | 624       | 156      | 6,00  | 955                                   | 318       | 79,6     |
| 4,45  | 1830                                  | 609       | 152      |   |                                       |           |          |

Примечание – Размерность твердости дана в МПа. Диаметры отпечатков даны для шарика диаметром 10 мм. Для определения по таблице числа твердости при испытании шариком диаметром 5 мм диаметр отпечатка надо умножить на 2, а при испытании шариком диаметром 2,5 мм – на 4.

Таблица 1 – Протокол испытания на твердость по Бринеллю

Тип прессы \_\_\_\_\_

| Материал, толщина образца, мм | Условия испытания (диаметр шарика в мм; нагрузка в Н) | Диаметр отпечатка, мм |     |     | Твердость, НВ |     |     |         | Предел прочности |     |     |         |
|-------------------------------|---|-----------------------|-----|-----|---------------|-----|-----|---------|------------------|-----|-----|---------|
|                               |   | Отпечаток             |     |     | Отпечаток     |     |     |         | Отпечаток        |     |     |         |
|                               |   | 1-й                   | 2-й | 3-й | 1-й           | 2-й | 3-й | среднее | 1-й              | 2-й | 3-й | среднее |
|                               |   |                       |     |     |               |     |     |         |                  |     |     |         |

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА

*Цель работы:* овладеть методикой определения твердости материалов по методу Роквелла. Исследовать изменение твердости от содержания углерода в отожженных углеродистых сталях. Определить твердость сталей, прошедших закалку и химико-термическую обработку (цементацию или азотирование).

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* твердомер для измерения твердости металлов по методу Роквелла (могут быть различных марок); образцы сталей: с различным содержанием углерода (не менее 4-х штук) прошедшие закалку; прошедшие химико-термическую обработку; напильник; шлифовальная шкурка; станок для подготовки микрошлифов.

### 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для определения твердости материала по Роквеллу в поверхность испытуемого образца (детали) вдавливаются стальной закаленный шарик диаметром 1,588 мм (1/16") или алмазный конус с углом при вершине 120°. Вдавливание производится двумя последовательно прилагаемыми нагрузками – *предварительной*  $P_0$  и *основной*  $P_1$ . Общая нагрузка  $P$  будет равна сумме предварительной и основной нагрузок (рисунок 1).



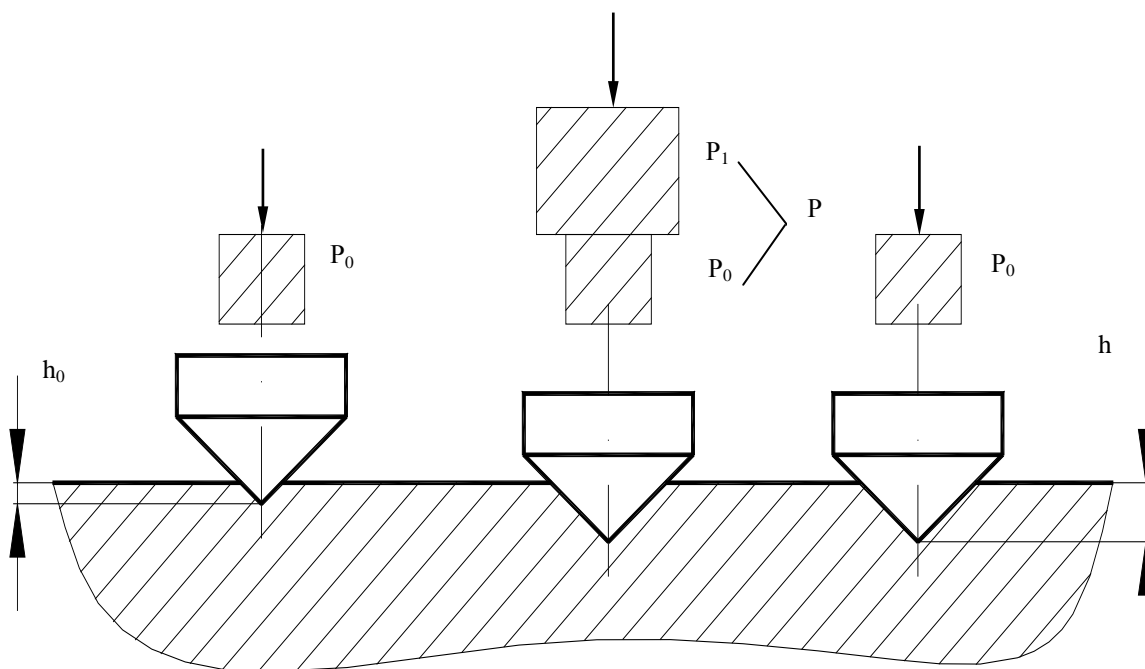


Рисунок 1 – Схема измерения твердости по Роквеллу

Число твердости по Роквеллу (условные единицы) является мерой глубины вдавливания индентора под определенной нагрузкой.

$$P = P_0 + P_1 . \quad (1)$$

Измерение твердости производится по трем шкалам, которым соответствуют определенные нагрузки.

*Твердость по шкале А* измеряется алмазным конусом под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок:

$$P_0 = 98 \text{ Н (10 кгс)}; \quad P_1 = 490 \text{ Н (50 кгс)};$$

$$P = 98 (10) + 490 (50) = 588 \text{ Н (60 кгс)}.$$

Шкала А используется для определения твердости тонких (0,3...0,5 мм) поверхностных слоев значительной твердости, а также очень твердых материалов. Незначительная нагрузка на индентор позволяет проникать ему на небольшую глубину, тем самым, отмечая действительное значение твердости. Пределы измерений по шкале А составляют 70...85 единиц.

*Твердость по шкале В* измеряется вдавливанием шарика в испытуемый образец под действием следующих нагрузок:

$$P_0 = 98 \text{ Н (10 кгс)}; \quad P_1 = 883 \text{ Н (90 кгс)};$$

$$P = 98 (10) + 883 (90) = 981 \text{ Н (100 кгс)}.$$

По шкале В определяют твердость сравнительно мягких материалов ( $\leq 400$  НВ). Пределы измерений в этом случае составляют 25...100 единиц.

*При измерении по шкале С:*

$$P_0 = 98 \text{ Н (10 кгс)}; \quad P_1 = 1373 \text{ Н (140 кгс)};$$

$$P = 98 (10) + 1373 (140) = 1471 \text{ Н (150 кгс)}.$$

Шкала С предназначена для измерения материалов с высокой твердостью ( $\geq 450$  НВ). Пределы измерений для этой шкалы составляют 20...67 единиц.

Твердость по Роквеллу измеряют в условных единицах. За единицу твердости принято значение осевого перемещения наконечника на 0,002 мм. Число твердости HR определяется по формулам:

$$\text{HRB} = 130 - e \text{ (по шкале В)}. \quad (2)$$

$$\text{HRA (C)} = 100 - e \text{ (по шкалам А и С)}. \quad (3)$$

Величина  $e$  определяется из выражения

$$e = \frac{h - h_0}{0,002}, \quad (4)$$

где  $h$  – глубина внедрения наконечника под действием общей нагрузки  $P$ , измеренная после снятия основной нагрузки  $P_1$ , с оставлением предварительной нагрузки  $P_0$ ;

$h_0$  – глубина внедрения наконечника под действием предварительной нагрузки  $P_0$  (рисунок 1).

В зависимости от применяемого индентора (конус, шарик) и нагрузки, при которой проводят испытания (шкалы А; В; С), числа твердости обозначают HRA; HRB; HRC. Примеры обозначений: 78 HRA; 44 HRB; 37 HRC. Числа твердости HRC шкалы С Роквелла, ранее применявшиеся в промышленности, заменены на числа

твердости HRC, шкалы С Роквелла, воспроизводимые государственным специальным эталоном. В ряде литературных источников встречается и другое обозначение: HRA 78; HRB 44; HRC 37.

При измерении твердости металлов, проявляющих склонность к значительному пластическому течению, допускается увеличение времени выдержки под нагрузкой до 60 с. В этом случае в записи результатов измерений должна быть указана выдержка.

Определение твердости на приборе типа Роквелла имеет очень широкое применение в силу ряда положительных факторов:

- возможность испытаний широкого диапазона;
- высокая производительность испытаний;
- большая точность измерений;
- небольшой размер отпечатка,
- простота техники испытаний,
- возможность измерения достаточно тонких изделий.

Измерения твердости по Роквеллу могут проводиться на образцах незначительной толщины (таблица 1).

Таблица 1 – Минимально допустимая толщина образцов при определении твердости по Роквеллу

| Шкала                           | А   |     |     | В   |     |     |     | С   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Число твердости по Роквеллу     | 70  | 80  | 90  | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 70  | 80  | 90  | 100 | 20  | 30  | 40  | 50  | 60  | 67  |
| Минимальная толщина образца, мм | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 2,0 | 1,9 | 1,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 1,5 | 1,3 | 1,2 | 1,0 | 0,8 | 0,7 |

Существует несколько разновидностей приборов для измерения твердости по Роквеллу. Наиболее распространенным является прибор типа ТК–2 (рисунок 2).

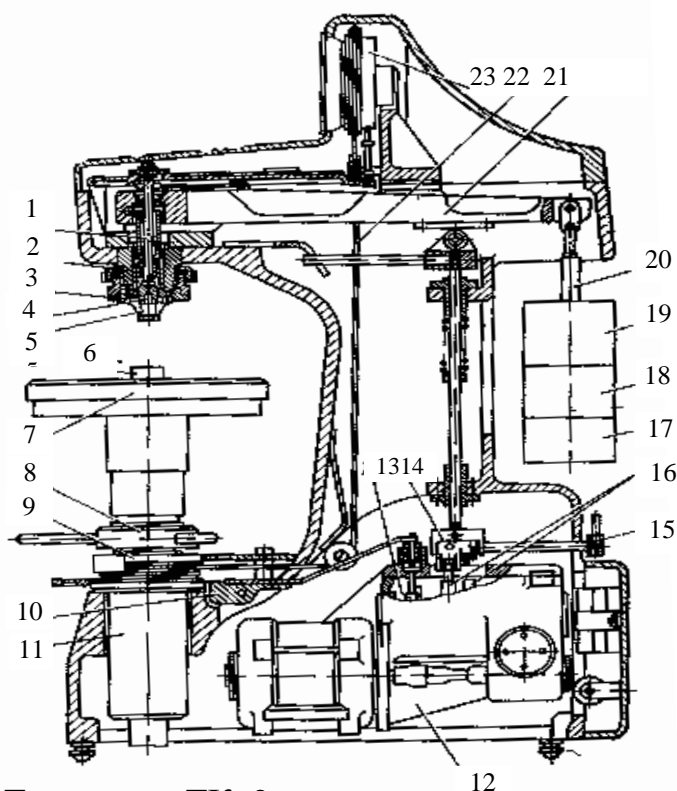


Рисунок 2 – Твердомер ТК-2

Шпиндель 1 служит для закрепления на его конце с помощью винта 4 оправки 5 с шариком или алмазным конусом. Груз 17 установлен постоянно и на него навешиваются грузы 18 и 19 (соответственно шкалам А; В и С). На стол 7 устанавливают испытываемый образец 6. При вращении по часовой стрелке маховика 8 перемещается винт 11, который поднимает стол 7, и образец 6 вводится в соприкосновение с индентором. При дальнейшем вращении маховика 8 сжимается пружина 2, шарик или алмазный конус начинает внедряться в испытываемый образец 6, а стрелки поворачиваются по шкале индикатора 23. При вращении маховика 8 до тех пор, пока образец не упрется в ограничительный чехол 3, малая стрелка индикатора дойдет до красной точки, а большая стрелка установится (с погрешностью  $\pm 5$  делений) приблизительно в вертикальном положении, создается предварительная нагрузка 100 Н. Точную установку шкалы индикатора на нуль производят при помощи барабана 9 тросиком 22, закрепленным на ранте индикатора.

Циферблат индикатора имеет две шкалы – черную (С) (А) и красную (В). Независимо от того, что вдавливается в испытываемый образец – алмазный конус или шарик, с большой стрелкой индикатора всегда совмещается нуль черной шкалы со значком «С». Большую стрелку с нулевым штрихом красной шкалы со

значком «В» не совмещают ни в каком случае.

Приведение в действие основной нагрузки осуществляется с помощью привода 12 от электродвигателя, работающего непрерывно и отключаемого с помощью тумблера 13 только при длительных перерывах в работе прибора. Нажатием клавиши 10 приводят в действие кулачковый блок 16 механизма привода 12, передача от которого к грузовому рычагу 21 осуществляется с помощью штока 14. При этом подвеска 20 с грузами 17-19 опускается, и этим обеспечивается действие основной нагрузки и создается общая нагрузка (предварительная+основная).

Под действием основной нагрузки шарик или алмазный конус все глубже проникает в испытуемый образец, при этом большая стрелка индикатора поворачивается против часовой стрелки. После окончания вдавливания основная нагрузка, действовавшая на образец, автоматически снимается и остается предварительная нагрузка. При этом большая стрелка индикатора перемещается по часовой стрелке и указывает на шкале индикатора число твердости по Роквеллу. При испытании алмазным конусом под нагрузкой 1500 или 600 Н отсчет производят по черной шкале, а при испытании шариком под нагрузкой 1000 Н – по красной шкале.

По окончании цикла испытания кулачковый блок автоматически отключается и фиксируется в исходном положении. Нормальная продолжительность цикла испытания 4 с (при положении рукоятки 15 указателя против буквы Н). Ускоренный цикл испытания 2 с (при положении рукоятки указателя против буквы У).

При вращении маховика 8 против часовой стрелки стол 7 опускается и образец 6 освобождается от действия предварительной нагрузки.

Испытуемый образец должен отвечать следующим требованиям:

- 1 поверхность не должна иметь грубых дефектов (грязь, забоины, окалина и т.д.);
- 2 поверхности (испытуемая и опорная) должны быть плоскими, параллельными;
- 3 поверхность должна быть обработана мелкозернистым наждачным кругом либо наждачными шкурками. Температура поверхности при этом не должна превышать 100...150° С.

Для увеличения достоверности испытаний необходимо создать незначительные кратковременные вибрации на индикаторе прибора.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.

2.2 Подготовить образцы для испытаний. Используются темплеты из различных марок отожженной углеродистой стали (Сталь 10; 20; 30; У8; У12); образцы, прошедшие закалку и поверхностную упрочняющую обработку (например, цементацию).

2.3 Произвести испытания на твердомере по шкалам В, А и С. По шкале В определить твердость отожженной углеродистой стали в зависимости от количества углерода. По шкале А определить твердость поверхностно-упрочненной стали и по шкале С – твердость закаленной стали. (При переходе от одной шкалы к другой необходимо помнить о смене нагрузки).

2.4 Перевести полученные значения испытаний в твердость по Бринеллю (приложение А, таблица 1).

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Краткие теоретические сведения: схема определения твердости; формулы определения твердости; назначение шкал.

3.2 Протокол испытаний (приложение Б, таблица 1).

3.5 Графическая зависимость  $HRB = f(\% C)$  (приложение Б рисунок 1).

3.6 Выводы по проделанной работе.

## **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Как определяется твердость по Роквеллу?
- 2 Что показывает число твердости по Роквеллу?
- 3 Какие шкалы используются при измерениях?
- 4 Что принимается за единицу твердости по Роквеллу?
- 5 Формулы для определения твердости.
- 6 Обозначения твердости.
- 7 Достоинства способа Роквелла.
- 8 Кратко опишите устройство прибора ТК-2.
- 9 Требования к поверхности образцов.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009
- 3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012
- 5 Твердомеры для металлов. Общие технические требования. ГОСТ 23677–79.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Соотношение чисел твердости по Бринеллю и Роквеллу

| Твердость по Бринеллю* |      | Твердость по Роквеллу |     |     | Твердость по Бринеллю* |       | Твердость по Роквеллу |     |     |
|------------------------|------|-----------------------|-----|-----|------------------------|-------|-----------------------|-----|-----|
| Диаметр отпечатка мм   | НВ   | HRC                   | HRB | HRA | Диаметр отпечатка мм   | НВ    | HRC                   | HRB | HRA |
| 2,20                   | 7800 | 72                    | –   | 84  | 4,00                   | 2290  | 20                    | 100 | 61  |
| 2,30                   | 7120 | 68                    | –   | 82  | 4,10                   | 2117  | 17                    | 98  | 60  |
| 2,40                   | 6530 | 64                    | –   | 80  | 4,20                   | 2070  | 14                    | 95  | 59  |
| 2,50                   | 6010 | 60                    | –   | 78  | 4,30                   | 1970  | 12                    | 93  | 58  |
| 2,60                   | 5550 | 56                    | –   | 77  | 4,40                   | 1870  | 9                     | 91  | 57  |
| 2,70                   | 5140 | 52                    | –   | 76  | 4,50                   | 1790  | 7                     | 90  | 56  |
| 2,80                   | 4770 | 49                    | –   | 74  | 4,60                   | 1700  | 4                     | 88  | 55  |
| 2,90                   | 4440 | 47                    | –   | 73  | 4,70                   | 1630  | 2                     | 86  | 53  |
| 3,00                   | 4150 | 43                    | –   | 72  | 4,80                   | 1560  | 0                     | 84  | 52  |
| 3,10                   | 3880 | 41                    | –   | 71  | 4,90                   | 1490  | –                     | 82  | –   |
| 3,20                   | 3630 | 39                    | –   | 70  | 5,00                   | 1430  | –                     | 80  | –   |
| 3,30                   | 3410 | 36                    | –   | 68  | 5,10                   | 1370  | –                     | 78  | –   |
| 3,40                   | 3210 | 33                    | –   | 67  | 5,20                   | 1310  | –                     | 76  | –   |
| 3,50                   | 3020 | 31                    | –   | 66  | 5,30                   | 1260  | –                     | 74  | –   |
| 3,60                   | 2850 | 29                    | –   | 65  | 5,40                   | 1210  | –                     | 72  | –   |
| 3,70                   | 2690 | 27                    | –   | 64  | 5,50                   | 1160  | –                     | 70  | –   |
| 3,80                   | 2550 | 25                    | –   | 63  | 5,60                   | 1110  | –                     | 67  | –   |
| 3,90                   | 2410 | 23                    | 102 | 62  | 5,70                   | 10700 | –                     | 65  | –   |

Примечание – \* Диаметр шарика 10 мм; нагрузка 30000 Н; размерность твердости в МПа.

Таблица 1 – Протокол испытаний по Роквеллу

Тип прибора \_\_\_\_\_

| Материал, вид обработки | Шкала | Нагрузка на индентор Р, Н | Твердость по Роквеллу | Твердость по Бринеллю |
|-------------------------|-------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|
|                         |       |                           |                       |                       |



Рисунок 1 – Зависимость твердости HRC от содержания углерода в стали



# МАКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

*Цель работы:* изучить методы макроскопического анализа.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* образцы с неравномерным распределением серы и фосфора; с дефектами, нарушающими сплошность металла; с волокнистостью; с дефектами сварного соединения; закаленный образец диаметром более 20 мм; вытяжной шкаф; фарфоровая ванна; водяная баня; щипцы; вата; фильтровальная бумага; глянцевая бромсеребрянная фотографическая бумага; этиловый спирт; реактивы для выявления макроструктуры; термометр; увеличительное стекло (x4); устройство для шлифования, шлифовальные шкурки различных номеров зернистости.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Макроскопический анализ* заключается в определении строения (*макроструктуры*) металла (сплава) невооруженным глазом или при небольшом увеличении (до 30 раз) через увеличительное стекло.

Методы макроанализа позволяют выявить не только структуру, то есть форму и размер зерен, из которых состоит металл, но и макродефекты (поры, раковины, неметаллические включения, осадочную рыхлость). Также можно судить о расположении волокон в поковках и штампованных деталях, качестве сварного шва и его дендритном строении. С его помощью можно получить качественные сведения о макрохимической неоднородности металла – ликвациях некоторых элементов, в частности серы и фосфора, в сплавах.

Макроструктура исследуется непосредственно на поверхности заготовки (детали); в изломе или на специально вырезанном образце, после его шлифования и травления реактивами.

Поверхность образца, подготовленная для проведения макроанализа, называется *макрошлифом*. Образцы макрошлифов часто называют *темплетами*.

Необходимо выбрать наиболее характерное для данного изделия место вырезки

образца в зависимости оттого, что подвергают исследованию (отливку, поковку, сварное соединение), и какие дефекты требуется выявить и изучить.

Поверхность вырезанного образца выравнивают на наждачном круге. Для получения более гладкой поверхности образцы, предназначенные для макроанализа, шлифуют на наждачной бумаге разных размеров (от более грубой к более мелкой). При переходе от одного номера шкурки на другой направление шлифования меняют на 90°. После шлифования образцы протирают ватой и подвергают травлению в специальных реактивах.

Травление происходит неравномерно по поверхности образца. Места скопления примесей, различные несплошности травятся сильнее. Участки менее протравленные остаются гладкими и при осмотре кажутся светлыми. Протравленные участки (с дефектами) воспринимаются глазом как темные.

Существует несколько способов макроанализа, различающихся, главным образом, по задачам, поставленным при исследовании конкретных деталей. К ним относятся определение: *дефектов нарушающих сплошность металла; строения металла, создающегося в результате кристаллизации в литых деталях; неоднородности строения, вызванные последующей обработкой металлов давлением; структурной и химической неоднородности; вида излома.*

### **1.1 Выявление дефектов, нарушающих сплошность металла**

С помощью этого способа можно определить:

- усадочную рыхлость, газовые пустоты и трещины, образовавшиеся в литом металле (слитках и отливках) в зависимости от условий плавки, разливки, кристаллизации;
- трещины, возникающие при обработке металлов давлением или при термической обработке в катанном или кованом металле;
- раковины, газовые пузыри, возникающие при сварке в сварных швах (рисунок 1).

Для проведения данного вида макроанализа приготовленный образец погружают в реактив глубокого травления (чаще всего, это раствор соляной кислоты в воде

в пропорции 1:1), предварительно подогретый до  $t = 60...70^{\circ} \text{C}$ . Продолжительность травления зависит от состава сплава. Для углеродистых и низкоуглеродистых сталей оно составляет 15...25 минут. После этого макрошлиф промывают водой и тщательно рассматривают невооруженным глазом или при увеличении до 4-х раз.



Рисунок 1 – Макрошлиф сварного соединения

Если отливка выполнена качественно, поверхность макрошлифа имеет плотную структуру с незначительными изменениями величины зерна. На участках с дефектами травление происходит более активно, и они хорошо проявляются. Так, газовая пористость имеет вид мелких темных точек, рыхлоты обычно окружены пористостью и имеют вид более темных участков с нечеткими очертаниями границ.

Кроме того, макроанализ позволяет выявить участки, которые в результате особенностей состава, влияния примесей и превращений, могут обладать пониженными механическими свойствами и служить при дальнейшей обработке местами возникновения трещин. То есть, определяя эти характерные места (места скопления дефектов) можно заранее определить участки более или менее подверженные разрушению.

С помощью этого метода можно определить содержание вредных примесей (ликвационные зоны); дендритное строение в литой стали; в катанной стали – расположение волокон.

Для контроля сварных соединений применяют образцы, вырезанные в продольном сечении. Их подвергают травлению поверхностными реактивами. Чаще всего это реактивы, содержащие ионы меди (реактив Гейна: 85 г хлорной мери ( $\text{CuCl}_2$ ) и 53 г хлористого аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) на 1000 мл воды). Травление прово-

дят при комнатной температуре реактива ( $t = 20^{\circ} \text{C}$ ) в течение 0,5...1 минуты. При погружении образца в реактив происходит обменная реакция: железо растворяется и вытесняет из раствора медь, которая оседает на поверхности образца. На участках, имеющих поверхностные дефекты, травление происходит сильнее. Затем образцы вынимают из реактива, снимают ватой под струей воды слой меди и просушивают.

Этим способом можно выявить границы раздела наплавленного металла, его структуру в зоне термического влияния, а также внутренние дефекты. При этом наплавленный металл будет иметь дендритную структуру, в верхней поверхности сварного шва будет располагаться слой металла с мелкозернистой структурой. Хорошо будут просматриваться трещины, образовавшиеся при кристаллизации жидкого металла.

## 1.2 Определение строения сплава (дендритной структуры)

Этот метод макроанализа применяют для изучения строения сплава в дендритном строении (рисунок 2).

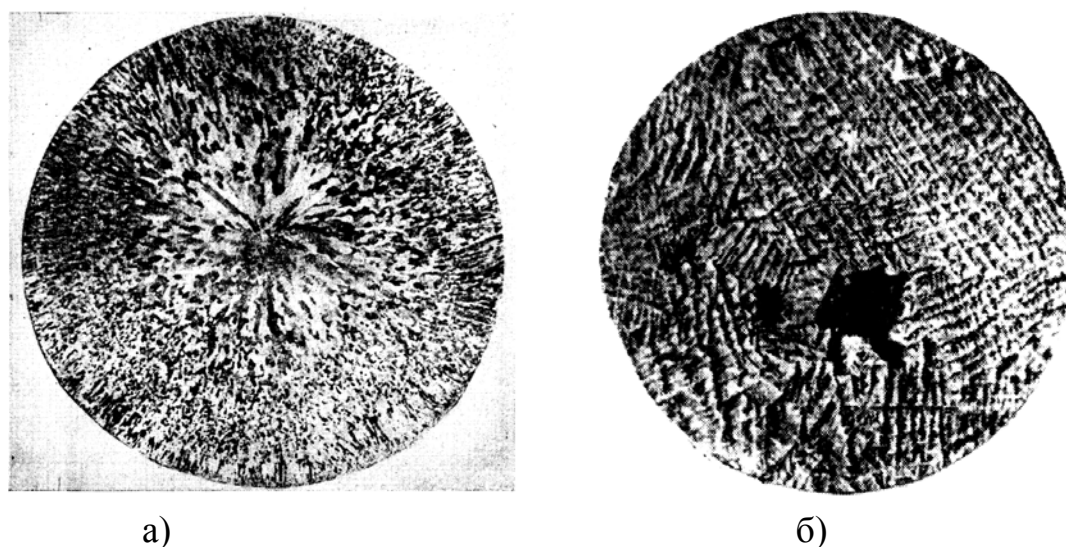


Рисунок 2 – Макроструктура литой стали

Макрошлиф погружают в реактив (15 % водный раствор персульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) при температуре  $80...90^{\circ} \text{C}$ ) и подвергают травлению в течение 5...10

минут. Для легированной стали время выдержки увеличивают. Для получения большей контрастности после травления образец погружают на 1...2 минуты в 5 % водный раствор азотной кислоты. На протравленном макрошлифе хорошо рассматривается характерная дендритная структура слитка.

Также с помощью этого метода можно определить типичные зоны кристаллизации и их изменение в зависимости от различных технологических приемов, применяемых при отливке (изменение размера зерен и расположение зоны крупных кристаллов). Так, при перегреве перед разливкой и быстром охлаждении зона столбчатых кристаллов увеличивается (транскристаллическая структура), что приводит к растрескиванию слитка при дальнейшей обработке давлением. Низкая температура разливки, продувка жидкого металла инертными газами способствует уменьшению зоны столбчатых кристаллов и даже ее полному исчезновению, то есть приводит к равноосной структуре.

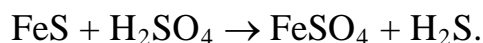
### **1.3 Определение химической неоднородности стали**

Характерной особенностью этого метода является то, что изображение структуры появляется не на самом макрошлифе, а на бумаге, ткани или пленке, на которые нанесен соответствующий реактив. Этот способ носит название *метода отпечатков*.

Макроанализ, проведенный по методу отпечатков, позволяет выявить ликвацию распределения вредных примесей, в частности серы и фосфора, по сечению (объему) изучаемой заготовки, давая при этом лишь качественную оценку содержания их в сплаве, то есть показывает участки более или менее загрязненные этими элементами.

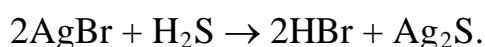
Определение ликвации серы проводится следующим образом. Сера содержится в стали в виде сульфидов марганца (MnS) и сульфидов железа (FeS). Для выявления скопления этих включений используют метод серного отпечатка (метод Баумана). Он заключается в следующем. Лист фотобумаги выдерживают на свету в 2...5 % водном растворе серной кислоты в течение 5...8 минут, затем, просушив его между листами фильтровальной бумаги, плотно прижимают к отшлифованной и очищен-

ной от загрязнений поверхности образца. На тех участках поверхности макрошлифа, в которых имеются скопления сернистых соединений, происходит реакция между ними и серной кислотой:



(Аналогично протекает реакция и с сернистым марганцем).

Образующийся сероводород, непосредственно в месте выделения, взаимодействует с бромистым серебром фотоэмульсии:



Сернистое серебро имеет темный (черный или темно-коричневый) цвет. Поэтому образующиеся на фотобумаге темные участки указывают на форму и характер распределения включений сульфидов в исследуемом образце (рисунок 3). Фосфор, если он присутствует в отдельных участках стали в повышенном количестве вследствие ликвации, также может участвовать в реакции с бромистым серебром, образуя на фотобумаге фосфиды серебра темного цвета.

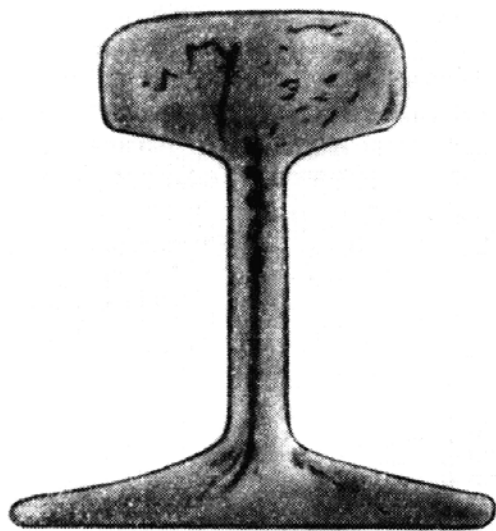


Рисунок 3 – Ликвация серы  
в стали

Для определения ликвации фосфора и углерода можно использовать реактив поверхностного травления – реактив Гейна. Этот способ основан на неодинаковости травимости участков стали с различным содержанием этих элементов. На участках, обогащенных фосфором, медь выделяется менее интенсивно, и поэтому меньше защищает поверхность металла от травящего действия хлористых солей реактива. Эти участки про-

сматриваются как более темные, а, следовательно, с большим содержанием фосфора и углерода.

## 1.4 Определение структурной и химической неоднородности сплава при различных видах обработки давлением

Неметаллические включения в стали (сульфиды, оксиды, шлаки) и ликвационные участки, неоднородные по составу и структуре, при обработке давлением (прокатке, ковке) частично раздробляются и вытягиваются вдоль направления деформации, образуя характерную *продольную волокнистость* (первичная полосчатость рисунок 4).

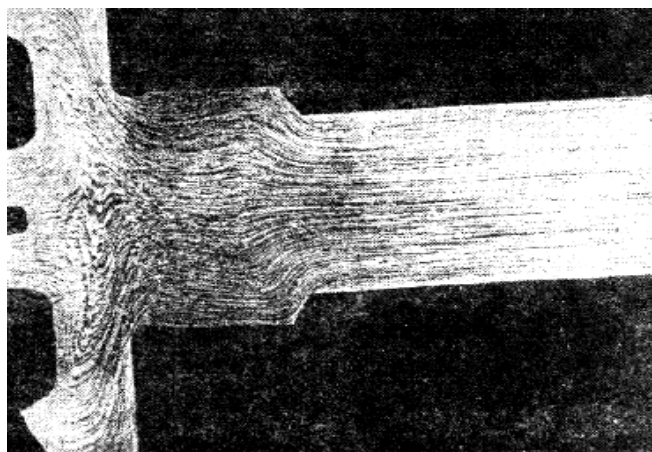


Рисунок 4 – Макроструктура поковки полуоси автомашины

Некоторые механические свойства (главным образом, ударная вязкость) различны в зависимости от направления волокон (в образцах, вырезанных вдоль направления волокон, ударная вязкость выше).

В деталях, работающих с повышенными удельными нагрузками (коленвалы, зубчатые колеса и т.д.), необходимо, чтобы волокна не перерезались, а следовали параллельно контуру детали или, что наиболее желательно, в направлении наибольших напряжений. Это достигается правильным выбором способовковки и штамповки.

С помощью макроанализа можно выявить расположение волокон в детали. При этом образец вырезается в продольном направлении. Волокна металла вследствие неодинакового состава имеют различную травимосьть. Обработку образца проводят реактивом Гейна по методике выявления ликвации фосфора (смотри п. 1.3) и в реактиве глубокого травления (50 % водный раствор серной кислоты) по методике выявления дефектов, нарушающих сплошьность металла (смотри п. 1.1).

Применяя данный метод, можно определить, каким способом была изготовлена деталь (отливка, штамповка, ковка, резанье).

## **1.5 Определение неоднородности состава и структуры полученной термической и химикотермической обработкой**

Этот вид макроанализа позволяет определить: толщину закаленного или цементованного (науглероженного) слоя.

В обоих случаях образец сначала закаливают, а затем ломают.

Закаленный слой (или цементованный и закаленный) имеет более мелкое зерно и после закалки без перегрева получает матовый фосфоровидный (шелковистый) излом, заметно отличающийся от вида излома сердцевины. Толщину этого слоя можно определить невооруженным глазом или через лупу, с точностью, достаточной для производственных условий.

Для образцов диаметром сечения более 20 мм его необходимо предварительно отшлифовать по излому (перпендикулярно оси) и затем протравить в реактиве глубокого травления (50 % водный раствор соляной кислоты при  $t = 80^{\circ}\text{C}$  в течение 3-х минут). В результате закаленный слой будет иметь более темную окраску.

Цементованные и закаленные образцы погружают на 1...2 минуты в реактив состава: 2 г  $\text{CuCl}_2\cdot\text{H}_2\text{O}_4$  и 1 мл  $\text{HCl}$  на 100 мл этилового спирта. Мягкая нецементованная сердцевина макрошлифа покрывается красным слоем меди, науглероженный слой не изменяется.

Также цементованный слой можно выявить, действуя раствором гипосульфита на шлифованную поверхность металла. В результате этого взаимодействия зерна феррита покрываются темной пленкой сернистого железа, а высокоуглеродистая цементованная полоса остается светлой.

## **1.6 Анализ изломов**

Объектом исследования при этом виде макроанализа является естественная поверхность разрушения образца или детали, не требующая специальной обработки.

Для контроля качества металла по излому образец надрезают и разрушают ударной нагрузкой по месту надреза. Вид излома свидетельствует о характере разрушения. При оценке вида излома необходимо учитывать характер прилагаемой нагрузки, так как от этого зависит вид излома.



*Кристаллический излом* позволяет судить о том, что в данном состоянии обработки металл хрупкий и разрушается без заметной пластической деформации. По виду хрупкого кристаллического излома можно определить строение металла – видны зерна.

*Волокнистый излом* показывает, что металл вязкий и его разрушению предшествовала значительная пластическая деформация. При этом форма зерен искажается, – они вытягиваются. Такой излом имеет волокнистую матовую поверхность.

По виду излома определяют изменение структуры, связанное с обработкой металла (закаленный и цементованный слой смотри п. 1.5), исследуют природу дефектов макроструктуры металлургического и другого происхождения. В частности, при обнаружении литейных дефектов можно выявить *газовую пористость* (в виде небольших темных кратеров); *флокены* – тонкие внутренние трещины овальной формы (в виде своеобразных белых пятен); *рыхлоты* (мелкие темные точки в середине излома); *газовые раковины* (темные пятна, частично или полностью окруженные несплавленным металлом) и т.д.

Макроскопический анализ является не окончательным, а лишь предварительным видом исследования, так как не позволяет определить многих особенностей строения металла, но дает возможность выбрать те участки изучаемой детали, которые надо подвергнуть дальнейшему, более подробному, микроскопическому анализу.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

(Варианты заданий выдаются преподавателем)

### **2.1 Выявление дефектов, нарушающих сплошность металла**

2.1.1 Отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной в спирте для удаления загрязнений.

2.1.2 В водяную баню, установленную в вытяжном шкафу, поместить фарфоровую ванну, налить в нее реактив ( $50 \text{ см}^3 \text{ HCl}$ ,  $50 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}$ ) и нагреть до  $t = 60 \dots 70^\circ \text{ C}$ .

2.1.3 Образец при помощи щипцов поместить в горячий реактив и выдержать в нем в течение 15...25 минут.

2.1.4 После выдержки образец с помощью щипцов вынуть из реактива.

2.1.5 Макрошлиф промыть водой, затем 10...15 % водным раствором азотной кислоты и просушить.

2.1.6 Тщательно просмотреть поверхность образца в такой последовательности, чтобы не пропустить ни одного участка.

2.1.7 Зарисовать обнаруженные макродефекты и сделать соответствующие выводы.

**Дефекты сварных соединений** можно обнаружить по следующей методике.

2.1.8 Отшлифованную поверхность образца протереть ватой, смоченной в спирте для удаления загрязнений.

2.1.9 В водяную баню, установленную в вытяжном шкафу, поместить фарфоровую ванну, налить в нее реактив Гейна.

2.1.10 Образец при помощи щипцов поместить в реактив и выдержать в течение одной минуты.

2.1.11 Щипцами вынуть макрошлиф из реактива.

2.1.12 Под струей воды ватой снять слой меди с поверхности макрошлифа и просушить его.

2.1.13 Тщательно рассмотрев поверхность образца невооруженным глазом или при увеличении до 4-х раз, обнаружить имеющиеся дефекты.

2.1.14 Зарисовать полученную макроструктуру и определить качество сварного шва.

## **2.2 Выявление волокнистости стали**

2.2.1 Макроанализ проводится по методике выявления дефектов, нарушающих сплошность металла реактивом глубокого травления (см. п. 2.1).

2.2.2 Определить, каким способом была изготовлена деталь.

## **2.3 Выявление неоднородности распределения серы (метод отпечатков)**

2.3.1 Макрошлиф хорошо протереть ватой, смоченной в спирте, и положить на стол шлифованной поверхностью вверх.

2.3.2 Лист глянцевой бромсеребряной фотографической бумаги вымочить на

свету в течение 5...10 минут в 5 % водном растворе серной кислоты. Слегка просушить между двумя листами фильтровальной бумаги для удаления избытка раствора, наложить эмульсионной стороной на макрошлиф и, приглаживая его сверху рукой, удалить образующиеся пузырьки газов. Выдержать 2...3 минуты и осторожно снять фото-бумагу с образца.

2.3.3 Полученный отпечаток промыть в воде, зафиксировать в 25 % водном растворе гипосульфита, снова промыть и просушить.

2.3.4 Определить места неоднородного распределения примесей на отпечатке.

## **2.4 Контроль по изломам**

2.4.1 Протереть отшлифованную поверхность макрошлифа ватой, смоченной в спирте.

2.4.2 В фарфоровую ванночку, поставленную в вытяжной шкаф, налить реактив (50 % водный раствор HCl), подогреть до  $t = 80^{\circ} \text{C}$ .

2.4.3 Щипцами опустить макрошлиф в реактив и выдержать в течении 3-х минут.

2.4.4 Вынуть образец из реактива и обсушить его листами фильтровальной бумаги.

2.4.5 Определить толщину закаленного слоя.

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Описание метода проведенного макроскопического анализа.

3.2 Зарисовки изучаемых макрошлифов (приложение А, таблица 1).

3.3 Выводы по проделанной работе.

## **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Что такое макроскопический анализ? Область его применения?

2 Макрошлиф. Его изготовление в зависимости от метода макроанализа, применяемого в дальнейшем.

3 Способы макроанализа.

4 С помощью какого вида макроскопического анализа можно определить ликвации вредных примесей?

- 5 Как проводится макроанализ с помощью метода отпечатков?
- 6 Выявление дефектов сварного соединения методами макроанализа.
- 7 Можно ли с помощью макроанализа определить, как была изготовлена деталь? Какой метод следует применить?
- 8 Дефекты строения, нарушающие сплошность металла, и какими методами макроанализа их можно выявить?
- 9 Реактивы, применяемые при глубоком травлении.
- 10 Что происходит с поверхностью макрошлифа при его обработке реактивами глубокого травления?
- 11 Можно ли с помощью макроанализа определить, в каком направлении (поперечном или продольном) вырезан образец из катанной стали? Пояснить.
- 12 Почему макроанализ позволяет установить макростроение металла и способ изготовления отдельных деталей?
- 13 Каким образом определить строение сплава?
- 14 Выявление закаленного или цементованного слоя.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие. Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009
- 3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Протокол испытаний

| Вид макроанализа | Применяемый реактив | Режим травления макрошлифа | Макроструктура |
|------------------|---------------------|----------------------------|----------------|
|                  |                     |                            |                |

# МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОСКОПИЯ)

*Цель работы:* освоить технологию приготовления микрошлифа, научиться пользоваться металлографическим микроскопом, изучить микроструктуры шлифов до и после травления.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* станок для приготовления микрошлифов; набор шлифовальной бумаги, паста ГОИ, фетр или его заменитель; реактивы для травления; микрошлифы; металлографический микроскоп.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Микроскопический анализ заключается в изучении микроструктуры металлов и сплавов.

Под *микроструктурой* понимают внутреннее строение металлического изделия, наблюдаемое с помощью металлографических микроскопов при увеличении от 50 до 2000 раз. В зависимости от задач исследований в микроскопах, применяемых для изучения структуры, используют:

- белый свет и обычные оптические системы (*оптическая микроскопия*);
- ультрафиолетовое излучение и специальную кварцевую оптику (*ультрафиолетовая микроскопия*);
- электронные лучи (поток электронов), для которых необходимо применять электромагнитные или электростатические линзы (*электронная микроскопия*).

*Микроанализ* – наиболее широко и часто используемый метод исследования металлов и их технического контроля вследствие значительного количества решаемых им задач. К этим задачам можно отнести:

- изучение формы и размеров зерен, из которых состоит материал;
- изучение влияний на структуру различных видов воздействий (термообработка, деформирование, сварка и т.д.);
- вероятность обнаружения различных включений и дефектов микроскопических размеров;

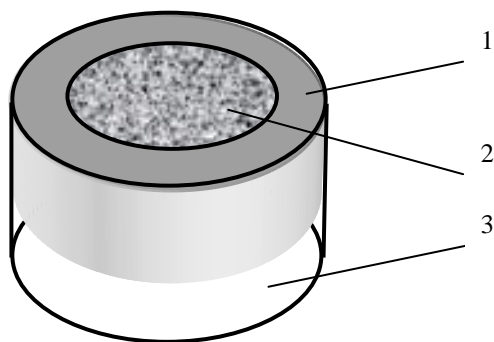
– возможность различить компоненты сплава в структуре зерна, имеющие разный химический состав.

Но самое важное, что между структурой металла и многими его свойствами существует достаточно определенная, хотя и качественная связь.

Исследование структуры проводят на микрошлифе. *Микрошлифом* называют образец небольших размеров металла или сплава, имеющий специально подготовленную поверхность.

Изготовление микрошлифа включает следующие операции: отрезку образца, его торцовку, шлифование, полирование и травление.

С целью удобства работы со шлифом его часто заливают в небольшие формы (рисунок 1) либо зажимают в струбцинах.



1 – заливаемый состав (полимеры, легкоплавкие, но твердые сплавы);  
2 – образец; 3 – труба

Рисунок 1 – Общий вид микрошлифа

*Отрезка* образца проводится режущим инструментом с интенсивным охлаждением во избежание его нагрева выше  $150^{\circ}\text{C}$  и изменения структуры.

*Торцовка* осуществляется с целью придания прямолинейности одной из поверхностей образца и проводится опиловкой напильником или шлифовальным кругом.

*Шлифование* производится обработкой поверхности шлифа наждачной бумагой различной зернистости. Начинают шлифование на бумаге с более крупным зерном, постепенно переходя к более мелким зернам.

На каждом номере бумаги образец шлифуют до полного исчезновения рисок на поверхности, оставленных предыдущим номером бумаги. При переходе с одного

номера шлифовальной бумаги на другой образец поворачивают на 90°. После окончания шлифования на бумаге самой мелкой зернистости поверхность образца имеет мелкие риски, которые удаляют полированием.

*Полирование.* При данном процессе происходит удаление рисок от шлифования. Изучаемая поверхность полируется до зеркального блеска. Различают два вида полирования образцов для микроанализа: *механическое* и *электролитическое*.

Наиболее распространено *механическое полирование*. Полирование производится на полировальном устройстве с вращающимся кругом (кругами), обтянутым сукном, фетром, либо тканью без синтетических волокон. Материал смачивают суспензией окиси алюминия или хрома в воде либо натирают его пастой ГОИ.

*Электролитическое полирование* основано на растворении микровыступов на отшлифованной поверхности образца в электролите при определенной плотности тока. Причем, для электрополирования различных металлов и сплавов нужно применять разного рода электролиты и режимы обработки.

После полирования образец промывают водой, полированную поверхность протирают ватой, смоченной спиртом, и просушивают фильтровальной бумагой.

*Травление.* Для выявления микроструктуры подготовленный микрошлиф подвергают травлению. Некоторые примеры реактивов для травления приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Реактивы для травления микрошлифов

| Материал   | Реактив  |
|--|--|
| Углеродистые, низкоуглеродистые, среднеуглеродистые стали, чугуны, цементованные стали | 2...4 % спиртовой раствор азотной кислоты;<br>4 % спиртовой раствор пикриновой кислоты       |
| Высоколегированные и никелевые сплавы  | Азотная кислота 10 мл, соляная кислота 20 мл;<br>глицерин 30 мл                              |
| Медь и ее сплавы   | Хлорное железо 10 г, соляная кислота 25 мл, вода 100 мл                                      |
| Алюминий и его сплавы  | Плавиковая кислота (48 %-ная) 0,5 мл, вода 99,5 мл   |
| Титановые сплавы   | Плавиковая кислота (48 %-ная) – 25 %, азотная кислота (уд. вес 1,4) – 25 %, глицерин – 50 %. |

Полированную поверхность шлифа погружают на 3...15 с в реактив или протирают ватой, смоченной в реактиве, до появления ровного матового оттенка без наличия всякого рода пятен. Затем шлиф промывают спиртом или водой и просушивают фильтровальной бумагой. Травление полированных поверхностей приводит к образованию на них микрорельефа вследствие различной интенсивности растворения структурных составляющих (например, границы зерна растворяются несколько сильнее, чем сами зерна, из-за наличия в них значительного количества дефектов). При попадании света из микроскопа на поверхность шлифа его лучи будут отражаться по-разному от неодинаково протравленных участков. Так, где поверхность протравилась слабо, количество отраженных лучей, попавших в поле зрения микроскопа, будет велико, и данная поверхность будет казаться светлей. Сильно протравившиеся поверхности будут казаться темными вследствие большого рассеяния света (рисунок 2).

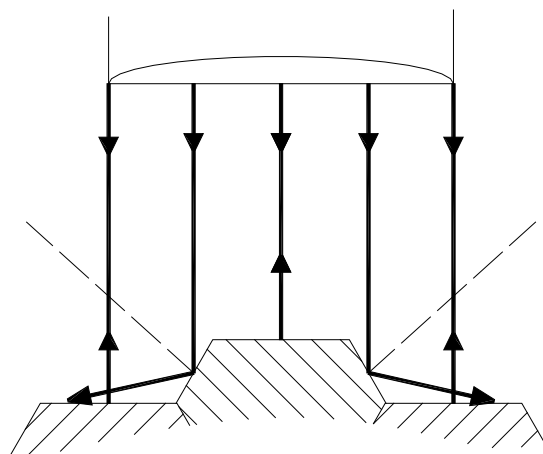


Рисунок 2 – Схема, поясняющая видимость границ зерен и самих зерен под микроскопом

При подготовке микрошлифов металлических сплавов с неоднородной структурой (серые чугуны) следует обращать внимание на глубину влияния предыдущей механической обработки. Так, при чистовом фрезеровании такая глубина может достигать до 0,6 мм, что приводит к достаточно серьезным искажениям структуры.

В ряде случаев используются и другие методы выявления структуры:

- метод окисления – нагрев образца в окислительной среде;



– метод избирательного испарения веществ при нагреве в вакууме, основанный на избирательном испарении атомов, протекающий с различной скоростью в зернах и на их границах.

*Металлографические микроскопы* делятся на вертикальные МИМ–7, ММР–2, ММЧ–3 и горизонтальные МИМ–8, МИМ–8М, МИМ–9. Металлографические микроскопы используются для изучения непрозрачных тел в отраженном свете.

Основными частями микроскопа МИМ–7 являются (рисунок 3): I – осветительная часть; II – корпус микроскопа; III – верхняя часть.

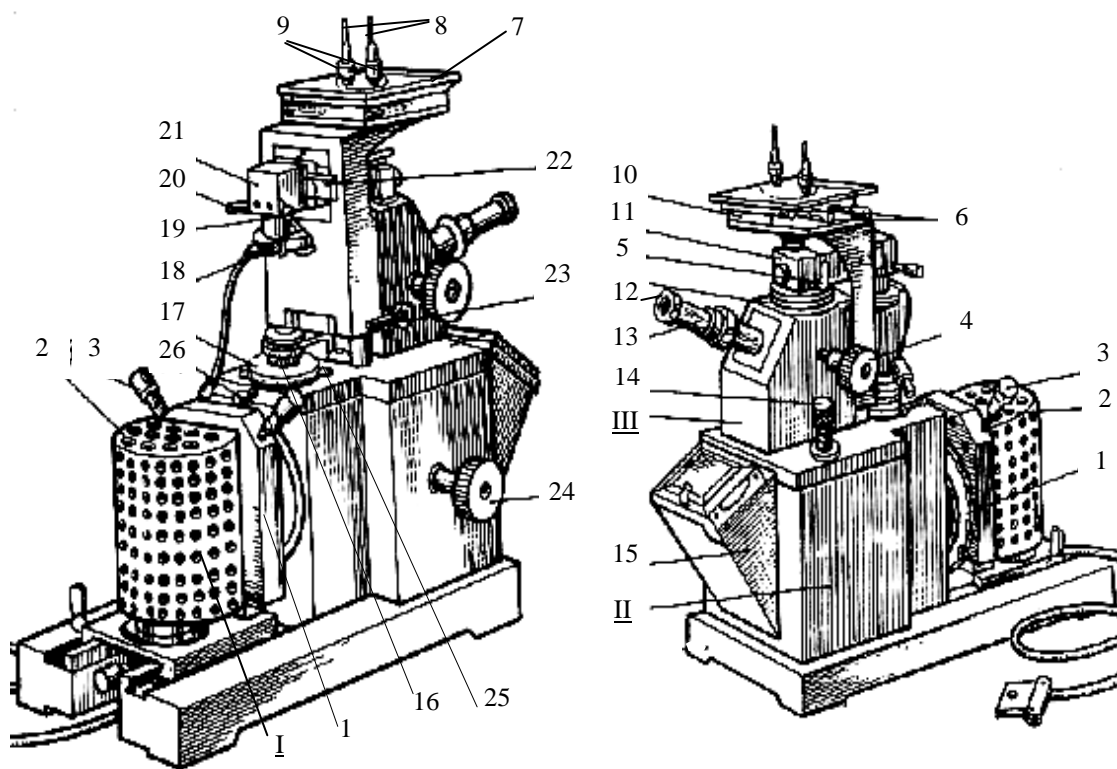


Рисунок 3 – Микроскоп МИМ–7

*Осветитель I* имеет фонарь 2, внутри кожуха которого находится лампа. Центрировочные винты 3 служат для совмещения центра нити лампы с оптической осью коллектора.

В *корпусе II* микроскопа находятся диск 1 с набором светофильтров; рукоятка 24 переключения фотоокуляров; посадочное устройство для рамки 15 с матовым стеклом или кассеты с фотопластинкой 9x12 мм; узел апертурной диаграм-

мы, укрепленный под оправой осветительной линзы 17; кольцо с накаткой 16, служащее для изменения диаметра диафрагмы; винт 25, вращением которого смещается диаграмма для создания косо́го освещения; винт 26 для фиксации поворота апертурной диафрагмы.

*Верхняя часть* III микроскопа включает следующие детали.

*Иллюминаторный тубус* 11, в верхней части которого расположено посадочное отверстие под объектив. На патрубке иллюминаторного тубуса расположена рамка с линзами 22 для работы в светлом и темном поле и рукоятка для включения диафрагмы при работе в темном поле; под кожухом 21 – пентапризма. В нижней части кожуха расположены центрировочные винты 20 полевой диафрагмы, диаметр которой изменяют при помощи поводка 19. Под конусом полевой диафрагмы находится фотозатвор 18.

*Визуальный (зрительный) тубус* 13, в отверстие которого вставляется окуляр 12. При визуальном наблюдении тубус вдвигают до упора, а при фотографировании выдвигают до отказа.

*Предметный столик* 10, который при помощи винтов 6 может передвигаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В центре предметного столика имеется окно, в него вставляют одну из сменных прокладок 7 с отверстиями различного диаметра. На предметном столике расположены держатели, состоящие из вертикальных колонок 8 и пружинящих прижимов 9, которыми микрошлиф прижимается к подкладке предметного столика. Макрометрический винт 4 служит для перемещения предметного столика в вертикальном направлении, и этим производится грубая наводка на фокус. Зажимным винтом 23 фиксируют определенное положение предметного столика, чтобы он самопроизвольно не опускался. Для помещения столика на нужной высоте на кронштейне столика награвирована риска, которая устанавливается против точки, награвированной на корпусе микроскопа.

*Микрометрический винт* 14, с помощью которого объектив перемещают в вертикальном направлении и точно наводят на фокус. Расход микрометрической подачи – 3 мм, цена деления барабана – 0,003 мм.

*Работа с микроскопом.* Микрошлиф устанавливают на предметный столик

микроскопа полированной поверхностью вниз. Производят наводку на резкость. Грубая наводка осуществляется с помощью макровинта (4) подъемом и опусканием предметного столика. Точная наводка производится микровинтом (14) при перемещении объектива относительно предметного столика.

Четкость изображения фиксируется глазом через окуляр (12). При помощи винтов (6) предметный столик можно перемещать в двух перпендикулярных направлениях, что дает возможность рассматривать различные участки поверхности микрошлифа.

Основными характеристиками микроскопа являются: *увеличение микроскопа* и *разрешающая способность*.

Так, микроскоп МИМ–7 дает увеличение от 60 до 1440 раз. Увеличение объекта в микроскопе происходит в две стадии: первое увеличение дает объектив, второе – окуляр.

Общее увеличение микроскопа равно  $N_{\text{МИК}}$

$$N_{\text{МИК}} = N_{\text{ОК}} \cdot N_{\text{ОБ}}, \quad (1)$$

где  $N_{\text{ОК}}$  – увеличение окуляра;  
 $N_{\text{ОБ}}$  – увеличение объектива.

Увеличение микроскопа МИМ–7 при визуальном наблюдении дано в таблице 2.

Таблица 2 – Увеличение микроскопа МИМ–7 при визуальном наблюдении

| Объективы                               | Окуляры        |                 |                 |                 |
|---|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|   | 7 <sup>X</sup> | 10 <sup>X</sup> | 15 <sup>X</sup> | 20 <sup>X</sup> |
| 8,6 <sup>X</sup> (F = 23,2, A = 0,17)   | 60             | 90              | 130             | 170             |
| 14,4 <sup>X</sup> (F = 13,89, A = 0,30) | 100            | 140             | 200             | 300             |
| 24,5 <sup>X</sup> (F = 8,16, A = 0,37)  | 170            | 240             | 360             | 500             |
| 32,5 <sup>X</sup> (F = 6,16, A = 0,65)  | 250            | 320             | 500             | 650             |
| 72,2 <sup>X</sup> (F = 2,77, A = 1,25)  | 500            | 720             | 1080            | 1440            |

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 2.1 Ознакомиться с теоретическими сведениями.
- 2.2 Изучить методику приготовления микрошлифов.
- 2.3 Произвести шлифовку и полировку двух образцов.

2.4 Рассмотреть образцы в микроскоп, предварительно установить увеличение, равное 90. При установке увеличений пользоваться таблицей 2. Зарисовать поле шлифов, видимое в микроскоп. Обозначить включения – оксиды, сульфиды, графит (приложение А, рисунок 1).

2.5 Изменить увеличение –  $N = 300$ . Зарисовать поле шлифов. Обозначить включения.

2.6 Протравить образцы. Рассмотреть в микроскоп и зарисовать без указания структурных составляющих поле микрошлифов при увеличении 200. Обозначить границы зерен.

### **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Расчет и подбор увеличений.

3.2 Рисунки микроструктуры с разными увеличениями до и после травления согласно порядку выполнения работы (приложение Б, таблица 1).

3.3 Указать реактив для травления.

3.4 Вывод по проделанной работе.

### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Что понимается под микроскопическим анализом?
- 2 Микроструктура – понятие.
- 3 Назовите задачи микроанализа.
- 4 Разновидности микроскопии.
- 5 Операции при изготовлении микрошлифа.
- 6 Микрошлиф – понятие.
- 7 Особенности шлифования при приготовлении микрошлифов.
- 8 Процесс травления. Некоторые реактивы.
- 9 Чем обусловлена видимость структуры и границ между зернами?
- 10 Методы травления.
- 11 Устройство металлографического микроскопа.
- 12 Работа на микроскопе.
- 13 Как определить увеличение микроскопа?

## ЛИТЕРАТУРА

1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие Брянск: БГСХА, 2008

2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009

3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров. -М.: Юрайт, 2013

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

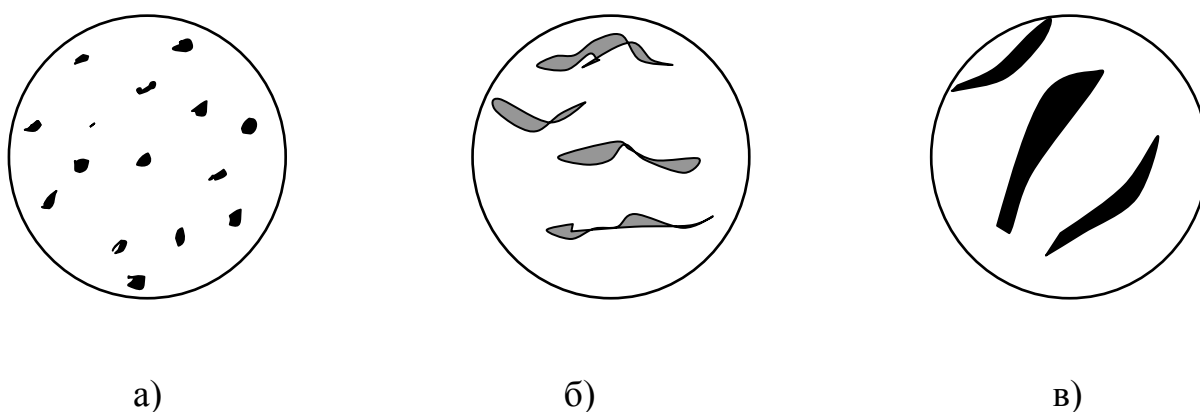


Рисунок 1 – Неметаллические включения в стали и чугуне: а – оксиды; б – сульфиды; в – графит

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 1 – Протокол испытаний

| № п/п | Увеличение микроскопа | Микроструктура |                 | Реактив |
|-------|-----------------------|----------------|-----------------|---------|
|       |                       | до травления   | после травления |         |
|       |                       |                |                 |         |
|       |                       |                |                 |         |
|       |                       |                |                 |         |

ё

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ СВИНЕЦ (Pb)-СУРЬМА (Sb)

*Цель работы:* освоить термический метод построения кривых охлаждения металлов и двухкомпонентных сплавов; научиться определять критические точки; построить диаграмму состояния свинец–сурьма; проанализировать эту диаграмму.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* муфельная печь (тигельная печь); тигель; термопара; милливольтметр или гальванометр; секундомер; металлы – свинец и сурьма; сплавы свинец-сурьма с различной концентрацией (не менее четырех); толченый древесный уголь.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1 Термический анализ

Сущность *термического анализа* (термического метода) заключается в определении температур фазовых превращений (*критические точки*) при нагревании или охлаждении металла либо сплава с последующим построением графической зависимости между температурой ( $t$ ) и временем ( $\tau$ ). Критическими точками могут являться: температуры кристаллизации, аллотропические (полиморфные превращения). Термический анализ основан на выделении или поглощении теплоты при внутренних превращениях, происходящих в металлах и сплавах. Полученные на графике перегибы или горизонтальные участки указывают на температуры фазовых превращений (рисунок 1) – критические точки. На данном графике таких точек две: 1 – начало кристаллизации, 2 – конец кристаллизации.

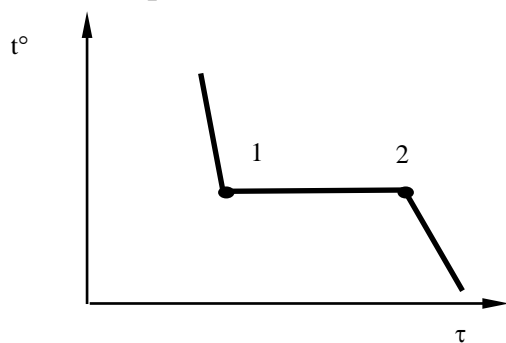


Рисунок 1 – Кривая охлаждения чистого металла

Следует заметить, что термический анализ можно применять лишь в том случае, когда превращения в металле (сплаве) происходят со значительным тепловым эффектом.

При термическом методе используют термоэлектрические *пирометры* (рисунок 2), состоящие из термопары I и микровольтметра (гальванометра) II.

*Термопара* представляет собой два металлических проводника – термоэлектрода из разнородных металлов 1 и 3, спаянных в точке 2 (*горячий спай*).

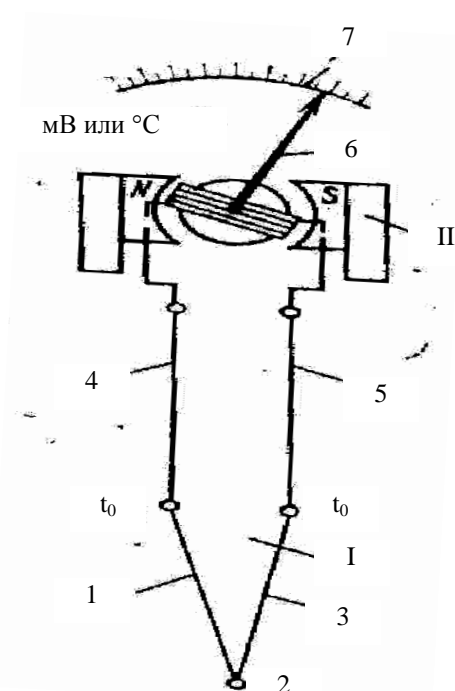


Рисунок 2 – Схема термоэлектрического пирометра

Горячий спай помещают в среду, температуру которой нужно определить. Свободные или «холодные» концы термопары подключают к микровольтметру (гальванометру) с помощью компенсационных (удлинительных) проводов 4, 5. Место соединения проволок 1 и 3 с проводами 4 и 5 называется *холодным спаем*, который должен находиться при температуре окружающей среды (обычно  $20^{\circ}\text{C}$ ). Удлинительные провода 4, 5 подключены к измерительному прибору II (милливольтметру или гальванометру).

Принцип работы термопары заключается в следующем. Если концы разнородных металлических проводников замкнуты, а температура горячего спая выше, чем холодного, то в замкнутой электрической цепи возникает термоэлектродвижущая сила (т.э.д.с.). С увеличением температуры нагрева горячего спая т.э.д.с. возрастает.

Милливольтметр (гальванометр) – это прибор магнитоэлектрической системы. Принцип работы милливольтметра, как известно из курса физики, основан на взаимодействии электрического поля, создаваемого термотоком, проходящим через измерительную катушку, соединенную с термопарой, с магнитным полем постоянного магнита. Созданный термоток, проходя по цепи, отклоняет стрелку

6 милливольтметра П, шкала 7 которого отградуирована в милливольтгах или градусах. Чем выше температура горячего спая, тем больше угол отклонения стрелки гальванометра.

В зависимости от диапазона измерения температур применяют различные термопары (таблица 1).

Таблица 1 – Некоторые показатели термопар

| Наименование термопар | Условное обозначение | Интервал измеряемых температур, °С |                   | Химический состав                                 |
|-----------------------|----------------------|------------------------------------|-------------------|---|
|                       |                      | кратковременный нагрев             | длительный нагрев |   |
| Платинородий–платина  | ПП-1                 | 0...1600                           | 0...1300          | 90% Pt + 10% Ph –<br>100% Pt                      |
| Хромель–алюмель       | ХА                   | –50...1300                         | –50...1000        | 10%Cr + 90% Ni –<br>95%Ni + 2%Mn +<br>2%Al + 1%Si |
| Хромель–копель        | ХК                   | 800                                | 600               | -   |

Наряду с милливольтметрами и гальванометрами в качестве измерительной аппаратуры могут быть использованы потенциометры и осциллографы.

*Построение кривых охлаждения состоит из нескольких операций:*

1 исследуемый металл (сплав) расплавляют в тигле 1, который помещен в печь 3 (муфельную или индукционного нагрева) и закрыт термоизоляционной крышкой 4 (рисунок 3);

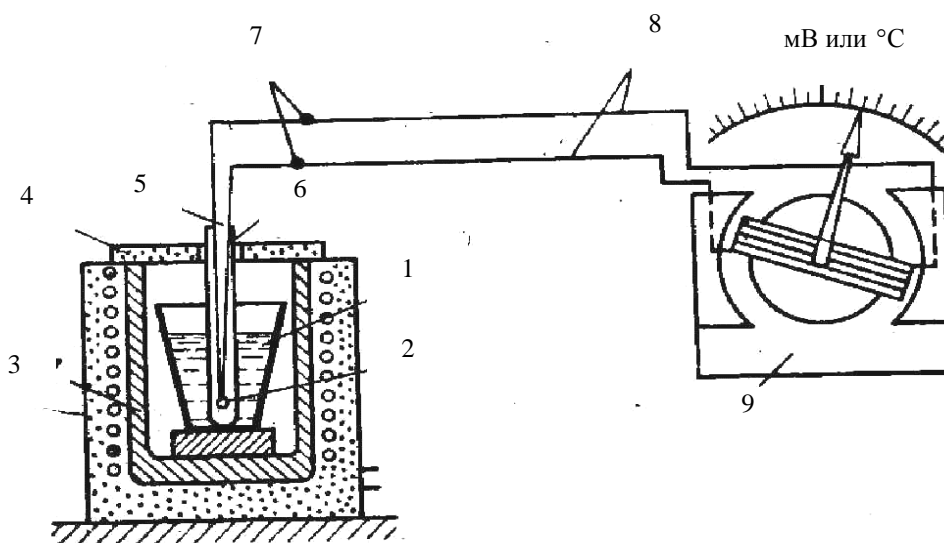


Рисунок 3 – Схема установки для определения критических точек металлов и сплавов



2 в расплав погружают горячий спай 2 термопары 5, защищенной фарфоровым кожухом 6;

3 концы термопары 7 (холодный спай) соединяют с проводами 8 и через них с милливольтметром 9;

4 снимают показания по мере охлаждения.

## 1.2 Диаграмма состояния сплава

*Диаграмма состояния сплава* представляет собой графическое изображение состояния сплава и показывает превращения, протекающие в сплавах в зависимости от температуры и концентрации компонентов. (Диаграмма строится в координатах температура-концентрация).

Она показывает устойчивые, *равновесные* состояния сплава, обладающие при данных термодинамических условиях минимальной свободной энергией. Поэтому эту диаграмму часто называют *диаграммой фазового равновесия*.

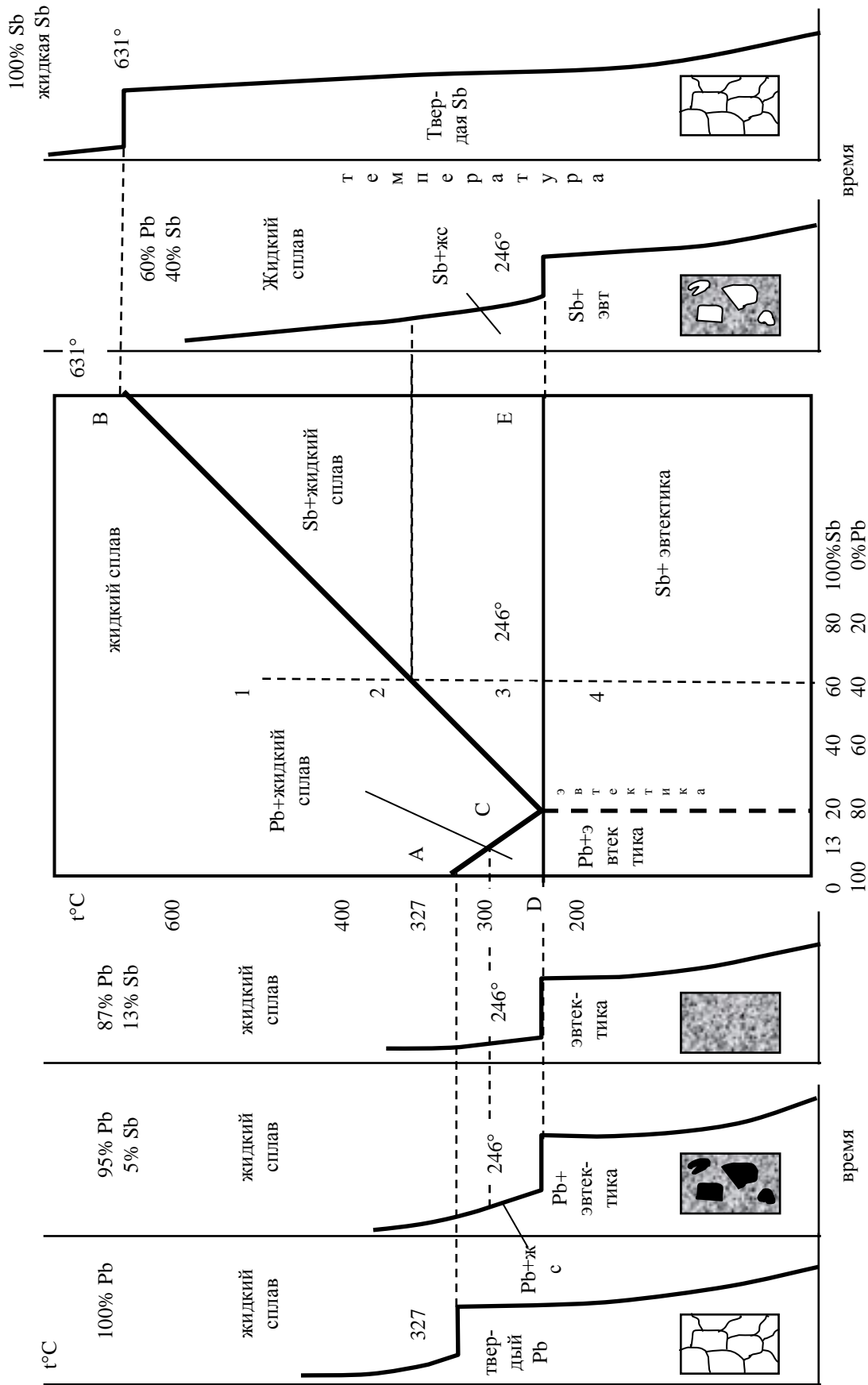
*Фаза* принято называть однородную часть системы, отделенную от других частей системы (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав, структура и свойства изменяются скачкообразно.

Один из типов диаграммы состояния характеризуется тем, что компоненты неограниченно растворены в жидком состоянии, нерастворимы в твердом и образуют механическую смесь своих кристаллов – *эвтектику*, то есть структуру, получаемую при одновременной кристаллизации обоих компонентов сплава с образованием тонкой механической смеси, при минимальной температуре.

По диаграмме этого типа кристаллизуются системы Pb–Sb, Sn–Zn, Pb–Ag и другие.

Рассмотрим диаграмму состояния сплавов системы Pb–Sb (рисунок 4).

Диаграмма состояния для любого сплава строится экспериментально. Для достижения этой цели используют чистые металлы: *свинец* – Pb и *сурьму* – Sb и ряд их сплавов, например:



а б р Д Рисунок 4 – Построение диаграммы свинец-сурьма

- *доэвтектический*, содержащий 95 % – Pb, 5 % – Sb;
- *эвтектический*: 87 % – Pb, 13 % – Sb;
- *заэвтектический*: 60 % – Pb, 40 % – Sb.

Чем больше взято сплавов, тем точнее получаемая диаграмма. Затем для каждого сплава и металлов строят кривые охлаждения, определяют на них положение критических точек и соответствующие им температуры.

Для построения диаграммы состояния сплавов по оси абсцисс откладывают концентрацию каждого компонента (от 0 до 100 %), по оси ординат – температуру.

По оси абсцисс откладывают содержание Pb (100 %; 95 %; 87 %; 60 %) и Sb (5 %; 13 %; 40 %; 100 %), а на ординаты – соответствующие этим сплавам температуры с их кривых охлаждения. Полученные точки соединяют плавной кривой.

Выше линий AC и CB сплавы этого состава находятся в жидком состоянии. На этих линиях начинается кристаллизация сплавов. Линию ACB называют *линия ликвидус* (жидкий).

Прямая линия DCE соответствует концу затвердевания сплавов, ниже нее сплавы всех составов находятся в твердом состоянии. Поэтому линию DCE называют *линия солидус* (твердый).

Сплав, соответствующий точке C, называется *эвтектическим*. Для данной системы он имеет строго определенный состав: 87 % Pb, 13 % Sb, и обладает самой низкой температурой плавления – 246°C.

Сплавы, расположенные влево от эвтектики, называют – *доэвтектическими*, а вправо – *заэвтектическими*.

Между линиями ликвидус и солидус сплавы состоят из двух фаз: область, ограниченная фигурой DAC (кристаллы Pb+жидкий сплав); область, ограниченная фигурой CBE (кристаллы Sb+жидкий сплав).

Ниже линии DCE (солидус) все сплавы находятся в твердом состоянии, но фазовый состав их различный: ниже линии DC – кристаллы Pb+эвтектика; ниже точки C – эвтектика; ниже линии CE – кристаллы Sb+эвтектика.

Зная диаграмму состояния, можно качественно охарактеризовать многие физико-химические, механические и технологические свойства сплава:

- предсказать ожидаемый характер изменения структуры и свойства сплава;
- температуру плавления сплавов с заданной концентрацией компонентов и полиморфных превращений;
- число фаз и их состав, имеющийся в сплаве с определенной концентрацией компонентов при конкретной температуре, а также количественное соотношение этих фаз;
- режимы термической обработки;
- оптимальные температурные интервалы литья и горячей обработки давлением.

### 1.3 Правило Гиббса

Экспериментально построенную диаграмму проверяют по правилу фаз Гиббса (правило фаз), которое выражается следующей зависимостью

$$C = K - \Phi + 1, \quad (1)$$

где  $C$  – число степеней свободы, то есть число внешних факторов (температура, концентрация), которые можно изменить без изменения числа фаз в сплаве;

$K$  – число компонентов или различных веществ наименьшее число которых достаточно для образования всех фаз системы, в данном случае  $K = 2$  (свинец, сурьма);

$\Phi$  – число фаз.

Применяя правило фаз Гиббса к системе Pb–Sb, можно провести теоретическое исследование всех превращений, происходящих при охлаждении или нагревании сплавов различной концентрации.

На диаграмме (рисунок 4) возьмем сплав, содержащий 60 % Pb и 40 % Sb и проведем вертикаль. Рассмотрим точки 1, 2 и 3.

#### Точка 1:

$$C_1 = 2 - 1 + 1 = 2,$$

где  $\Phi = 1$  (фаза жидкая).

Система двухвариантная, так как можно менять и температуру, и концентрацию сплава. В равновесии (в определенных пределах) сплав будет жидкий.

### Точка 2:

$$C_2 = 2 - 2 + 1 = 1,$$

где  $\Phi = 2$  (жидкость + кристаллы Sb).

Система одновариантная, что позволяет изменить температуру, не изменяя равновесия сплава.

### Точка 3:

$$C_3 = 2 - 3 + 1 = 0,$$

где  $\Phi = 3$  (Sb, жидкий сплав и Pb, входящий в состав эвтектики).

Данная система – безвариантна, любое изменение температуры или концентрации вызовет нарушение равновесия.

Аналогичное состояние наблюдается по всей линии DCE.

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Взять тигли с чистым свинцом, сурьмой и тремя сплавами (6 % Sb, 13 % Sb, 90 % Sb). Нагреть на 20...30° выше  $T_{пл}$ .

2.2 Выключить электропечь и охладить все тигли, фиксируя показания гальванометра через 15 секунд.

2.3 По результатам измерения построить кривые охлаждения в координатах температура–время охлаждения или т.э.д.с. – время охлаждения (рисунок 5).

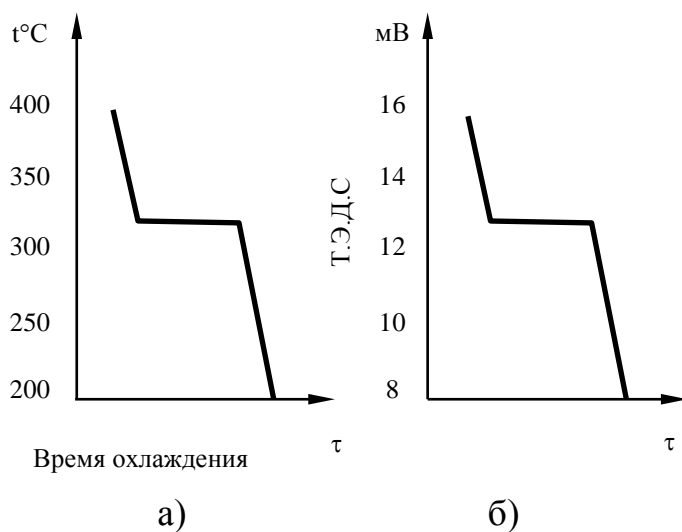


Рисунок 5 – Кривые охлаждения свинца, построенные в координатах: а – температура–время охлаждения; б – т.э.д.с.–время охлаждения

2.4 На построенной кривой определить температуру кристаллизации, которая соответствует горизонтальному участку кривой (при затвердевании чистого металла или сплава эвтектического состава) или точкам перегиба кривой (для всех сплавов, кроме эвтектического); в последнем случае определить две температуры – начала и конца затвердевания. Если запись производили по показаниям гальванометра в милливольтметрах, то температуры критических точек определяют путем перевода милливольт в градусы по градуировочным кривым в координатах температура–т.э.д.с. (рисунок 6). Для каждой установки (термопары и гальванометра) должна быть своя градуировочная кривая.

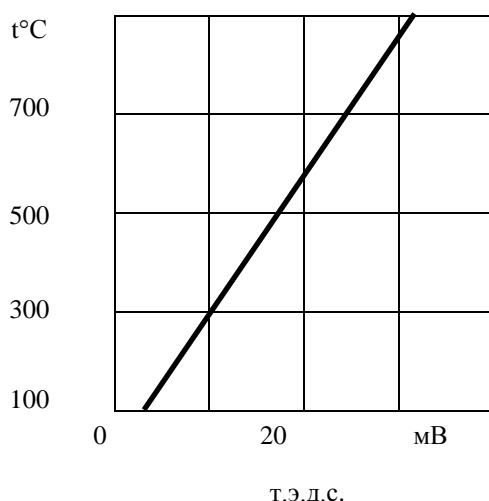


Рисунок 6 – Градуировочная кривая хромель–алюмелевой термопары

2.7 По кривым охлаждения построить диаграмму состояния сплавов Pb–Sb.

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Краткие теоретические сведения: назначение метода термоанализа; диаграмма состояния Pb–Sb; схема установки для исследования.

3.2 Протокол опытных данных, кривые охлаждения и диаграмма состояния сплавов свинец–сурьма.

3.3 Определить число возможных степеней свободы системы по заданной концентрации свинца (вариант задается преподавателем см. приложение А, таблица 1).

3.4 Анализ превращений при охлаждении или нагревании данного сплава (см. п. 1.3). Выводы по проделанной работе.

#### 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Сущность термического метода. Критические точки.
- 2 Устройство термоэлектрического пирометра.
- 3 Устройство термопары.
- 4 Принцип работы термопары.
- 5 Принцип работы гальванометра.
- 6 Схема установки для определения критических точек.
- 7 Методика построения кривых охлаждения.
- 8 Методика построения диаграммы состояния Pb–Sb.
- 9 Основные линии диаграммы Pb–Sb. Фазовые превращения.
- 10 Определения: фаза, эвтектика. Примеры.
- 11 Линия солидус и линия ликвидус.
- 12 Правило Гиббса. Применение и назначение.
- 13 Особенности кривых охлаждения чистых металлов и сплавов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009
- 3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012

#### ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Варианты заданий

|                    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| № варианта         | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| Концентрация Pb, % | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 | 50 | 55 |
| № варианта         | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| Концентрация Pb, % | 65 | 70 | 75 | 80 | 87 | 90 | 95 | 35 | 45 |

# АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

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

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1 Диаграмма состояния железо-цементит

Диаграмма состояния представляет собой графическую зависимость состояния сплавов системы от их концентрации (химического состава) и температуры (рисунок 1). В настоящей лабораторной работе рассматривается упрощенная схема диаграммы (без левой верхней кривой).

Левая крайняя точка на горизонтальной оси соответствует 100 % содержанию одного компонента (в данном случае – железа), правая – 100 % второго (углерод или цементит). Процентное содержание компонента откладывается по этой оси слева направо.

Диаграмма состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C характеризует фазовый состав и превращения в системе железо-цементит (6,69 % C). Ее особенностью является наличие на оси состава двух шкал, показывающих процентное содержание углерода и цементита. Эта особенность объясняется тем, что при взаимодействии железа с углеродом в сплавах последний может растворяться в кристаллических решетках железа по механизму внедрения и образовывать железоуглеродистые соединения, в частности цементит Fe<sub>3</sub>C, который содержит наименьшее количество углерода (6,69 % C). Поэтому можно рассматривать часть диаграммы состояния от железа до цементита как самостоятельную диаграмму Fe–Fe<sub>3</sub>C.

Система Fe–Fe<sub>3</sub>C является метастабильной, так как при определенных условиях нагрева цементит неустойчив и распадается с образованием свободного углерода – графита. При охлаждении обратного процесса в действительности не происходит (то есть он не является полностью обратимым). Система железо–углерод – стабильная.



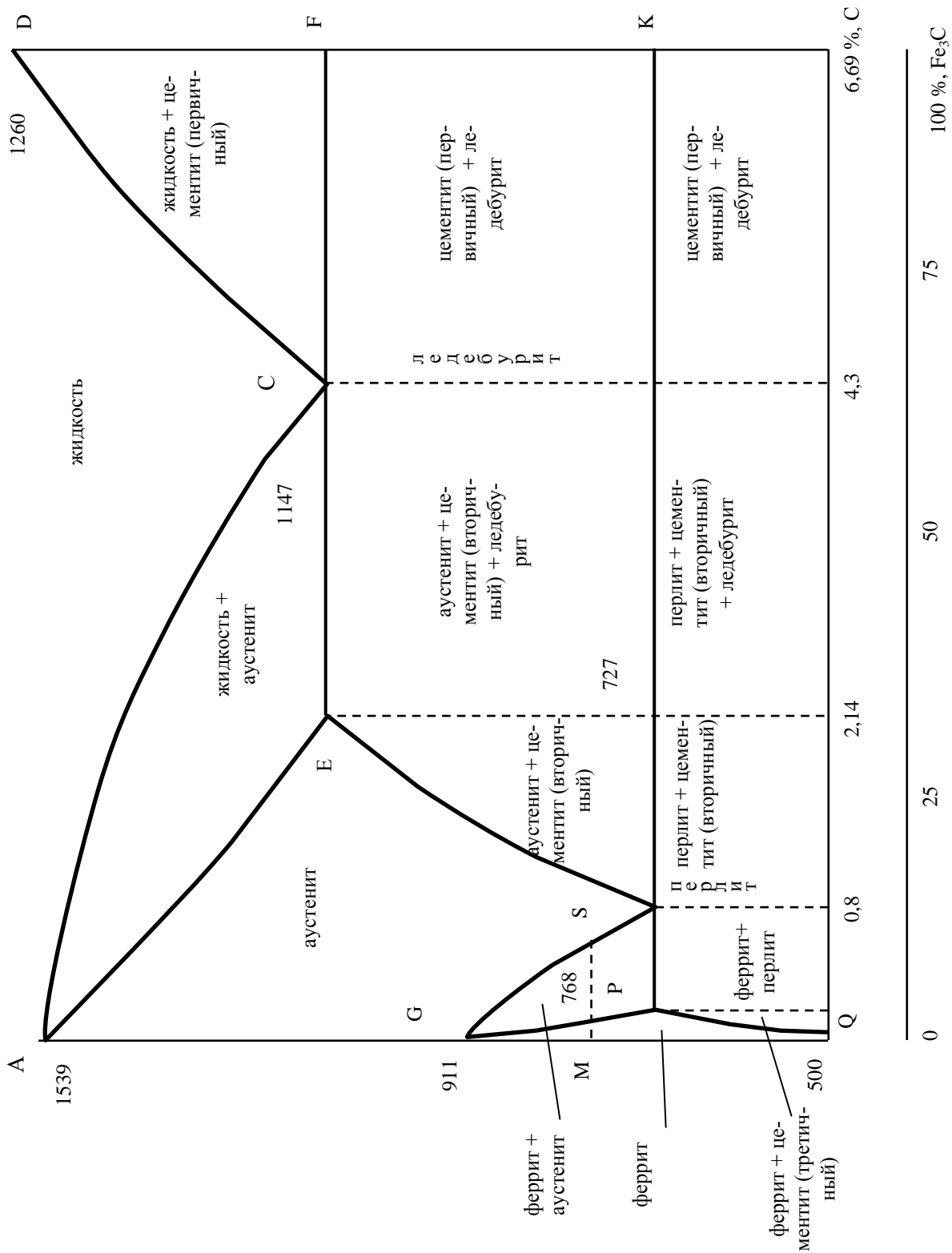


Рисунок 1 – Диаграмма состояния железо-цементит

Основными *компонентами*, определяющими тип диаграммы Fe–Fe<sub>3</sub>C, являются полиморфные элементы: железо и углерод.

**ЖЕЛЕЗО** – блестящий светло-серый металл. Атомный номер 26. Плотность  $\rho = 7840 \text{ кг/м}^3$ . Температура плавления  $t_{\text{пл}} = 1539^\circ \text{ C}$ , температура кипения  $t_{\text{кип}} = 2880^\circ \text{ C}$ . Механические свойства железа зависят от его чистоты. Временное сопротивление

при растяжении  $\sigma_B = 300 \dots 400$  МПа; предел текучести –  $\sigma_{0,2} = 100 \dots 250$  МПа; относительное удлинение –  $\delta = 30 \dots 50$  %; относительное сужение –  $\psi = 70 \dots 80$  %; твердость –  $60 \dots 90$  НВ. Железо имеет две модификации  $Fe_\alpha$  и  $Fe_\gamma$ .

**$Fe_\alpha$  ( $\alpha$ -железо)**, с кубической объемноцентрированной решеткой (О.Ц.К.), существует при температуре до  $911^\circ$  С и в интервале температур от  $1392^\circ$  С до  $1539^\circ$  С. Важной особенностью  $Fe_\alpha$  является ферромагнетизм ниже  $t = 768^\circ$  С (точка Кюри).

**$Fe_\gamma$  ( $\gamma$ -железо)** имеет кубическую гранецентрированную решетку (Г.Ц.К.) и существует при температуре от  $911^\circ$  С до  $1392^\circ$  С.

**УГЛЕРОД** – неметалл. Атомный номер 6. Плотность  $\rho = 2600$  кг/м<sup>3</sup>. Температура плавления  $t_{пл} = 4000^\circ$  С, температура кипения  $t_{кип} = 4200^\circ$  С. Существуют в двух модификациях: графит и алмаз. При нормальных условиях устойчивым является графит. Алмаз получают при высоких давлениях и температурах. В железоуглеродистых сплавах находится в химически связанном или свободном состояниях.

В зависимости от температуры и содержания углерода железоуглеродистые сплавы образуют ряд структурных составляющих.

– **ФЕРРИТ (Ф)** – твердый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железо, с ограниченной растворимостью, обусловленной малым размером межатомных пор в ОЦК. Магнитен. Максимальная концентрация углерода – 0,025 % при  $t = 727^\circ$  С. Феррит мягкая пластичная форма:  $\sigma_B = 300$  МПа;  $\delta = 40$  %;  $\psi = 80$  %; КСУ = 2,5 МДж/м<sup>2</sup>;  $80 \dots 100$  НВ. На диаграмме состояния занимает область GPQ (рисунок 1).

– **АУСТЕНИТ (А)** – твердый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железо. Имеет ГЦК решетку, растворимость углерода достигает 2,14 %. С понижением температуры концентрация углерода снижается до 0,8 %. Пластичен –  $\delta = 40 \dots 50$  %; значительно тверже феррита –  $160 \dots 200$  НВ;  $\sigma_B = 600$  МПа. Сталь со структурой аустенита немагнитна. На диаграмме состояния занимает область AESG (рисунок 1).

– **ЦЕМЕНТИТ (Ц)** – карбид железа  $Fe_3C$ , химическое соединение железа с углеродом. Содержит 6,69 % С и имеет сложную ромбическую решетку. Очень твердый –  $800$  НВ и хрупкий  $\delta = 0$  %;  $\sigma_B = 30 \dots 50$  МПа;  $t_{пл} = 1260^\circ$ С. Цементит

слабо ферромагнитен до  $t = 210^\circ \text{C}$ .

В зависимости от условий образования различают цементит:

1 *первичный*, образуется из жидкости при затвердевании расплавленного сплава (по линии CD);

2 *вторичный*, выделяется при распаде аустенита (линия SE);

3 *третичный*, образуется при выделении углерода из феррита (линия QR).

– *ПЕРЛИТ* (П) – эвтектоидная механическая смесь феррита и цементита, содержащая 0,8 % С. Образуется при температуре  $727^\circ \text{C}$  в результате распада аустенита в процессе его охлаждения. Перлит может быть пластинчатым или зернистым. Механические свойства перлита:  $\sigma_B = 800 \dots 900 \text{ МПа}$ ;  $\sigma_{0,2} = 450 \text{ МПа}$ ;  $\delta = 15 \%$ ;  $180 \dots 220 \text{ НВ}$ .

– *ЛЕДЕБУРИТ* (Л) – эвтектическая механическая смесь аустенита и цементита, образующаяся из жидкого расплава при температуре  $1147^\circ \text{C}$  и при концентрации углерода 4,3 %. Так как при температуре ниже  $727^\circ \text{C}$  аустенит превращает перлит, то ледебурит ниже эвтектоидной прямой Е'К состоит из цементита и перлита. Ледебурит очень твердая (более 700 НВ) и хрупкая ( $\delta = 1 \dots 2 \%$ ) структура.

– *ГРАФИТ* (Г) представляет собой свободный углерод. В чугунах и графитизированной стали содержится в виде включений, форма которых влияет на механические и технологические свойства сплавов.

На диаграмме железо–цементит можно выделить следующие фазы:

- **Ж** – жидкая находится выше линий **АВСД**;
- **А** – аустенит, участок **АЕGS**;
- **Ф** – феррит, область, ограниченная точками **GRQ**;
- **Ц** – цементит;
- **Г** – графит.

Помимо упомянутых составляющих, в железоуглеродистых сплавах могут быть неметаллические включения – соединения с кислородом, азотом, серой, фосфором.

Основные точки диаграммы состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C обозначают латинскими буквами. Точка **А** определяет температуру плавления чистого железа; **Д** – тем-

пературу плавления цементита; **G** – температуру полиморфного превращения железа; **P** – характеризует предельную концентрацию углерода в феррите; **E** – наибольшую концентрацию углерода в аустените (стали). Превращения в сплавах системы Fe–Fe<sub>3</sub>C происходят как при затвердевании жидкой фазы, так и в твердом состоянии. Их координаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Фазовые превращения в точках диаграммы железо–цементит

| Обозначение точек | Фазовые превращения в точках (при нагревании и охлаждении)                              | Содержание углерода, % | Сопутствующая температура в точках | Перечень фаз                             | Количество фаз | Число степеней свободы |
|-------------------|---|------------------------|------------------------------------|--|----------------|------------------------|
| A                 | Температура плавления и затвердевания чистого железа                                    | 0                      | 1539                               | Жидкость + кристаллы железа              | 2              | –                      |
| D                 | Температура плавления и затвердевания цементита   | 6,67                   | 1600                               | Жидкость + цементит (первичный)          | 2              | –                      |
| C                 | Плавление и образование ледебурита  | 4,3                    | 1147                               | Жидкость + цементит + аустенит           | 3              | 0                      |
| E                 | Максимальное растворение углерода в аустените   | 2,14                   | 1147                               | Жидкость + аустенит + цементит           | 3              | 0                      |
| S                 | Минимальное растворение углерода в аустените  | 0,8                    | 727                                | Аустенит + феррит + цементит             | 3              | 0                      |
| G                 | Превращение $\gamma$ -железа в $\alpha$ -железо или $\alpha$ -железа в $\gamma$ -железо | 0                      | 911                                | $\gamma$ -железо + $\alpha$ -железо      | 2              | –                      |
| P                 | Максимальное растворение углерода в $\alpha$ -железе                                    | 0,025                  | 727                                | Аустенит + феррит + цементит (вторичный) | 3              | 0                      |
| Q                 | Минимальное растворение углерода в $\alpha$ -железе                                     | 0,006                  | 0                                  | Феррит + цементит (третичный)            | 2              | 1                      |
| K                 | Нет фазовых превращений   | 6,67                   | 727                                | Цементит (первичный)                     | 1              | –                      |
| F                 | Нет фазовых превращений   | 6,67                   | 1147                               | Цементит (первичный)                     | 1              | –                      |
| M                 | Магнитное превращение   | 0                      | 768                                | Чистое железо                            | 1              | –                      |

Первичная кристаллизация идет в интервале температур, определяемых на линиях *ликвидус* (**ACD**) и *солидус* (**AECF**). По линии **GSE** происходит начало, а по линии **PSK** конец вторичной кристаллизации. Вторичная кристаллизация вызвана превращением железа одной модификации в другую и переменной растворимостью углерода в аустените и феррите.

В твердых растворах избыток углерода выделяется в виде цементита. Линии **ES** и **PQ** характеризуют изменение концентрации углерода соответственно в аустените и феррите. Состав цементита почти не меняется и определяется линией **DFKL**.

В системе Fe–Fe<sub>3</sub>C происходят два изотермических превращения:

- *эвтектическое*, при  $t = 1147^\circ \text{C}$ , линия **ESF**;
- *эвтектоидное*, при  $t = 727^\circ \text{C}$ , линия **PSK**.

Краткая характеристика фазовых превращений на линиях диаграммы железо–цементит дана в таблице 2.

Таблица 2 – Фазовые превращения на линиях диаграммы Fe–Fe<sub>3</sub>C

| Обозначение линий | Фазовые превращения на линиях (при охлаждении)  | Перечень фаз                   | Количество фаз | Число степеней свободы |
|-------------------|---|--------------------------------|----------------|------------------------|
| AC                | Начало выделения аустенита из жидкости  | Аустенит + жидкость            | 2              | 1                      |
| AE                | Конец выделения аустенита из жидкости   | Аустенит + жидкость            | 2              | 1                      |
| EC                | Конец выделения аустенита из жидкости и образование ледебурита                          | Аустенит + цементит + жидкость | 3              | 0                      |
| CD                | Начало выделения цементита (первичного) из жидкости                                     | Жидкость + цементит            | 2              | 1                      |
| CF                | Конец выделения цементита (первичного) из жидкости и образование ледебурита из жидкости | Жидкость + цементит + аустенит | 3              | 0                      |
| ECSF              | Образование ледебурита из жидкости  | Жидкость + аустенит + цементит | 3              | 0                      |
| GS                | Начало выделения феррита из аустенита   | Аустенит + феррит              | 2              | 1                      |
| PS                | Конец выделения феррита из аустенита и образование перлита из аустенита                 | Аустенит + феррит + цементит   | 3              | 0                      |

|     |  |                              |   |   |
|-----|--|------------------------------|---|---|
| PSK | Образование перлита из аустенита   | Аустенит + феррит + цементит | 3 | 0 |
| SE  | Начало выделения цементита (вторичного) из аустенита                                   | Аустенит + цементит          | 2 | 1 |
| SK  | Конец выделения цементита (вторичного) из аустенита и образование перлита из аустенита | Аустенит + цементит + феррит | 3 | 0 |
| PQ  | Начало выделения цементита (третьичного) из феррита                                    | Феррит + цементит            | 2 | 1 |

## 1.2 Построение кривых охлаждения

Диаграмма состояния характеризует процессы превращений, протекающих различно в зависимости от состава сплава. Следовательно, сплавы могут иметь разные по характеру температурные кривые охлаждения (нагревания).

Кристаллизация сплавов происходит в интервале температур. Этот процесс идет с выделением тепла, с замедлением скорости охлаждения сплава, что меняет наклон кривой охлаждения. Точки пересечения линии сплава с кривыми линиями диаграммы состояния соответствуют перегибам на кривых охлаждения.

В сплавах, образующих эвтектику, в момент окончания затвердевания, в равновесии находятся три фазы. Согласно правилу фаз Гиббса число степеней свободы в этом случае равно нулю. Поэтому окончание первичной кристаллизации происходит при постоянной температуре, а на кривой охлаждения наблюдается горизонтальный участок (остановка) при этой температуре. Следовательно, пересечение линией сплава горизонтальных линий на диаграмме состояния дают на кривых охлаждения горизонтальные площадки.

При вторичной кристаллизации также наблюдается остановка на кривой охлаждения, но в силу того, что тепловой эффект превращения в твердом состоянии меньше, горизонтальная площадка на кривой охлаждения принимается в меньшем масштабе.

Критические точки на линиях диаграммы принято обозначать буквой А с индексом  $\gamma$ , если точка находится на кривой охлаждения, и индексом  $\alpha$  – на кривой нагрева. Например: критическую точку перехода  $\alpha$ –железа в  $\gamma$ –железо при  $911^\circ\text{C}$  при нагреве обозначают  $A_{C3}$ , при охлаждении –  $Ar_3$ .

### 1.3 Правило отрезков

Для определения количества (массы) фаз и структурных составляющих сплава используют правило отрезков коноды. *Конода* – это отрезок горизонтальной линии, проведенной внутри двухфазной области диаграммы состояния до пересечения с линиями ее границ. Общую массу сплава приравнивают к дине коноды. Количество жидкой фазы  $Q_{\text{ж}}$  и твердой фазы  $Q_{\text{ТВ}}$  определяют отрезками коноды, которые образовались при пересечении коноды с линией сплава (рисунок 2).

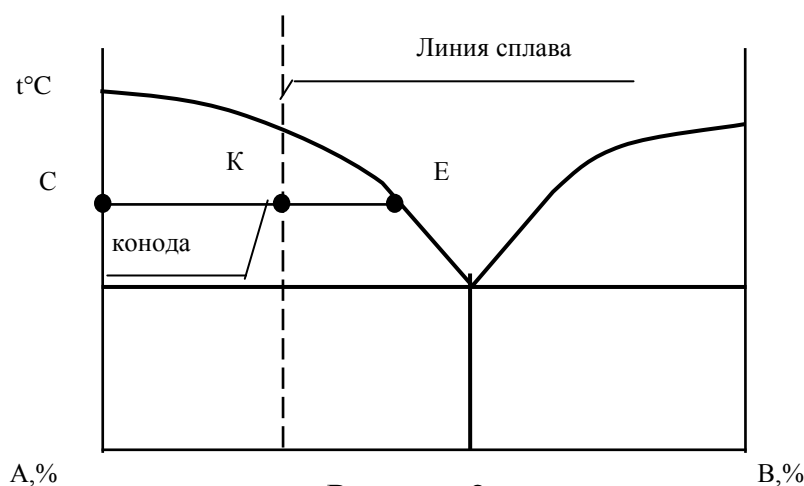


Рисунок 2

Количество жидкой фазы равно отношению длины отрезка коноды ( $\overline{СК}$ ), примыкающей к точке состава твердой фазы, к длине всей коноды ( $\overline{СЕ}$ ):

$$Q_{\text{ж}} = \frac{\overline{СК}}{\overline{СЕ}} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Количество твердой фазы равно отношению длины коноды, примыкающей к точке состава жидкой фазы ( $\overline{КЕ}$ ), к длине всей коноды:

$$Q_{\text{ТВ}} = \frac{\overline{КЕ}}{\overline{СЕ}} \cdot 100\% . \quad (2)$$

Или, говоря иначе, отрезки коноды между точкой К и точками С и Е, определяющими состав фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз:

$$\frac{Q_{\text{ж}}}{Q_{\text{ТВ}}} = \frac{\overline{СК}}{\overline{КЕ}} . \quad (3)$$

Правило отрезков применяется только для двухфазных областей диаграммы состояния.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Вычертить диаграмму состояния железо–цементит.

2.2 Охарактеризовать фазы и структуры железоуглеродистых сплавов и их свойства.

2.3 Изучить структурные превращения сплавов по диаграмме железо–цементит при нагревании и охлаждении.

2.4 Построить кривые охлаждения для двух заданных сплавов, дать описание процессов превращений с применением правила фаз.

2.5 Определить процентный и количественный состав сплавов при соответствующей температуре и концентрации, используя правило отрезков. Номер варианта выбирается преподавателем (приложение А, таблица 1)

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Схема диаграммы состояния.

3.2 Краткое описание фаз, структур и их свойств.

3.3 Кривые охлаждения.

3.4 Описание превращений при кристаллизации.

3.5 Состав сплава.

3.6 Выводы по работе.

## **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Основные компоненты железоуглеродистых сплавов.

2 Краткие характеристики фаз диаграммы железо–цементит.

3 Различие между  $\alpha$ -железом и  $\gamma$ -железом.

4 Дать определение стали.

5 Какая точка на диаграмме состояния определяет температуру полиморфного превращения железа? Температуру плавления?

6 По какой линии идет первичная кристаллизация?

7 По каким линиям определяется концентрация углерода в аустените и феррите?



- 8 Когда выделяются цементит первичный, вторичный, третичный?
- 9 Какие изотермические превращения, и по каким линиям происходят в сплавах?
- 10 Что такое эвтектика?
- 11 Что такое эвтектоид?
- 12 Построение кривой охлаждения (нагрева).
- 13 Почему пересечение линией сплава горизонтальных линий на диаграмме состояния дают площадку на кривой охлаждения?
- 14 Почему стали обладают пластичностью, а чугуны хрупкие?
- 15 Правило отрезков.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009
- 3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Варианты заданий

|   |          |           |           |           |           |           |           |           |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| № варианта                                  | <i>1</i> | <i>2</i>  | <i>3</i>  | <i>4</i>  | <i>5</i>  | <i>6</i>  | <i>7</i>  | <i>8</i>  |
| Сплавы с содержанием углерода, %            | 0,05     | 0,10      | 0,20      | 0,30      | 0,40      | 0,50      | 0,60      | 0,70      |
|   | 2,3      | 2,6       | 2,8       | 3,0       | 3,2       | 3,5       | 3,8       | 4,3       |
| Координаты точки (% углерода и температура) | 2,3%     | 0,1%      | 2,8%      | 0,3%      | 3,2%      | 0,5%      | 3,8%      | 0,7%      |
|   | 800°     | 700°      | 1200°     | 800°      | 1000°     | 750°      | 900°      | 650°      |
| № варианта                                  | <i>9</i> | <i>10</i> | <i>11</i> | <i>12</i> | <i>13</i> | <i>14</i> | <i>15</i> | <i>16</i> |
| Сплавы с содержанием углерода, %            | 0,80     | 1,0       | 1,2       | 1,5       | 1,3       | 1,6       | 1,8       | 1,9       |
|   | 4,0      | 4,6       | 5,0       | 5,4       | 2         | 2,14      | 6         | 4,2       |
| Координаты точки (% углерода и температура) | 4%       | 1%        | 1,2%      | 5,4%      | 2%        | 1,6%      | 6%        | 1,9%      |
|   | 1100°    | 750°      | 1400°     | 1200°     | 1000°     | 1300°     | 900°      | 700°      |

# МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ И ИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

*Цель работы:* научиться проводить микроанализ углеродистых сталей, определять тип сплава, содержание углерода, марку стали (примерно) и механические свойства.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* металлографический микроскоп; набор микрошлифов углеродистых сталей.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Микроструктуру технически чистого железа (до 0,02 % углерода) и углеродистых сталей в равновесном состоянии определяют по нижней левой части диаграммы состояния железо–цементит ( $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ ) (рисунок 1. а).

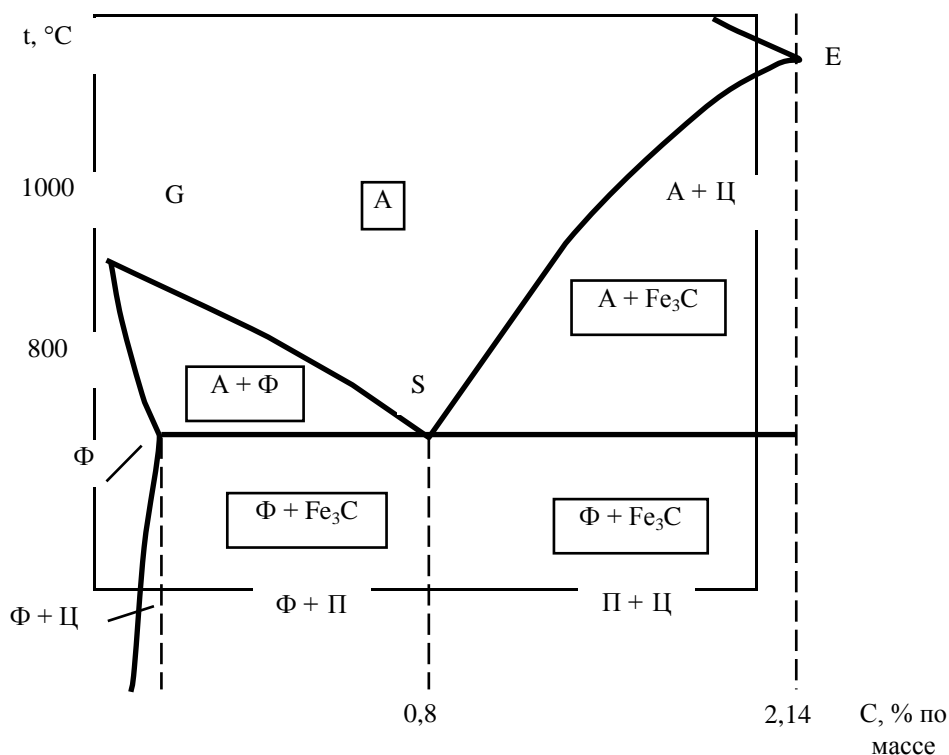


Рисунок 1 – Часть диаграммы  $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$

*Равновесное состояние* – это состояние, когда фазы имеют минимальную свободную энергию в определенных термодинамических условиях (данных термодинамических условиях).

Структурными составляющими углеродистых сталей являются: *феррит*, *цементит* и *перлит* (рисунок 1. а). (При этом стали должны находиться в отожженном состоянии, для получения равновесных структур).

Под микроскопом феррит в технически чистом железе (армко-железо) имеет вид *однородных зерен* с хорошо различимыми границами (рисунок 2. а), в углеродистых сталях (рисунок 2. б – е) вид *светлых участков*.

*Цементит* в углеродистых сталях представлен в виде *пластинок* или *сетки* (реже в виде зерен) и имеет *светлый оттенок* (рисунок 2. з, и). *Перлит* – структура мелкодисперсная, поэтому он имеет вид *темных участков* (рисунок 2. б–з). При травлении перлитной стали поверхность имеет перламутровый отлив, в связи с чем, такую структуру и назвали перлитом. Травление перлита создает микрорельеф ввиду того, что феррит, имеющий меньший электрохимический потенциал, чем цементит, растворяется более интенсивно

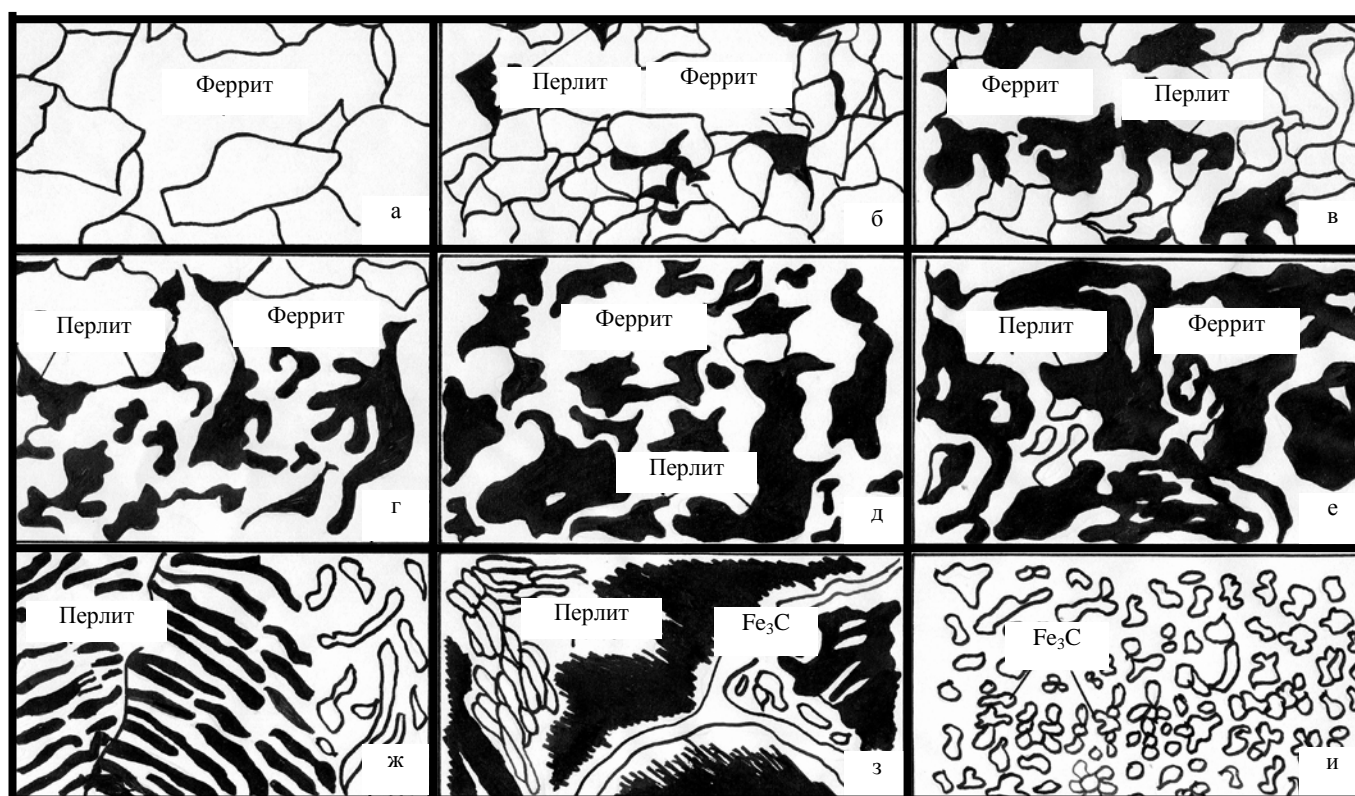


Рисунок 2 – Микроструктура стали в зависимости от содержания углерода. х450: а – техническое железо; б–е – доэвтектоидные стали (б – 0,1 % С; в – 0,22 % С; г – 0,3 % С; д – 0,4 % С; е – 0,55 % С); ж – эвтектоидная сталь (0,8 % С); з–и – заэвтектоидная сталь (з – 1,3 % С; и – 2,1 % С).

Кроме этого, интенсивно растравливаются границы между цементитом и ферритом, что создает тени от выступов (цементитных пластин) на углубленные (феррит) места (рисунок 3).

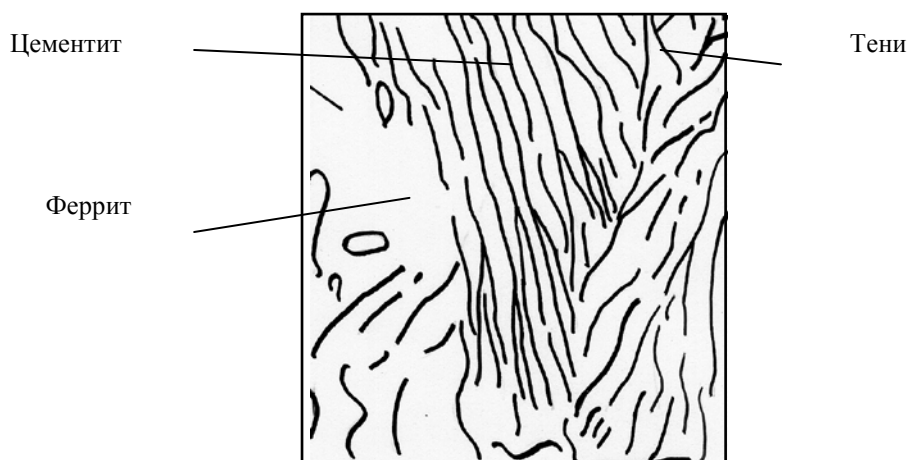


Рисунок 3 – Микроструктура перлита при увеличении x2000

Фазовыми составляющими углеродистых сталей являются *феррит* и *цементит* (на рисунке 1. а, показаны в рамочке).

В зависимости от содержания углерода стали делятся на три группы: *низкоуглеродистые*, *среднеуглеродистые* и стали с *высоким содержанием углерода*.

– *Низкоуглеродистые стали* – содержание углерода менее 0,25 %, имеют невысокую прочность ( $\sigma_B = 330...340$  МПа) и высокую пластичность ( $\delta = 33...31$  %). Применяют для изготовления малонагруженных деталей, холодной штамповки, а также для деталей, упрочняемых цементацией.

– *Среднеуглеродистые стали* – содержание углерода от 0,3 % до 0,5 %, имеют достаточно высокую прочность ( $\sigma_B = 500...610$  МПа) и относительно небольшую пластичность ( $\delta = 21...16$  %). Применяют после нормализации, улучшения и поверхностной закалки для самых разнообразных деталей фактически во всех отраслях машиностроения.

– *Стали с высоким содержанием углерода* – содержание углерода от 0,6 % до 0,85 %, обладают повышенной прочностью ( $\sigma_B = 1000...1150$  МПа) и низкой пластичностью ( $\delta = 10...8$  %), высокой износостойкостью. Применяют после термической обработки для деталей, работающих в условиях трения при наличии высоких статических и вибрационных нагрузок (пружины, рессоры, шпиндели и т.п.).

По структуре стали делятся на *доэвтектоидные*, *эвтектоидные* и *заэвтектоидные*.

– *Доэвтектоидные* стали содержат от 0,25 до 0,8 % углерода. Структура этих сталей состоит из светлых зерен феррита и темных зерен перлита. С увеличением содержания углерода уменьшается количество феррита и соответственно возрастает количество перлита (рисунок 2. б – е).

По микроструктуре доэвтектоидной стали можно с достаточной степенью точности определить содержание в ней углерода. Ввиду того, что в феррите растворено незначительное количество углерода (от 0,006 до 0,02 %) практически весь углерод в доэвтектоидной стали находится в перлите. Тогда количество углерода  $C$  можно определить по формуле

$$C = \frac{F_{\Pi} \cdot 0,8}{100}, \% , \quad (1)$$

где  $F_{\Pi}$  – площадь, занимаемая перлитом, % (определяется ориентировочно по изучаемой структуре);

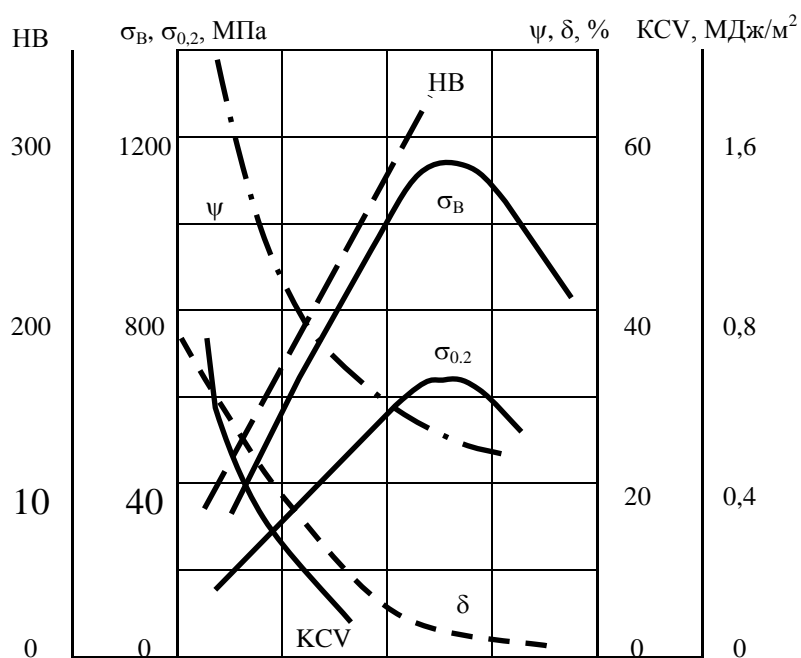
0,8 – процентное содержание углерода в перлите.

– *Эвтектоидная сталь* содержит 0,8 % углерода и состоит только из перлита, имеющего пластинчатое строение (рисунок 2. ж). Пластины цементита в перлите могут быть длиннее или короче, тоньше или толще в зависимости от скорости охлаждения.

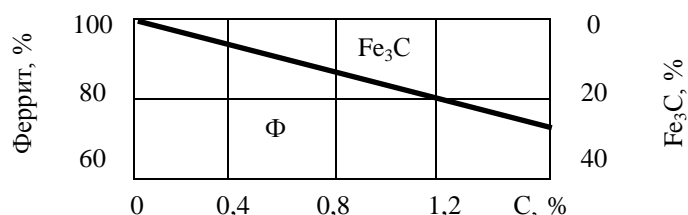
– *Заэвтектоидные стали* содержат от 0,8 до 2,14 % углерода. (Обычно стали содержат не более 1,3 % углерода). Их структура состоит из перлита и вторичного цементита (рисунок 2. з, и). При медленном охлаждении вторичный цементит располагается по границам зерен перлита в виде сетки или ручейков белого цвета – *цементитной сетки*. Чем больше углерода в заэвтектоидной стали, тем более массивной (толстой) получается цементитная сетка и меньше образуется перлита.

Структура стали, как уже указывалось, состоит из двух фаз – феррита и цементита. Частицы цементита повышают сопротивление деформации, однако, уменьшают пластичность и вязкость (рисунок 4).

Поэтому увеличение углерода приводит к росту твердости (НВ), предела прочности ( $\sigma_B$ ), предела текучести ( $\sigma_{0,2}$ ) и снижению относительного удлинения ( $\delta$ ), относительного сужения ( $\psi$ ), ударной вязкости (KCV) (рисунок 4. а). Пределы прочности и текучести при содержании углерода более 1 % имеют тенденцию к снижению вследствие образования цементитной сетки, нарушающей в значительной мере сплошность сплава. Количество цементита возрастает прямо пропорционально содержанию углерода (рисунок 4. б).



а)



б)

Рисунок 4 – Влияние углерода на механические свойства стали (а) и соотношение между ферритом и цементитом в сталях (б)

Предел выносливости ( $\sigma_{-1}$ ) с повышением содержания углерода до 0,55...0,65 % возрастает, а при большем содержании углерода (более 0,8 %) снижается (рисунок 5).

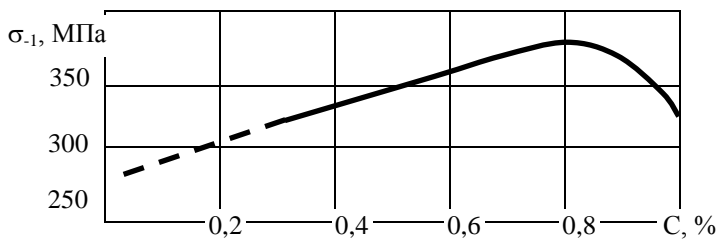


Рисунок 5 – Влияние углерода на предел выносливости ( $\sigma_{-1}$ )

Увеличение углерода приводит к падению трещиностойкости. С повышением содержания углерода облегчается переход стали в хладноломкое состояние. Каждая 0,1 процента С повышает порог хладноломкости ( $t_{50}$ ) на 20 % и расширяет переходный интервал от вязкого к хрупкому состоянию.

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Рассмотреть и изучить микрошлифы под микроскопом, определить структурные составляющие (увеличение не менее 300).

2.2 Определить класс стали (доэвтектоидная, эвтектоидная, заэвтектоидная), пользуясь рисунком 2.

2.3 Определить количество углерода в стали: для доэвтектоидной стали – по формуле 1; для заэвтектоидной стали – по рисунку 1 приложения А. (Задание выдает преподаватель индивидуально каждому студенту). Указать количество фаз и структурных составляющих.

2.4 Определить примерные механические свойства заданной стали по рисункам 4 и 5.

## 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Участок диаграммы железо–цементит для сталей.

3.2 Рисунки микроструктуры с указанием структурных составляющих и класса стали (приложение Б, таблица 1).

3.3 Количество углерода, фаз и структурных составляющих для данного образца (приложение Б, таблица 1).

3.4 График механических свойств в зависимости от количества углерода с указанием свойств данного образца.

3.5

#### **4КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Содержание углерода в технически чистом железе.
- 2 Понятие о равновесных структурах.
- 3 Структурные составляющие сталей.
- 4 Какой цвет имеют феррит, цементит и перлит?
- 5 Фазовые составляющие углеродистых сталей.
- 6 Классификация сталей по содержанию углерода.
- 7 Низкоуглеродистые стали – характеристика.
- 8 Среднеуглеродистые стали – характеристика.
- 9 Стали с высоким содержанием углерода.
- 10 Классификация сталей по структуре.
- 11 Доэвтектоидные стали.
- 12 Эвтектоидные стали.
- 13 Заэвтектоидные стали.
- 14 Методика определения количества углерода в доэвтектоидных сталях.
- 15 Влияние углерода на механические свойства сталей.
- 16 Причина снижения  $\sigma_{\text{в}}$  и  $\sigma_{02}$  при содержании углерода более 1 %.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Самохоцкий А.И., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металлвоведению и термической обработке металлов. – М.: Машиностроение, 1981.
- 2 Практикум по технологии конструкционных материалов и материалововедению / Под ред. С.С. Некрасова. – М.: Колос, 1988.
- 3 Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990.
- 4 Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. Материаловедение. – М.: Металлургия, 1989.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

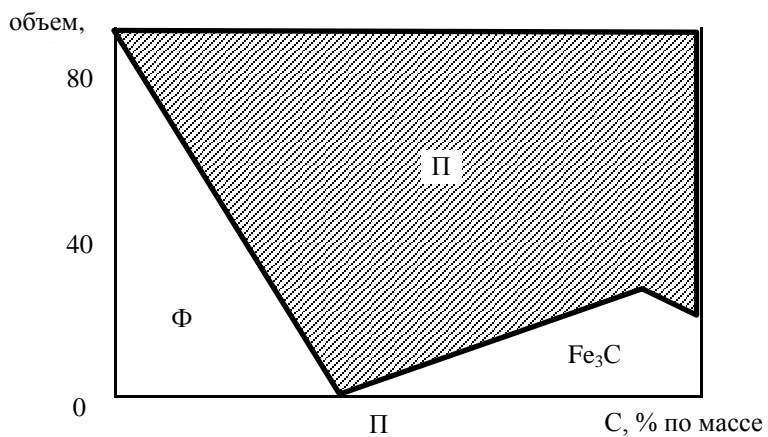


Рисунок 1

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 1 – Протокол испытаний

| № образца | Класс стали | Микроструктура | Содержание углерода, % | Фазы | Структурные составляющие |
|-----------|-------------|----------------|------------------------|------|--------------------------|
|           |             |                |                        |      |                          |
|           |             |                |                        |      |                          |

# АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЧУГУНОВ

*Цель работы:* изучить микроструктуры чугунов; уметь определять по структуре вид чугуна; дать приближенную, сравнительную оценку механических свойств рассматриваемых чугунов и установить область их применения.

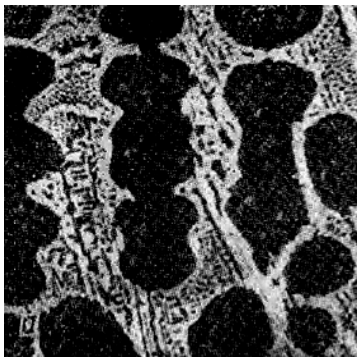
*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* металлографический микроскоп; набор микрошлифов.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

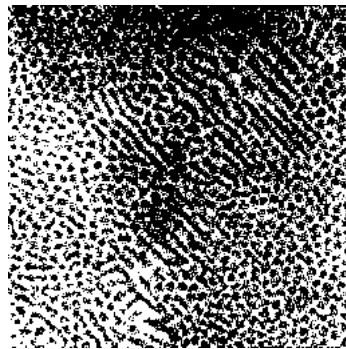
Сплавы железа с углеродом, содержащие более 2,14 % углерода, называют *чугунами*. Наличие эвтектики в структуре чугуна обуславливает его использование в качестве литейного сплава. В результате различных условий кристаллизации в структуре чугунов углерод может находиться как в связанном, так и в свободном состоянии (в виде графита). Наличие углерода в связанном или свободном состоянии определяет название чугунов (излом чугунов, где углерод связан – носит белый, блестящий вид; излом чугунов, где углерод находится в несвязанном состоянии – серый): *белый, половинчатый, серый*. Чугуны так же, как и стали, подвергают легированию. Легирование осуществляется следующими металлами: хромом, кремнием, алюминием, марганцем и никелем.

### 1.1 Белый чугун

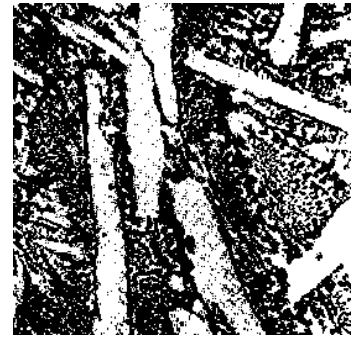
Весь углерод в белом чугуне находится в связанном состоянии в виде цементита –  $Fe_3C$ . Наличие большого количества цементита обуславливает значительную его твердость (НВ 450...500), хрупкость, и он не поддается обработке резанием. Вследствие этого белый чугун для изготовления деталей машин не используется. По структуре белые чугуны подразделяются на: *доэвтектические*, структура – перлит, цементит, ледебурит; *эвтектические*, структура – ледебурит; *заэвтектические*, структура – цементит, ледебурит (рисунок 1). На шлифах темное поле – ледебурит, серое поле – перлит, белое поле – цементит.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Микроструктура белых чугунов: х500 а – доэвтектического 3 % С (перлит+ледебурит); б – эвтектического 4,3 % С (ледебурит); в – заэвтектического 5 % С (цементит+ледебурит)

## 1.2 Половинчатый чугун

*Половинчатым* называют чугун, в котором часть углерода находится в связанном состоянии (0,8 %), а другая – в свободном. Разновидностью половинчатых чугунов следует считать отбеленные чугуны, у которых поверхность отливки имеет структуру белого чугуна, а сердцевина структуру серого графитизированного чугуна. Отбеленные чугуны имеют применение при изготовлении деталей, хотя и весьма ограниченное. Из них изготавливают прокатные валки, тормозные колодки и другие детали, работающие в условиях износа. Структура половинчатых чугунов может быть представлена в виде перлита, цементита, графита или перлита, ледебурита и графита (рисунок 2).



Рисунок 2 – Микроструктура половинчатого чугуна. х500

### 1.3 Серые чугуны

Серые чугуны представляют собой группу чугунов, отличающихся друг от друга формой графитовых включений и свойствами. Различают три группы чугунов:

- 1 *серый чугун* – пластинчатый графит;
- 2 *ковкий чугун* – хлопьевидный графит;
- 3 *высокопрочный чугун* – шаровидный графит.

#### 1.3.1 Серый чугун

Эти чугуны имеют достаточно сложный химический состав и по сути представляют сплав Fe–C–Si при наличии постоянных примесей: Mn, P, S. Содержание этих элементов находится в следующих пределах: C – 2,2...3,7 %; Si – 1...3 %; Mn – 0,2...1,1 %; P – 0,02...0,3 % и S – 0,02...0,15 %. В небольших количествах также могут содержаться Cr, Ni и Cu. Эти элементы влияют на:

- 1) условия графитизации;
- 2) количество и дисперсность графитовых включений;
- 3) структуру металлической основы, что во многом определяет свойства чугунов.

*Углерод* – оказывает определяющее влияние на качество чугуна. Увеличение концентрации углерода приводит к увеличению графитовых включений и снижению механических свойств, однако, литейные свойства улучшаются.

*Кремний* – способствует графитизации (выделению графита в процессе остывания отливки).

*Марганец* – затрудняет графитизацию и улучшает свойства чугунов.

*Фосфор* – увеличение концентрации приводит к улучшению литейных свойств, но значительно возрастает твердость и хрупкость.

*Сера* – ухудшает литейные и механические свойства чугунов.

*Хром* – затрудняет графитизацию и повышает склонность к отбелу.

*Медь и никель* – способствуют графитизации.

Наряду с химическим составом, большое влияние на свойства и структуру чугуна оказывает технологический фактор – *скорость охлаждения*. Уменьшение ско-

рости охлаждения приводит к увеличению количества графита и уменьшению химически связанного углерода.

В микроструктуре серого чугуна (а также ковкого и высокопрочного) следует различать металлическую основу и включения графита (т.е. микроанализ таких чугунов должен проводиться двояким путем – по графиту и по металлической матрице).

По структуре серые чугуны делятся на три вида: *ферритный*, структура – феррит+графит (рисунок 3. а); *ферритно-перлитный*, структура – перлит+феррит+графит (рисунок 3. б); *перлитный*, структура – перлит+графит (рисунок 3. в).



а)

б)

в)

Рисунок 3 – Серый чугун с пластинчатым графитом. х500: а – ферритный; б – ферритно-перлитный; в – перлитный

Механические свойства серых чугунов зависят от структуры металлической матрицы и характера графитных включений (формы, размеров и количества). Причем решающее значение в данном случае имеют графитовые включения. С увеличением в структуре количества перлита возрастают значения твердости, прочности и износостойкости (таблица 1).

Таблица 1

| Чугун          | Ферритный | Ферритно-перлитный | Перлитный |
|----------------|-----------|--------------------|-----------|
| Твердость, НВ  | 160...230 | 180...250          | 220...290 |
| Прочность, МПа | 150       | 250                | 400       |

Графитовые включения действуют в чугуне как надрезы или трещины, пронизывающие металлическую матрицу и ослабляющие ее (графит обладает весьма низкими

механическими свойствами). Чем крупнее графитовые полости и менее равномерно распределены по объему, тем меньше прочность чугуна. При растяжении по концам графитовых включений формируются очаги разрушений. Поэтому серый чугун с пластинчатым графитом плохо сопротивляется растяжению. Гораздо меньшее влияние графита на механические характеристики проявляется при изгибе и сжатии. Например, прочность чугуна при сжатии в 4 раза выше, чем при растяжении.

Наличие графита обеспечивает чугуны и ряд ценных свойств. Он измельчает стружку при резании, повышает износостойкость, придает демпфирующую способность и в большей степени снижает чувствительность к дефектам поверхности (надрезам).

Этот вид чугунов имеет очень широкий диапазон применения от малонагруженных деталей типа фланцев и крышек до деталей, работающих при повышенных статических и динамических нагрузках – блоки цилиндров, станины станков.

Для улучшения свойств серых чугунов их подвергают *модифицированию* (введение в жидкий чугун специальных добавок). В качестве модификаторов используют ферросилиций и силикокальций. Наиболее сильным модификатором является магний. Модифицированные чугуны применяют для деталей, работающих в условиях высоких нагрузок и износа: гильзы цилиндров, шестерни, коленчатые валы.

Маркируются серые чугуны буквами СЧ (серый чугун) и цифрами, показывающими уменьшенное в 10 раз значение предела прочности на растяжение в МПа. Пример: СЧ 20 – серый чугун с пределом прочности 200 МПа.

### **1.3.2 Ковкий чугун**

*Ковкий чугун* – чугун, в котором графит имеет хлопьевидную форму. Хлопьевидный графит располагается более компактно и в меньшей мере, по сравнению с пластинчатым графитом, выполняет роль надрезов, поэтому графитовые полости в меньшей мере ослабляют металлическую матрицу. Ковкий чугун имеет более высокие показатели механических свойств по сравнению с серым чугуном (приложение А, таблица 1).

По структуре металлической основы ковкие чугуны бывают ферритные и пер-

литные (рисунок 4). (Микроанализ в ряде случаев проводится по графиту, так же как и у серых чугунов).

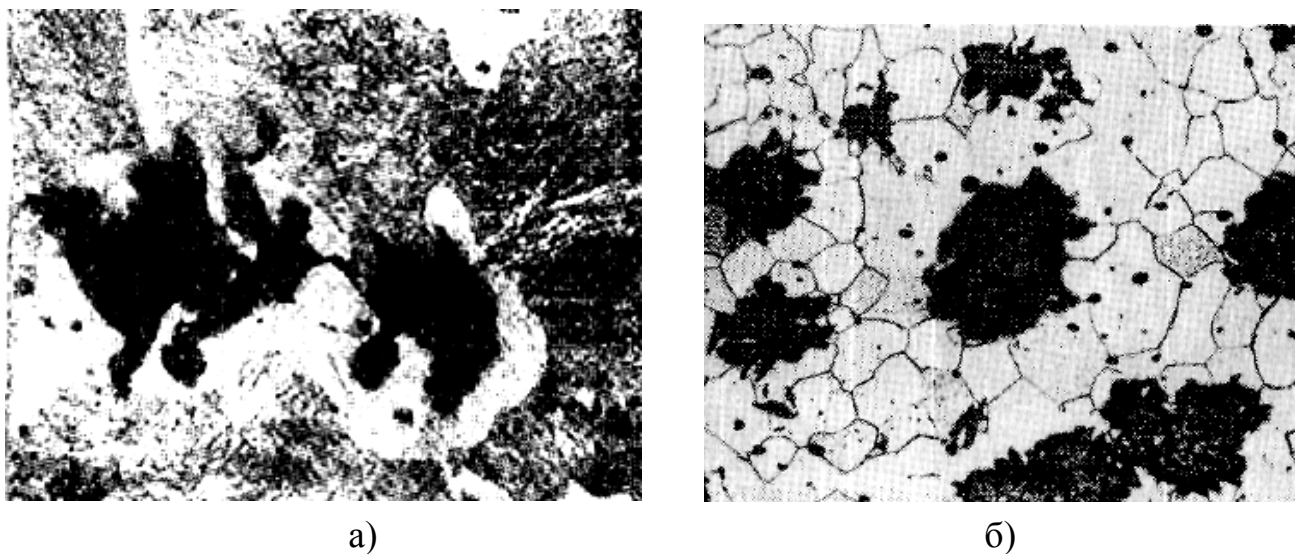


Рисунок 4 – Микроструктура ковких чугунов. x200: а – ферритного; б – перлитного

Получают ковкий чугун методом отжига из белого доэвтектического чугуна. При этом толщина стенок отливки не должна превышать 50 мм. Отжиг для получения ферритного чугуна проводится в несколько стадий (рисунок 5).

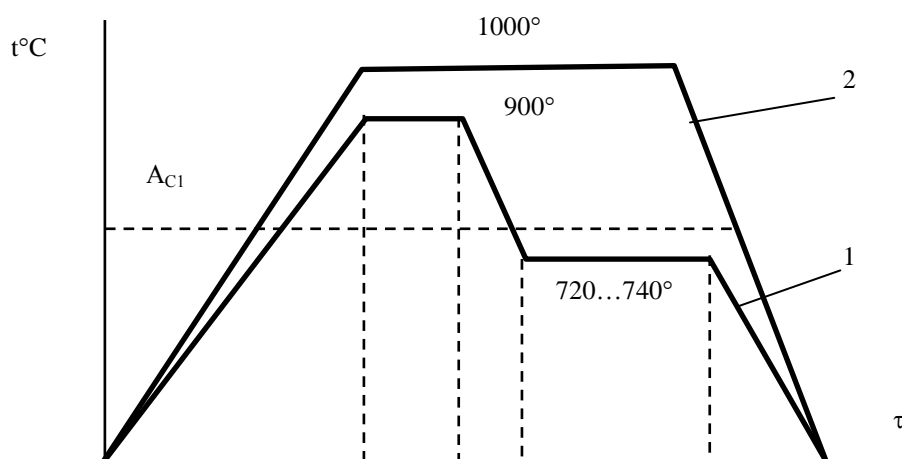


Рисунок 5 – Схема отжига белого чугуна на ковкий

Двустадийный отжиг (режим 1) позволяет произвести полный распад цемента и получить структуру феррит+графит отжига (рисунок 4. а). Отжиг для получения перлитного ковкого чугуна проводят по режиму 2 (рисунок 5), причем охлаждение

проводится после первой стадии на воздухе. При этом не происходит распада цементита (эвтектоидного) и структура чугуна состоит из перлита и графита отжига (рисунок 4. б).

Существуют методы ускоренного отжига белого чугуна на ковкий. Отжиг проводят после предварительной закалки, используют легирование алюминием и бором, применяют нейтральную или защитную среду. В этом случае продолжительность отжига сокращается до 24...60 часов.

Маркируют ковкие чугуны буквами КЧ (ковкий чугун) и цифрами, обозначающими уменьшенное в 10 раз минимальное значение предела прочности при растяжении, МПа и относительное удлинение, %. Пример: КЧ 37–12 – ковкий чугун с пределом прочности 370 МПа и относительным удлинением не менее 12 %.

Ковкие чугуны обладают хорошим сочетанием прочности и пластичности. Применяют их для изготовления деталей, работающих в условиях износа при воздействии ударных и знакопеременных нагрузок, также для деталей, требующих высокой прочности.

### 1.3.3 Высокопрочный чугун

*Высокопрочными* называют чугуны, имеющие графит в шаровидной форме. Их получают путем модифицирования магнием (0,03...0,07 %) или введением магниевых лигатур (во избежание пироэффекта).

Чугун после модифицирования имеет следующий химический состав: С – 3,0...3,6 %; Si – 1,1...2,9 %; Mn – 0,3...0,7 %; до 0,2 % S и до 0,1 % P.

По структуре металлической основы высокопрочный чугун может быть *ферритным* или *перлитным*.

Ферритный чугун в основном состоит из феррита и шаровидного графита. В нем допускается до 20 % перлита.

Структура перлитного чугуна: сорбитообразный или пластинчатый перлит и шаровидный графит (рисунок б).

Шаровидный графит – менее сильный концентратор напряжений, чем пластинчатый, и потому меньше снижает механические свойства металлической основы.



Чугуны с шаровидным графитом обладают более высокой прочностью и некоторой пластичностью.

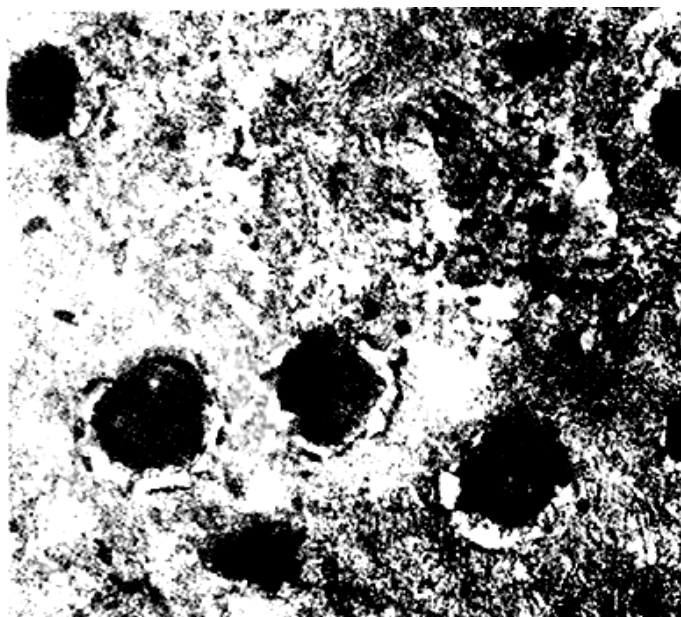


Рисунок 6 – Высокопрочный чугун с перлитной основой. х 200

Марка высокопрочных чугунов состоит из букв ВЧ и числа, обозначающего уменьшенное в 10 раз значение временного сопротивления, например ВЧ 35 –  $\sigma_B = 350$  МПа; ВЧ 80 –  $\sigma_B = 800$  МПа.

Из высокопрочных чугунов изготавливают оборудование прокатных станов; кузнечно-прессовое оборудование; в турбостроении – корпус паровой турбины; в дизеле-, тракторо- и автомобилестроении – коленчатые валы, поршни и многие другие ответственные детали, работающие при высоких циклических нагрузках и в условиях изнашивания.

В некоторых случаях для улучшения механических свойств применяют термическую обработку отливок, для повышения прочности – закалку и отпуск при  $500...600^\circ\text{C}$ , для увеличения пластичности – отжиг, способствующий сфероидизации перлита.

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Рассмотреть под микроскопом микрошлифы при увеличении не менее 300.

2.2 Определить по структуре вид чугуна: белый, серый, ковкий, высокопрочный. Серый, ковкий, высокопрочный чугуны определяются на непротравленных

микрошлифах, «по графиту». (приложение А, рисунок 1). Указать класс белого чугуна и его структурные составляющие.

2.3 Протравить микрошлифы и рассмотреть их под микроскопом. Определить структурные составляющие.

### **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Указать, как влияет форма графита на механические свойства чугунов.

3.2 Зарисовать схемы изученных микроструктур с указанием вида чугуна и структурных составляющих (графит, феррит, перлит, цементит, ледебурит).

3.3 Указать примерные механические свойства чугунов, пользуясь приложением 2. Дать маркировку чугунов и ее расшифровку.

### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Что такое чугуны?
- 2 На какие группы делятся чугуны?
- 3 В каком состоянии может находиться углерод в чугунах?
- 4 Какие формы графита существуют в чугунах?
- 5 Укажите влияние графита на механические свойства чугуна.
- 6 Какова структура белых чугунов?
- 7 Что из себя представляет половинчатый чугун?
- 8 Охарактеризуйте механические свойства белых чугунов. Область их применения.
- 9 Охарактеризуйте свойства серых чугунов.
- 10 Какие элементы влияют на условия графитизации?
- 11 Какое влияние оказывает углерод на качество чугуна?
- 12 Какое влияние оказывают примеси, такие как Si, Mn, P, S, Cr?
- 13 Каким образом влияет скорость охлаждения на структуру и свойства серого чугуна?
- 14 Влияние металлической структуры матрицы на твердость, прочность, износостойкость серого чугуна.

- 15 Укажите положительную роль графита в чугунах.
- 16 Маркировка серых чугунов. Привести примеры.
- 17 Области применения серого чугуна.
- 18 Какую форму имеет графит в ковком чугуне?
- 19 Способы получения ковкого чугуна.
- 20 Как маркируются ковкие чугуны? Приведите примеры.
- 21 Область применения ковких чугунов.
- 22 Высокопрочный чугун. Область применения. Получение высокопрочного чугуна.
- 23 Маркировка высокопрочного чугуна. Приведите примеры.
- 24 Назовите структурные составляющие металлической матрицы высокопрочных чугунов.

### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009
- 3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012.

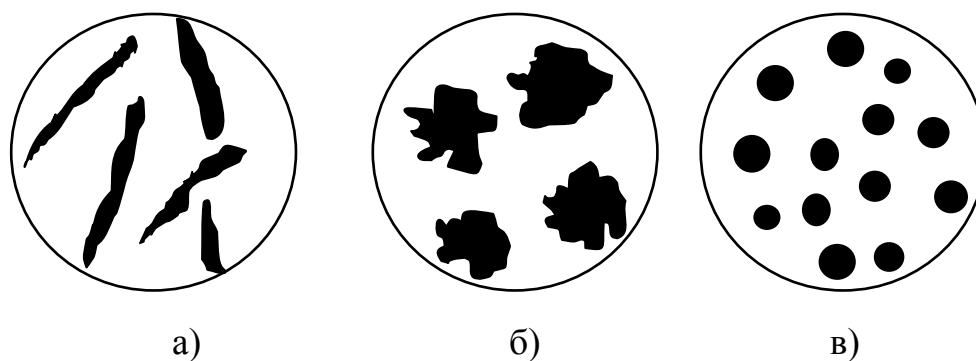


Рисунок 1 – Форма включений графита в чугунах: а - пластинчатая (серый чугун); б - хлопьевидная (ковкий чугун); в – шаровидная (высокопрочный чугун).

Таблица 1 – Механические свойства некоторых марок чугунов

| Чугун                              | $\sigma_B$ , МПа | $\delta$ , % | НВ        | Структура металлической основы         |
|------------------------------------|------------------|--------------|-----------|--|
| Серый чугун (ГОСТ 1412-79)         |                  |              |           |  |
| СЧ 15                              | 150              | –            | 163...229 | Феррит                                 |
| СЧ 25                              | 250              | –            | 180...250 | Феррит + перлит                        |
| СЧ 40                              | 400              | –            | 207...285 | Перлит                                 |
| СЧ 45                              | 450              | –            | 229...289 | Перлит                                 |
| Высокопрочный чугун (ГОСТ 7293-79) |                  |              |           |  |
| ВЧ 38                              | 380              | 17           | 140...170 | Феррит с небольшим количеством перлита |
| ВЧ 42                              | 420              | 12           | 140...200 | —»—                                    |
| ВЧ 50                              | 500              | 7            | 171...241 | —»—                                    |
| ВЧ 60                              | 600              | 2            | 200...280 | Перлит с небольшим количеством феррита |
| ВЧ 80                              | 800              | 2            | 250...330 | —»—                                    |
| ВЧ100                              | 1000             | 2            | 270...360 | —»—                                    |
| Ковкий чугун (ГОСТ 1215-79)        |                  |              |           |  |
| КЧ 30–6                            | 300              | 6            | 100...163 | Феррит + (3...10 %) перлита            |
| КЧ 35–10                           | 350              | 10           | 100...163 | —»—                                    |
| КЧ 37–12                           | 370              | 12           | 110...163 | —»—                                    |
| КЧ 45–7                            | 450              | 7            | 150...207 | —»—                                    |
| КЧ 60–3                            | 600              | 3            | 200...269 | Перлит + (0...20 %) феррита            |
| КЧ 80–1,5                          | 800              | 1,5          | 270...320 | —»—                                    |

# ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ (ОТЖИГ, НОРМАЛИЗАЦИЯ, ЗАКАЛКА). ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ЗАКАЛКЕ

*Цель работы:* ознакомиться с основами и видами термической обработки стали. Изучить влияние температуры нагрева при закалке на твердость углеродистой стали.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* муфельная печь; твердомер Роквелла; закалочный бачок; щипцы; образцы отожженных и нормализованных углеродистых сталей; штангенциркуль; наждачная бумага.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1 Общие положения термической обработки сталей

*Термической обработкой* называют совокупность операций теплового воздействия на материалы с целью изменения их структуры и свойств в нужном направлении. Заключается в нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении с заданной скоростью.

Термическая обработка – один из распространенных и эффективных способов изменения структуры и свойств сталей, обусловленных протеканием различных фазовых превращений в неравновесном состоянии без изменения химического состава.

Данный вид обработки может быть как промежуточной операцией, предназначенной для улучшения технологических свойств, так и окончательной – для обеспечения в материале или изделии требуемого комплекса механических свойств.

Этому технологическому воздействию подвергают слитки, отливки, полуфабрикаты, сварные соединения, детали машин и инструменты.

Основными видами термической обработки являются: *отжиг, нормализация, закалка, отпуск.*

Тепловое воздействие может сочетаться с деформационным: *термомеханическая обработка* и химическим: *химико-термическая обработка*. К разновидностям термической обработки также относят: *старение, патентирование, обработку хо-*

лодом, электротермическую и термомагнитную обработки.

На практике различают *предварительную* термическую обработку углеродистой стали (*отжиг, нормализация*), целью которой является подготовка структуры к последующим технологическим воздействиям, и *конечную*, сообщающую материалу нужную структуру и заданные свойства (*закалка в сочетании с отпуском*). В настоящей лабораторной работе рассматриваются: отжиг, нормализация и закалка.

Принадлежность к тому или иному виду термической обработки определяется типом структурных изменений, происходящих при этом в материале (металле или сплаве).

Основными процессами, происходящими при термической обработке сталей, являются фазовые превращения в неравновесном состоянии, важнейшими из которых являются:

- превращение аустенита в перлит при охлаждении ( $A \rightarrow P$ );
- превращение перлита в аустенит при нагреве ( $P \rightarrow A$ );
- превращение аустенита в мартенсит при быстром охлаждении ( $A \rightarrow M$ );
- распад мартенсита при отпуске закаленных сталей ( $M \rightarrow \Phi + \Pi$ )

Технологические процессы термической обработки связаны с существованием критических температур фазовых превращений в сталях (критические точки). В практике термической обработки углеродистых сталей в соответствии с диаграммой состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C принято следующее обозначение *критических точек* (рисунок 1, индекс с – температура при нагреве):

- эвтектоидная температура –  $A_{C1}$  (линия PS);
- критические точки, соответствующие превращению аустенита в феррит –  $A_{C3}$  (линия GS);
- линия, обозначающая изменение растворимости углерода в аустените –  $A_{Cст}$  (SE).

Любой режим термической обработки (рисунок 2) определяется следующими параметрами: температурой, до которой нагревают изделие ( $t_{max}$ ); временем, затрачиваемым на нагрев до требуемой температуры ( $\tau_n$ ); выдержкой при заданной температуре ( $\tau_B$ ), необходимой для прогрева изделий по всему сечению; скоростью охлаждения ( $v$ ).

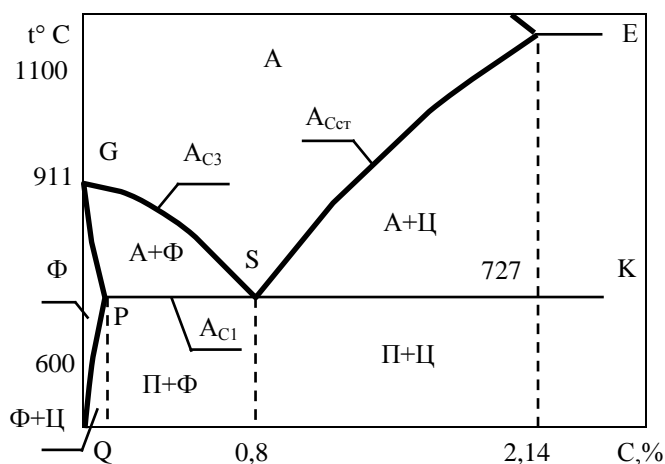


Рисунок 1 – Обозначение критических точек, применяемое при термической обработке

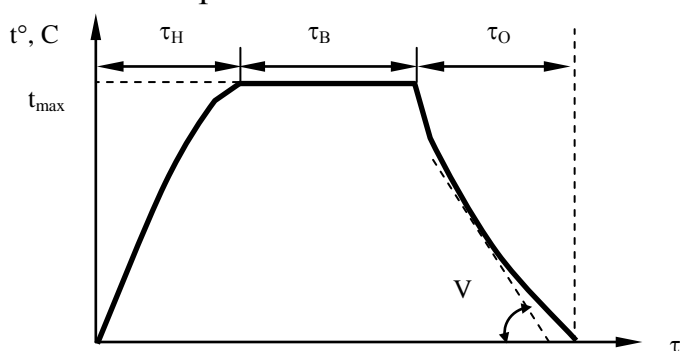


Рисунок 2 – Режим термической обработки

Для углеродистых сталей температуру нагрева под тот или иной вид термической обработки определяют исходя из диаграммы состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C; время – расчетным методом или по справочным данным. Полученные значения уточняются экспериментальным путем

## 1.2 Отжиг

*Отжиг* – вид термической обработки, в результате которой сталь приобретает структуру, близкую к равновесной, т. е. отжиг вызывает разупрочнение, сопровождающееся повышением пластичности и снятием остаточных напряжений.

Таким образом, в общем случае отжигом принято называть нагрев металла до определенных температур, выдержку при этих температурах и медленное охлаждение вместе с печью. Температура нагрева при отжиге зависит от состава сплава и конкретной разновидности отжига; скорость охлаждения невелика: 20...200° C/ч.

Все виды отжига проводят на металлургических заводах в специальных печах.

Различают два вида отжига:

- I рода, не связанный с фазовыми превращениями (исключая гомогенизацию);
- II рода, сопровождающийся фазовыми превращениями.

### 1.2.1 Отжиг I рода

Отжиг I рода проводят для рекристаллизации пластически деформированных полуфабрикатов; уменьшения внутрикристаллической ликвации в слитках или отливках; снижения остаточных напряжений в изделиях. Состояние сплавов после этого вида термической обработки становится более равновесным.

Соответствующими видами отжига I рода являются (рисунок 3):

- рекристаллизационный;
- диффузионный (гомогенизация);
- для снятия внутренних напряжений.

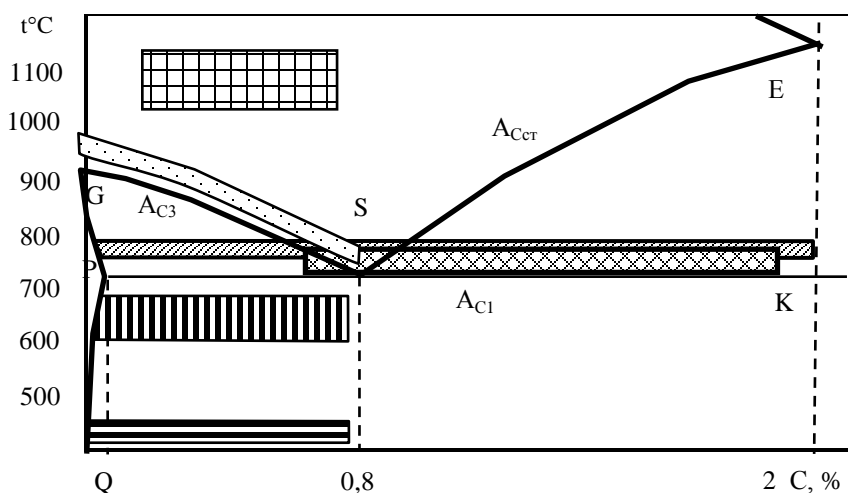


Рисунок 3 – Оптимальные интервалы нагрева стальных заготовок при различных видах отжига . ■ – рекристаллизационный; ▨ – диффузионный; ▩ – для снятия внутренних напряжений; ▧ – полный; ▦ – неполный; ▤ – сфероидизация

Рекристаллизационный (смягчающий) отжиг применяют для устранения последствий холодной пластической деформации (снятия наклепа). Нагрев металла проводят до температур, превышающих температуры рекристаллизации (600...670° С) (рисунок 3). При такой термической обработке прочность стали



уменьшается, а пластичность растет, что дает возможность проводить дальнейшую деформацию.

*Диффузионный отжиг* (гомогенизация) проводят при температуре 1100...1150° С (рисунок 3). В результате устраняется дендритная ликвация в литой стали; удаляется строчечная структура, образовавшаяся в доэвтектоидных сталях при обработке давлением; улучшается обрабатываемость резанием. Прочность горячекатаной стали несколько снижается, а у литой стали повышается пластичность и вязкость.

*Отжигом для снятия внутренних напряжений* (термических, либо деформационных) называют термическую обработку, при которой достигается частичное или полное их устранение (релаксация). Температура нагрева при этом виде отжига невысока – 200...300° С (рисунок 3).

### 1.2.2 Отжиг II рода

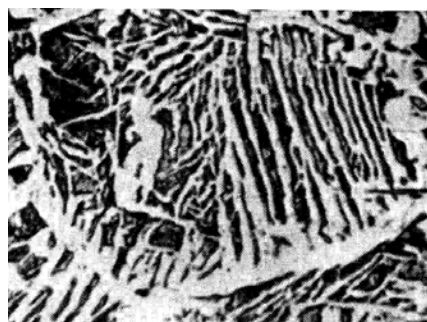
Отжиг II рода подразумевает нагрев стали до температур, превышающих температуры фазовых превращений (выше  $A_{C1}$  или  $A_{C3}$ ), выдержку при этих температурах и медленное охлаждение вместе с печью. В процессе нагрева и охлаждения протекают фазовые превращения ( $A \rightleftharpoons P$ ), определяющие структуру и свойства стали.

После отжига II рода стали получают структуры, в соответствии с диаграммой состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C, имеющие низкую твердость и прочность при высокой пластичности. При фазовой перекристаллизации измельчается зерно и устраняется видманштеттовая структура, строчечность, вызванная ликвацией, и сталь приобретает однородную мелкозернистую структуру (рисунок 4). Полностью снимаются остаточные напряжения. Доэвтектоидные стали подвергают *полному отжигу* (перекристаллизационному), нагревая на 30...50° С выше критических точек  $A_{C3}$ ; а заэвтектоидные стали – *неполному отжигу*, нагревая на 30...50° С выше точек  $A_{C1}$  (рисунок 3). Охлаждение после отжига II рода проводят вместе с печью со скоростью 100...200° С/ч. Неполному отжигу также подвергают доэвтектоидные стали (0,2...0,4 % С) перед листовой штамповкой (высадка, выдавливание) с

целью увеличения их пластичности.



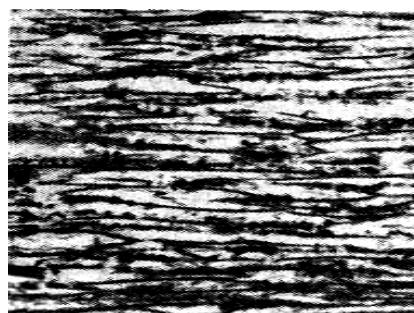
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4 – Микроструктура доэвтектоидной стали (0,45 % С): а – в литом состоянии. х750; б – видманштеттова структура. х750; в – строчечная после обработки давлением. х250; г – в отожженном состоянии. х500

Инструментальные стали (0,7...2 % С) подвергают неполному отжигу *сфероидизации* (рисунок 3), производя нагрев на 10...30° С выше критических точек  $A_{C1}$  и медленно охлаждая со скоростью 20° С/ч или проводя изотермическую выдержку при температуре 650...680° С. В результате перлит приобретает округлую (зернистую) форму вместо пластинчатой (рисунок 5). Зернистый перлит имеет более низкую прочность и твердость, чем пластинчатый, что повышает обрабатываемость сталей резанием.

В большинстве случаев отжиг является подготовительной термической обработкой. Отжигу подвергают отливки, поковки, сортовой и фасонный прокат, трубы, горячекатаные листы.

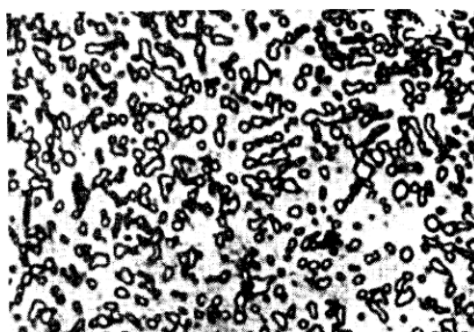


Рисунок 5 – Микроструктура эвтектоидной углеродистой стали после сфероидизирующего отжига. Зернистый перлит. x500

Понижая прочность и твердость отжиг облегчает обработку резанием средне- и высокоуглеродистой стали. Измельчая зерно, снимая внутренние напряжения и уменьшая структурную неоднородность, отжиг способствует повышению пластичности и вязкости по сравнению со свойствами, полученными после литья,ковки или прокатки. В некоторых случаях (крупные отливки) отжиг является окончательной термической обработкой.

### 1.3 Нормализация

При проведении нормализации преследуются те же цели, что и при отжиге II рода, т.е. перекристаллизация зерна стали; снятие внутренних напряжений; подготовка к дальнейшей пластической деформации, механической или термической обработке. Нормализация заэвтектоидных сталей применяется для устранения хрупкой цементитной сетки.

*Нормализация* отличается от отжига в основном условиями охлаждения; после нагрева доэвтектоидных сталей на  $50...70^{\circ}\text{C}$  выше температуры  $A_{C3}$ , а заэвтектоидных – на  $50...70^{\circ}\text{C}$  выше  $A_{Cст}$  (рисунок 6) сталь охлаждают на спокойном воздухе. Скорость охлаждения при нормализации составляет  $150...250^{\circ}\text{C/ч}$ .

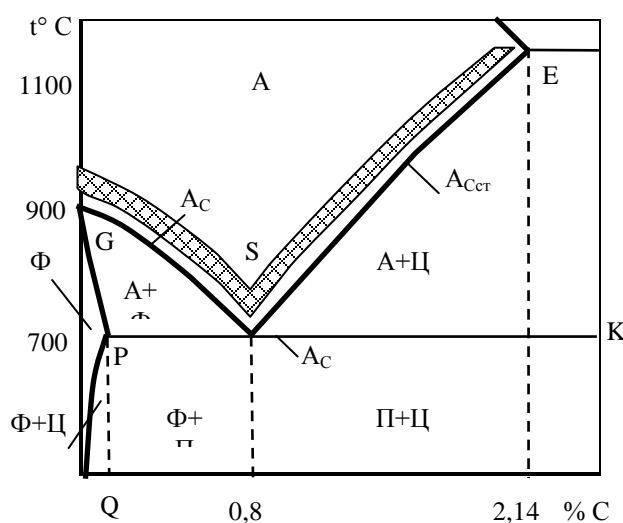


Рисунок 6 – Оптимальный интервал температур нагрева при нормализации углеродистых сталей

Ускоренное охлаждение повышает дисперсность перлита, а феррит, выделяю-

щийся при охлаждении до критических температур  $A_{г3} - A_{г1}$  (индекс г – температура при охлаждении), образует сплошные или разорванные оболочки вокруг зерен аустенита – ферритную сетку (рисунок 7).

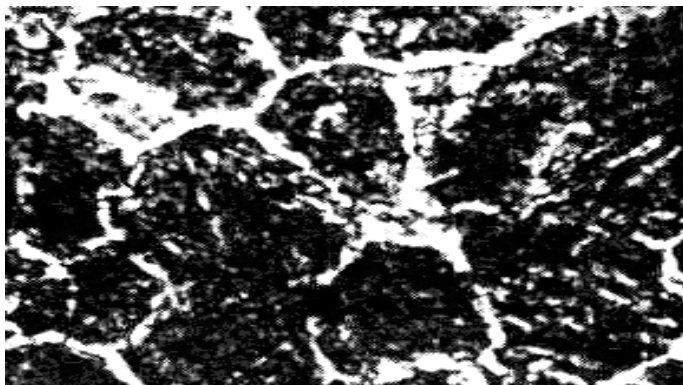


Рисунок 7 – Микроструктура стали (0,45 % С) после нормализации. х500

Нормализации чаще всего подвергают конструкционные стали после горячей пластической деформации и фасонного литья.

Нормализация – более экономичная термическая операция, чем отжиг, так как меньше времени затрачивается на охлаждение стали.

Кроме того, нормализация, обеспе-

чивая полную перекристаллизацию структуры, улучшает прочностные свойства стали, уменьшает анизотропию свойств, вызванную наличием в горячекатаной стали строчечной структуры.

## 1.4 Закалка

*Закалкой* называется нагрев сталей выше температуры фазовых превращений, выдержке при этой температуре и последующем резком охлаждении, например в воде, масле.

Основное назначение закалки – получение стали с высокими твердостью, прочностью и износостойкостью. Качество закалки зависит от температуры нагрева, времени выдержки и скорости охлаждения.

В данной лабораторной работе изучается влияние температуры нагрева на механические свойства стали при постоянных: скорости нагрева, времени выдержки и скорости охлаждения.

### 1.4.1 Определение времени нагрева под закалку

Продолжительность нагрева зависит от таких факторов, как форма и размер детали, тип нагревательного устройства, вид нагревательной среды и расположение

изделий на поду печи.

Для проведения любого теплового процесса термической обработки изделие нужно не только нагревать до заданной температуры, но и выдерживать при этой температуре до полных структурных превращений и полного прогрева детали по всему сечению. Причем скорость нагрева не должна быть слишком большой, чтобы не вызвать роста зерна и обезуглероживания поверхностных слоев.

Поэтому *общее время нагрева* под закалку складывается из *времени нагрева до заданной температуры* ( $\tau_H$ ) и *времени выдержки* при этой температуре ( $\tau_B$ ), необходимой для прогрева изделия по всему сечению:

$$\tau_{\text{ОБЩ}} = \tau_H + \tau_B. \quad (1)$$

*Время нагрева* до заданной температуры  $\tau_H$  зависит от нагревающей способности среды, от размеров и формы детали, от способа их укладки в печи и определяется из выражения:

$$\tau_H = 0,1 \cdot D_1 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2)$$

где  $D_1$  – размерная характеристика изделия (мм) – минимальный размер максимального сечения (т.е. для детали находят максимальное поперечное сечение, а в нем минимальный размер);

$K_1$  – коэффициент среды (для газа 2; для соли 1);

$K_2$  – коэффициент формы (для шара 1; цилиндра 2; параллелепипеда – 2,5; пластины – 4);

$K_3$  – коэффициент равномерности нагрева (всесторонний нагрев – 1; односторонний – 4).

Составляющая  $\tau_B$  не зависит от формы и размера изделия и определяется скоростью фазовых превращений и дисперсностью исходной структуры. Значение  $\tau_B$  должно быть минимальным (35...75 с на 1 мм сечения), но обеспечивать завершение фазовых превращений в стали и необходимую концентрацию углерода в аустените.

Иногда применяют приблизительный подсчет общего времени нагрева. Так, при нагреве в электрических воздушных печах время нагрева  $\tau_H$  принимают равным 0,8...1 мин на 1 мм сечения, а время выдержки – 1/5 от времени нагрева ( $\tau_B = \tau_H/5$ ).

При нагреве крупных деталей (когда время нагрева значительно больше чем 1...2 мин) величиной  $\tau_B$  можно пренебречь; в случае нагрева мелких деталей (диаметром или толщиной менее 1 мм) пренебрегают составляющей  $\tau_H$ . Точно установить время нагрева можно лишь опытным путем для данной детали в данных конкретных условиях.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Измерить твердость образцов в отожженном и нормализованном состоянии на твердомере Роквелла (шкала В), результаты занести в протокол испытаний (приложение А, таблица 1).

2.2 Определить общее время нагрева по формулам (1) и (2), определив предварительно  $D_1$ .

2.3 Нагреть образцы в муфельной печи до температур 500, 600, 700, 800 и 900° С, с учетом общего времени нагрева.

2.4 Произвести охлаждение нагретых образцов в воде.

2.5 Зачистить торцы образцов от окалины наждачной бумагой.

2.7 Измерить твердость термообработанных образцов на приборе Роквелла (шкала С). Сделать перевод твердости HRC в твердость по Бринеллю HB. Полученные результаты занести в протокол испытаний (приложение А, таблица 1).

2.8 Построить график зависимости твердости от температуры нагрева  $HV = f(t)$  (приложение А, рисунок 1).

2.9 По результатам исследований сделать краткое заключение о влиянии температуры нагрева на твердость углеродистой стали.

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Краткие теоретические сведения об отжиге, нормализации и закалке сталей (назначение, режим, область применения).

3.2 Расчет общего времени нагрева образцов.

3.3 Протокол испытаний (приложение А).

3.4 Выводы по проделанной работе.

#### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Термическая обработка. Общее положение, цели и задачи.
- 2 Обозначение критических точек при термической обработке.
- 3 Параметры, определяющие режим термической обработки.
- 4 Что такое отжиг?
- 5 Отжиг I рода. Разновидности, режимы, назначение.
- 6 Отжиг II рода. Разновидности, режимы, назначение.
- 7 В чем заключается отличие между отжигом I и отжигом II рода?
- 8 Особенности отжига на зернистый перлит (сфероидизация).
- 9 В каких случаях применяют рекристаллизационный и гомогенизирующий отжиг?
- 10 Нормализация. Назначение, режим.
- 11 Основная цель закалки.
- 12 От каких факторов зависит время нагрева под закалку?
- 13 Как определить время нагрева при закалке?
- 14 Влияние температуры нагрева на механические свойства стали.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Михальченков А. М., Тюрёва А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009
- 3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Протокол испытаний

| № образца | Твердость в исходном состоянии |    | Температура нагрева, °С | Время нагрева $\tau_{\text{ОБЩ}}$ , МИН | Твердость после термообработки |    |
|-----------|--------------------------------|----|-------------------------|---|--------------------------------|----|
|           | HRB                            | HВ |                         |   | HRC                            | HВ |
|           |                                |    |                         |   |                                |    |



Рисунок 1 – Зависимость твердости углеродистых сталей от температуры нагрева



# ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЗАКАЛКЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

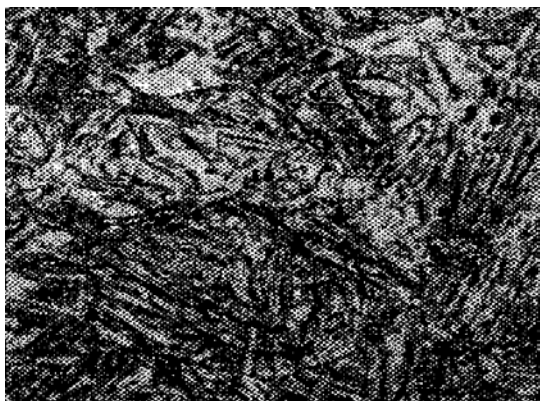
*Цель работы:* изучить влияние скорости охлаждения на микроструктуру и свойства углеродистых сталей.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* муфельная печь; закалочный бачок; щипцы; твердомер Роквелла; металлографический микроскоп; образцы отожженных углеродистых сталей; бачки с закалочными средами; наждачная бумага.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Изменение механических свойств при закалке достигается получением метастабильной (неравновесной) структуры – мартенсита.

*Мартенситом* называют пересыщенный твердый раствор углерода в феррите. Содержание углерода в нем такое же, как и в исходном аустените. Структура мартенсита низко- и среднеуглеродистых сталей имеет форму реек – реечный мартенсит (рисунок 1. а) ориентированных в одном направлении. В высокоуглеродистых сталях кристаллы мартенсита представляют собой пластины, которые в плоскости шлифа имеют вид игл – игольчатый мартенсит (рисунок 1. б).



а)



б)

Рисунок 1 – Микроструктура мартенсита стали. х500: а – реечная; б – игольчатая

Мартенсит обладает высокой твердостью (HRC 60 при  $C = 0,4 \%$ ), однако с увеличением содержания углерода возрастает хрупкость стали. Кроме изменения механических свойств, в результате превращения  $A \rightarrow M$  изменяются физические свойства ста-

ли, заметно увеличивается объем.

Для получения мартенситной структуры сталь следует охлаждать с большой скоростью. Минимальную скорость охлаждения, при которой происходит мартенситное превращение, называют *критической скоростью закалки*. При охлаждении аустенита с такой скоростью он не успевает превратиться в ферритно–цементитную смесь и образует неравновесную структуру – мартенсит.

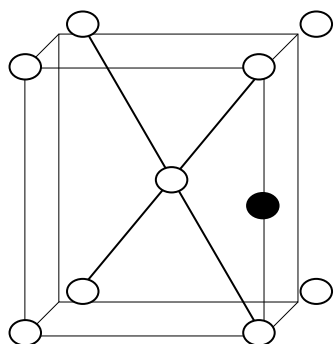


Рисунок 2 – Тетрагональная решетка мартенсита. ○ – атом железа; ● – атом углерода

Принципиальное отличие превращения  $A \rightarrow M$  при закалке от аустенита в перлит при медленном охлаждении заключается в том, что оно происходит бездиффузионно. При мартенситном превращении наблюдается лишь перестройка ГЦК решетки аустенита в ОЦК решетку феррита без выделения из твердого раствора углерода, приводящая к искажению кубической решетки до тетрагональной (рисунок 2). При-

чем, чем больше углерода было в исходном аустените, тем большую степень тетрагональности имеет решетка и тем тверже закаленная сталь. Мартенситное превращение начинается при температурах, называемых мартенситной точкой  $M_H$ , и протекает в широком интервале температур (от  $380^\circ C$  при 0,2 % C, до  $120^\circ C$  при 1,6 % C). Средняя скорость роста кристаллов мартенсита составляет около 1 км/с.

Температуру при которой заканчивается превращение  $A \rightarrow M$ , обозначают  $M_K$ . Однако в сталях с высоким и средним содержанием углерода мартенситное превращение не заканчивается при охлаждении до комнатной температуры, и часть аустенита остается не распавшимся (так называемый *остаточный аустенит*).

### 1.1 Выбор температурного интервала нагрева под закалку

Получение мартенситной структуры определяется правильным выбором температуры нагрева под закалку. В зависимости от температуры нагрева различают:

– *полную закалку* – нагрев стали выше критических точек  $A_{C3}$  на  $30...50^\circ C$  (рисунок 3). Такая температура обеспечивает при нагреве получение структуры

мелкозернистого аустенита и, соответственно, при охлаждении со скоростью больше критической, – мелкокристаллического мартенсита. Недогрев до интервала закалочных температур приводит к сохранению в структуре закаленной стали феррита, а перегрев выше  $A_{C3}$  на  $70...100^\circ\text{C}$  – к росту зерна аустенита. Полной закалке подвергают доэвтектоидные стали.

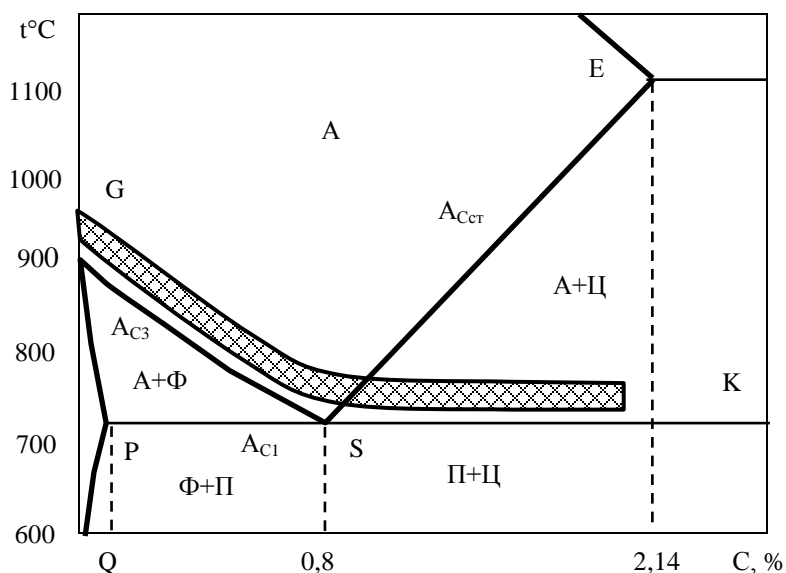


Рисунок 3 – Оптимальный температурный интервал нагрева под закалку углеродистых сталей

– *неполную закалку* – нагрев выше критических точек  $A_{C1}$  на  $30...50^\circ\text{C}$  (рисунок 3). Неполной закалке, как правило, подвергают эвтектоидные и заэвтектоидные стали. После закалки эвтектоидная сталь имеет структуру мартенсита, а заэвтектоидная мартенсита и цементита. Кроме того, в структуре этих сталей будет присутствовать остаточный аустенит.

## 1.2 Скорость охлаждения

Для получения мартенситной структуры необходимо переохладить аустенит до температуры  $M_H$ , т. е. предотвратить превращение  $A \rightarrow \Phi$ . Последнее достигается резким охлаждением со скоростью от  $1400$  до  $400^\circ\text{C}/\text{с}$ . Как правило, такой скорости охлаждения добиваются погружением закаливаемой детали в холодную воду ( $t = 20^\circ\text{C}$ ) или в воду с добавками соли ( $\text{NaCl}$ ) или едкого натра ( $\text{NaOH}$ ).

При изучении влияния скорости охлаждения на формирование структуры зака-

ленной стали удобно воспользоваться диаграммой изотермического распада аустенита: «С–диаграммой» с наложенными на нее линиями, соответствующими различным скоростям охлаждения (рисунок 4).

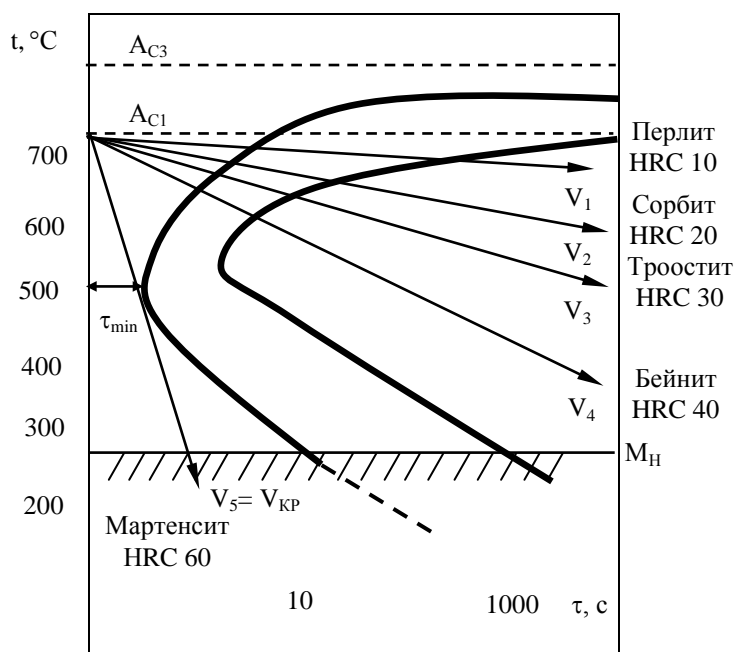
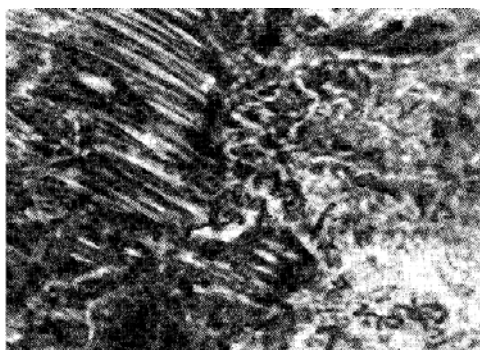


Рисунок 4 – Диаграмма изотермического распада аустенита для доэвтектоидной стали с наложенными на нее кривыми охлаждения  $V_1 > V_2 > V_3 > V_4 > V_5$

При медленном охлаждении вместе с печью со скоростью  $V_1$  (рисунок 4), образуется крупнопластинчатая *ферритно–цементитная смесь*, твердостью HRC 10.

При охлаждении на воздухе, со скоростью  $V_2$  (рисунок 4), образуется тонкодисперсная смесь феррита и цементита – *сорбит закалки* (рисунок 5. а), имеющий твердость HRC 20.

Более мелкодисперсная перлитная смесь, называемая *трооститом закалки* (рисунок 5. б), обладающая твердостью HRC 30, формируется при охлаждении углеродистой стали в масле со скоростью  $V_3$  (рисунок 4).



а)



б)

Рисунок 5 – Микроструктура закаленной стали: а – сорбит закалки (0,5 % С). x1100; б – троостит закалки (0,7 % С). x1000

При охлаждении со скоростью  $V_4$  происходит промежуточное превращение аустенита с образованием бейнита, состоящего из науглероженного феррита и частиц цементита, имеющего в зависимости от температурного интервала образования перистое или игольчатое строение.

Увеличение скорости охлаждения (от  $V_4$  и выше) задерживает протекание диффузионных процессов, аустенит переохлаждается до температуры  $M_n$ , и затем происходит бездиффузионное превращение  $A \rightarrow M$ .

При скорости охлаждения  $V_5$  (рисунок 4) структура стали полностью состоит из мартенсита с твердостью HRC 60 (рисунок 1).

Таким образом, *критической скоростью закалки*  $V_{кр}$  (минимальная скорость охлаждения) будет скорость, большая или равная скорости охлаждения  $V_5$ , обеспечивающая мартенситное превращение и получение структуры мартенсита с твердостью HRC 60.

Критическая скорость закалки неодинакова для разных сталей и зависит от устойчивости аустенита. Чем больше его устойчивость  $\tau_{min}$  (рисунок 4), а, следовательно, чем правее от оси температур расположена «С–диаграмма», тем меньше критическая скорость закалки.

Экспериментально построенные диаграммы изотермического распада аустенита (термокинетические диаграммы) позволяют определить  $V_{кр}$  для всех марок сталей.

### 1.3 Закалочные среды

При закалке для переохлаждения аустенита до температур мартенситного превращения требуется быстрое охлаждение, но не во всем интервале температур (от температуры нагрева до комнатной), а только в пределах  $650 \dots 400^\circ \text{C}$ , то есть в том интервале температур, в котором аустенит менее всего устойчив и быстрее всего превращается в перлит. В области мартенситного превращения ( $300 \dots 200^\circ \text{C}$ ), наоборот, желательно замедлить охлаждение. В противном случае, к структурным

напряжениям могут прибавиться значительные термические, что может привести к короблению и возникновению трещин. Таким образом, наилучшей закалочной средой считается та, которая быстро охлаждает сталь в интервале температур 650...400° С и медленно – ниже 300...200° С.

Для охлаждения стальных деталей при закалке обычно применяют различные закалочные среды: воду, водные растворы солей, расплавленные соли, минеральные масла. Закалочные среды резко отличаются друг от друга своими физическими свойствами, то есть они с разной интенсивностью отнимают тепло от нагретых под закалку деталей. Однако единой, универсальной закалочной среды пока нет, поэтому на практике пользуются различными средами (таблица 1).

Таблица 1 – Скорость охлаждения стали в зависимости от закалочных сред

| Закалочная среда                          | Скорость охлаждения (°С/с)<br>в интервале температур (°С) |           |
|---|---|-----------|
|   | 600...400   | 300...200 |
| Вода:                                     |   |           |
| – при 20° С (циркулирующая);              | 600   | 270       |
| – при 20° С (спокойная);                  | 350   | 700       |
| – при 40° С                               | 100   | 270       |
| – при 80° С                               | 30  | 200       |
| Вода дистиллированная при 20° С           | 250   | 200       |
| 10 % раствор в воде при 20° С:            |   |           |
| – поваренной соли (NaCl)                  | 1100  | 300       |
| – едкого натра (NaOH)                     | 1200  | 300       |
| – соды (Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) | 800   | 270       |
| Минеральное масло при 20° С               | 120   | 25        |

Механизм действия закалочных сред следующий. В момент погружения изделия в закалочную среду вокруг него образуется пленка перегретого пара, охлаждение происходит через слой этой «паровой рубашки», то есть относительно медленно. Эта стадия носит название *пленочного кипения*. Когда температура поверхности достигнет значения, определяемого составом закалывающей жидкости, происходит разрыв «паровой рубашки» и жидкость начинает кипеть на поверхности детали, ускоряя ее охлаждение – *пузырчатое кипение*.

Закалочная среда охлаждает тем интенсивней, чем шире интервал пузырчатого

кипения, поэтому рекомендуется производить закалку в циркулирующей среде, непрерывно перемещая детали в вертикальном или горизонтальном направлениях.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Измерить твердость образцов в исходном состоянии на твердомере Роквелла (шкала В) и занести полученные данные в протокол испытаний (приложение А, таблица 1).

2.2 По диаграмме состояния Fe–Fe<sub>3</sub>C определить оптимальную температуру нагрева (для данной марки стали).

2.3 Определить общее время нагрева образца  $\tau_{\text{ОБЩ}}$  (предыдущая лабораторная работа).

2.4 Нагреть образцы в муфельной печи.

2.5 После окончания нагрева охладить образцы в различных средах: вместе с печью; на воздухе; в масле; в воде.

2.6 Зачистить торцы образцов от окалины наждачной бумагой.

2.7 Измерить твердость закаленных образцов на приборе Роквелла (шкала С) и перевести их в НВ. Полученные результаты занести в таблицу (приложение А, таблица 1).

2.8 Изучить микроструктуру сталей, охлажденных с различной скоростью, с помощью металлографического микроскопа. Зарисовать их.

2.9 По результатам исследований построить графическую зависимость влияния закалочных сред на твердость стали (приложение А, рисунок 1).

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Обоснование выбора температуры нагрева под закалку, скорости охлаждения и закалочной среды.

3.2 Протокол испытаний.

3.3 Рисунки микроструктур закаленных сталей.

3.4 Выводы по проделанной работе.

#### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Основная цель закалки.
- 2 Мартенсит. Свойства, строение.
- 3 Особенности протекания мартенситного превращения.
- 4 Условия получения мартенситной структуры сталей.
- 5 Полная закалка. Выбор температур, получаемая структура и свойства. Область применения.
- 6 Неполная закалка. Выбор температур, получаемая структура и свойства. Область применения.
- 7 Что такое критическая скорость закалки?
- 8 Охлаждающие среды, применяемые при закалке.
- 9 Как определить время нагрева при закалке?
- 10 Влияние скорости охлаждения на структуру и свойства стали.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009
- 3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Протокол испытаний

| № образца | Твердость в исходном состоянии HRB | Температура нагрева, °C | Время нагрева $\tau_{\text{общ}}$ , мин | Охлаждающая среда | Твердость после закалки |    |
|-----------|------------------------------------|-------------------------|---|-------------------|-------------------------|----|
|           |                                    |                         |   |                   | HRC                     | HВ |
|           |                                    |                         |   |                   |                         |    |
|           |                                    |                         |   |                   |                         |    |

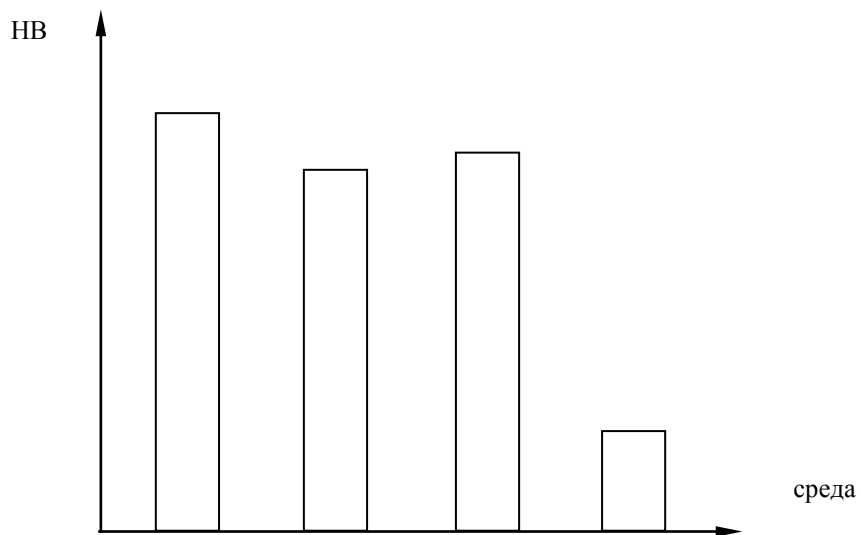


Рисунок 1 – Зависимость твердости углеродистых сталей от охлаждающей среды

# ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ОТПУСКЕ

*Цель работы:* изучить влияние температур отпуска на механические свойства углеродистой стали.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* муфельная печь; твердомер Роквелла; закаленные образцы стали (цилиндрические или прямоугольные, толщиной 10...15 мм из стали 40...65 или инструментальной стали У9...У12); клещи; штангенциркуль; наждачная бумага.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Отпуском* называют операцию термической обработки, заключающуюся в нагреве закаленных сталей до температуры ниже критических точек  $A_{C1}$ , выдержке при заданной температуре и последующем охлаждении с определенной скоростью, как правило, на воздухе.

Отпуск является окончательной операцией термической обработки, в результате которой сталь получает требуемые механические свойства. В зависимости от температуры отпуска понижаются характеристики прочности (пределы прочности  $\sigma_B$  и текучести  $\sigma_{0,2}$ ) и твердость (НВ) закаленной стали, но увеличивается ее пластичность (относительное удлинение  $\delta$  и относительное сужение  $\psi$ ) (рисунок 1).

Кроме того, отпуск полностью или частично устраняет внутренние напряжения, возникающие при закалке. При отпуске снижается электрическое сопротивление, изменяются магнитные свойства, вырастает сопротивление коррозии. Указанные изменения механических и физико-механических свойств являются следствием изменения внутреннего строения закаленной стали. При отпуске закаленных сталей сильно напряженный мартенсит закалки, имеющий тетрагональную кристаллическую решетку, постепенно распадается на ферритно-цементитную смесь, и структура из неустойчивого состояния переходит в более равновесное, в результате чего уменьшаются внутренние напряжения, понижается твердость, повышается пластич-

ность и ударная вязкость. Чем выше температура отпуска, тем полнее идет процесс распада мартенсита.

Дилатометрическими измерениями установлено, что в сталях, не содержащих легирующих элементов, первое превращение происходит при температуре нагрева 80...200° С, второе – при 200...260° С, третье – при 260...380° С.

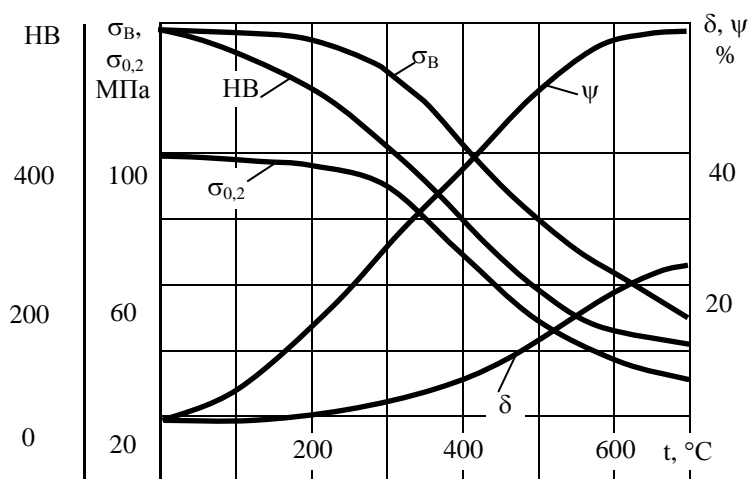
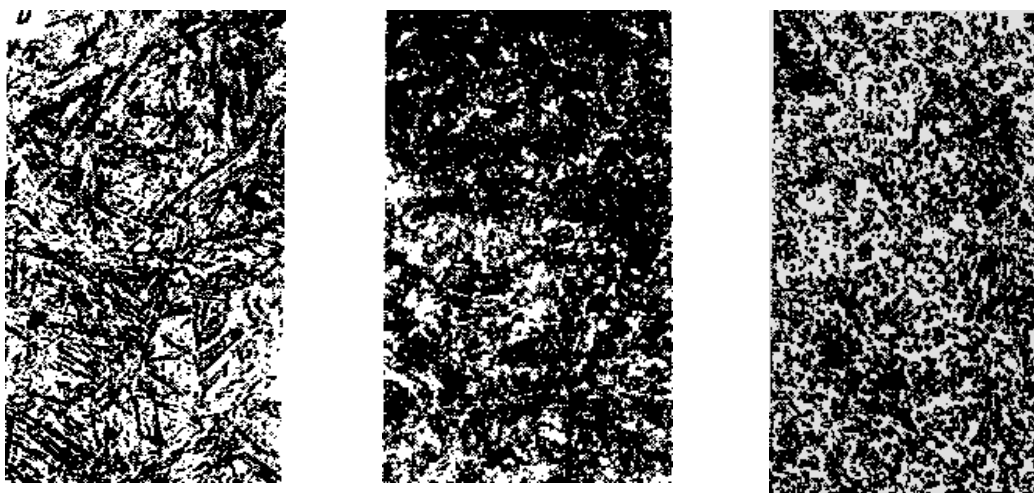


Рисунок 1 – Зависимость механических свойств закаленной стали от температуры отпуска

При первом превращении (80...200° С) уменьшается степень тетрагональности кристаллической решетки мартенсита вследствие выделения из нее углерода в виде ε-карбида (Fe<sub>2</sub>C), причем кристаллическая решетка мартенсита сопряжена (когерентна) с кристаллической решеткой ε-карбида, а концентрация углерода в различных участках мартенсита неодинакова. Образующийся в результате первого превращения мартенсит отпуска состоит из пересыщенного α-твердого раствора и карбидных частиц Fe<sub>2</sub>C (рисунок 2 а).



а)

б)

в)

Рисунок 2 – Микроструктура отпущенной стали (0,6 % С): а – мартенсит отпуща; б – троостит отпуща; в – сорбит отпуща. х500

При температурах *второго превращения* (200...260° С) диффузионные процессы усиливаются и одновременно протекают несколько процессов: продолжается распад мартенсита, начинает распадаться остаточный аустенит и начинается карбидное превращение ( $\epsilon$ -карбид укрупняется и превращается в цементит  $Fe_3C$ ). В результате образуется смесь кристаллов низкоуглеродистого (0,2 %) мартенсита и дисперсного цементита. Когерентность решеток нарушается, что вызывает снижение внутренних напряжений. Структура стали – мартенсит отпуща.

При *третьем превращении* (260...380° С) завершается распад мартенсита и карбидное превращение. Из мартенсита выделяется весь пересыщенный углерод в виде цементита, исчезает тетрагональность решетки, и мартенсит переходит в феррит с содержанием углерода менее 0,023 %, что соответствует его равновесной растворимости. Частицы цементита продолжают расти и становятся полностью некогерентными. Образовавшаяся в конце третьего превращения дисперсная ферритно-цементитная смесь (частицы цементита имеют форму тонких пластин размером  $0,3 \cdot 10^{-5}$  мм) носит название *троостит отпуща* (рисунок 2. б).

При более высоких температурах нагрева (до 650° С) в углеродистых сталях также происходит изменения структуры, не связанные с фазовыми превращениями: изменяются форма и размер карбидов; структура феррита. Скорость этих процессов увеличивается с повышением температуры.

Начиная с температур 350...400° С происходит *коагуляция* (укрупнение) и *сфероидизация* кристаллов цементита. Размер карбидов достигает  $1 \cdot 10^{-5}$  мм. При нагреве выше 400° С начинаются изменения в зернах феррита и по своей форме они приближаются к равноосной. Структура, образующаяся при нагреве выше 450...650° С, называется *сорбитом отпуща* (рисунок 2. в).

Нагрев выше 650° С и вплоть до  $A_{C1}$  приближает структуру к равновесной: образуется перлит и обособляется избыточный феррит (в доэвтектоидной стали). Дисперсность феррита уменьшается, и структура стали похожа на строение зернистого

перлита отожженной стали.

В зависимости от требуемых свойств стали и температуры нагрева виды отпуска подразделяют на:

- *низкотемпературный* (низкий);
- *среднетемпературный* (средний);
- *высокотемпературный* (высокий);

*Низкотемпературный отпуск* производится при температуре 150...250° С. При этом снижаются закалочные макронапряжения, мартенсит закалки переводится в отпущенный мартенсит, повышается пластичность без заметного снижения твердости (рисунок 1). Закаленная сталь (0,6...1,3 % С) после низкого отпуска сохраняет твердость 58...63 HRC, а, следовательно, высокую износостойкость.

Низкотемпературный отпуск применяют для режущего и мерительного инструмента, изготовленного из углеродистых сталей; цементированных, цианированных и поверхностнозакаленных деталей (зубчатых колес).

*Среднетемпературный отпуск* производят при температуре 350...400° С. В этом интервале температур мартенсит превращается в троостит, имеющий твердость около 40...50 HRC. Такой отпуск обеспечивает высокие пределы упругости, выносливости и релаксационную стойкость при относительно высокой твердости. Применяют для пружин и рессор и ударного инструмента.

*Высокотемпературный отпуск* проводят при 500...650° С. В результате такого отпуска создаются наилучшие соотношения механических характеристик стали: прочности, твердости и пластичности (рисунок 1). При высоком отпуске происходит полное снятие внутренних напряжений.

Комплексную термическую обработку, сочетающую в себе закалку с высокотемпературным отпуском на структуру сорбита, называют *улучшением*. В улучшенном состоянии достигается высокая ударная вязкость ( $KCU = 1,3 \text{ МДж/м}^2$ ), пластичность ( $\delta = 60 \%$ ) и, как следствие, малая чувствительность к концентраторам напря-

жений. Улучшение является основным видом термической обработки среднеуглеродистых сталей (шатуны, маховики, оси).

### **1.1 Определение времени выдержки и скорости охлаждения при различных видах отпуска**

Время выдержки ( $\tau_B$ ) при отпуске зависит от температуры отпуска и габаритных размеров деталей. Оно должно быть достаточным для окончания процессов диффузии в закаленной стали, так как в противном случае эффективность отпуска уменьшается. Время выдержки при отпуске несколько больше, чем при закалке, причем при низких температурах выдержка больше, чем при высоких.

В практике термической обработки применяют приблизительный подсчет времени выдержки, исходя из следующих соображений.

– *Низкотемпературный отпуск (200° С):*

$$\tau_B = 30 \text{ мин} + (1 \text{ мин на } 1 \text{ мм диаметра или толщины образца}) \quad (1).$$

– *Среднетемпературный отпуск (400° С):*

$$\tau_B = 20 \text{ мин} + (1 \text{ мин на } 1 \text{ мм диаметра или толщины образца}) \quad (2).$$

– *Высокотемпературный отпуск (600° С):*

$$\tau_B = 10 \text{ мин} + (1 \text{ мин на } 1 \text{ мм диаметра или толщины образца}) \quad (3).$$

Охлаждение углеродистых сталей после отпуска можно проводить с любой скоростью, так как температура нагрева ниже критических точек  $A_{C1}$ . Однако слишком быстрое охлаждение может вызвать образование термических напряжений, особенно в деталях сложной формы, и привести к их короблению. Поэтому обычно стали охлаждают на воздухе.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 На боковой поверхности каждого образца проставить клеймо марки стали. Марки сталей занести в протокол испытаний (приложение А, таблица 1).

2.2 Измерить штангенциркулем диаметры (диагонали) образцов. Результаты

измерения записать в протокол испытаний.

2.3 Определить твердость (HRC) образцов в исходном (закаленном) состоянии и перевести их в HB. Полученные результаты записать в протокол испытаний (приложение А, таблица 1).

2.4 Определить время выдержки при температурах отпуска: 200, 400, 600° С (формулы 1; 2; 3).

2.5 Образцы поместить в муфельную печь, нагретую до соответствующих температур отпуска (200, 400, 600° С), произвести отпуск, соблюдая рассчитанное время выдержки для различных видов отпуска, и охладить на воздухе.

2.6 Торцы образцов зачистить шлифовальной бумагой.

2.7 Определить твердость (HRC). Полученный результат записать в протокол испытаний (приложение А, таблица 1).

2.8 Построить график изменения твердости в зависимости от температуры отпуска  $HRC = f(t)$  (приложение А, рисунок 1).

### **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Краткие теоретические сведения о отпуске закаленных сталей: превращения при отпуске; виды отпуска; характеристика механических свойств.

3.2 Расчет времени выдержки для различных видов отпуска.

3.3 Протокол испытаний (приложение А).

3.4 График изменения твердости в зависимости от температуры отпуска  $HRC = f(t)$ .

3.5 Выводы по проделанной работе.

### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Что такое отпуск?

2 Разновидности отпуска.

3 Какие превращения происходят в структуре закаленной стали при ее нагреве до критических точек  $A_{C1}$ ?

4 Структурные составляющие, образующиеся в закаленных сталях при раз-

личных видах отпуска.

5 Как изменяются механические свойства закаленных углеродистых сталей в зависимости от вида отпуска?

6 Температурный интервал нагрева образца при а) низкотемпературном; б) среднетемпературном; в) высокотемпературном отпуске.

7 Область применения низкотемпературного отпуска.

8 Область применения среднетемпературного отпуска.

9 Область применения высокотемпературного отпуска.

10 Как определяется время выдержки при различных видах отпуска.

11 Что такое улучшение, когда оно применяется?

## ЛИТЕРАТУРА

1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008

2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009

3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013

4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Протокол испытаний

| № образца | Марка стали | Диаметр или толщина образца, мм | Твердость в закаленном состоянии |    | Время выдержки при отпуске $\tau_B$ , мин. | Твердость HRC после отпуска при температуре |        |        |
|-----------|-------------|---------------------------------|----------------------------------|----|--|---|--------|--------|
|           |             |                                 |                                  |    |  | 200° C                                      | 400° C | 600° C |
|           |             |                                 | HRC                              | HB |  |   |        |        |
|           |             |                                 |                                  |    |  |   |        |        |

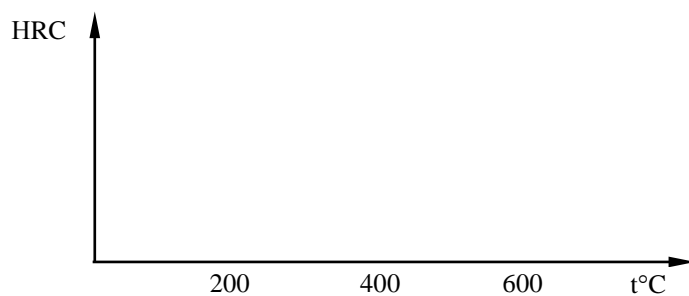


Рисунок 1 – Зависимость твердости углеродистых сталей от температуры отпуска

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ СТАЛИ МЕТОДОМ ТОРЦОВОЙ ЗАКАЛКИ

*Цель работы:* освоить методику определения прокаливаемости стали и определить прокаливаемость углеродистой стали.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* муфельная печь; твердомер Роквелла; образцы для торцовой закалки (различных марок); стальной цилиндрический стакан с графитовой подставкой и крышкой; установка для торцевой закалки; наждачная бумага.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Под *прокаливаемостью* стали понимают способность стали закаливаться на определенную глубину сечения образца (детали).

Величина прокаливаемости является одним из главных критериев обоснованного выбора марки стали для изготовления деталей машин и инструментов. В зависимости от условий работы этих изделий сталь должна обладать соответствующей прокаливаемостью. Если изделия должны отличаться высокими свойствами по всему сечению, когда действующие напряжения распределены по сечению однородно и отличаются высоким уровнем значений, необходимо выбирать стали с высокой прокаливаемостью, чтобы по всему сечению при закалке образовывалась мартенситная структура, а после отпуска – структура сорбита. Для изделий, работающих в условиях изгиба или кручения, когда максимальные напряжения, возникающие в условиях их службы, действуют в поверхностном слое, целесообразно применять стали с небольшой прокаливаемостью, у которых после закалки структура мартенсита находится в основном в пределах слоя, воспринимающего основную нагрузку.

Прокаливаемость определяется составом стали, природной величиной зерна, условиями нагрева и охлаждения.

Основным фактором, определяющим прокаливаемость стали, является крити-

ческая скорость охлаждения  $V_K$ , зависящая от состава стали. При закалке стального цилиндрического образца скорость охлаждения распределится по сечению следующим образом: она будет наибольшей у поверхности и наименьшей в середине образца (рисунок 1. а).

Если действительная скорость охлаждения в сердцевине превысит критическую ( $V'''_K > V_K$ ), то сталь получит мартенситную структуру (М) по всему сечению и будет иметь сквозную прокаливаемость (рисунок 1. г). Если действительная скорость охлаждения в сердцевине будет меньше  $V_K$  ( $V''_K < V'_K < V_K$ ), то образец прокалится только на некоторую глубину  $h'$  или  $h''$  и прокаливаемость будет неполной (рисунок 1. б, в). В этом случае в сердцевине произойдет распад аустенита с образованием структуры феррита (Ф) и карбидов (К): троостита, сорбита или перлита. Следовательно, *прокаливаемость увеличивается по мере понижения критической скорости закалки.*

Так как в сталях при содержании углерода от 0,3 до 0,8 % критическая скорость закалки уменьшается от 1000 до 180 °C/c, то  $V_K$  будет зависеть от содержания углерода в стали: *прокаливаемость будет увеличиваться с повышением содержания углерода в стали.*

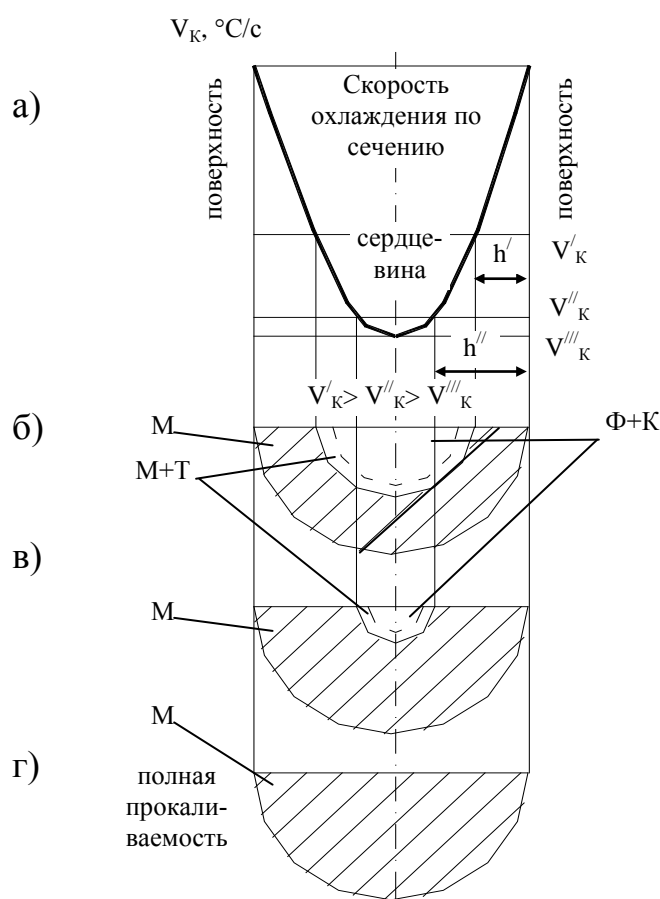


Рисунок 1 – Зависимость прокаливаемости от величины критической скорости закалки (заштрихованная область – прокаленный слой)

Существенное влияние на прокаливаемость оказывает величина аустенитных зерен. Измельчение зерен аустенита приводит к повышению  $V_K$  и уменьшению прокаливаемости. Однако укрупнение зерен ведет к ухудшению механических свойств, поэтому использование укрупнения зерна для увеличения прокаливаемости не рекомендуется.

Прокаливаемость стали также повышается с увеличением температуры нагрева под закалку и длительности нагрева (в этом случае наблюдается рост аустенитного зерна).

Критерием прокаливаемости считают расстояние от поверхности до полумартенситной зоны – 50 % мартенсита + 50 % троостита ( $D_{50}$ ), так как ее легко определить по твердости и путем микроанализа. Твердость полумартенситного слоя определяется содержанием углерода в стали (таблица 1) и может быть заранее известна.

Таблица 1 – Зависимость твердости полумартенситной зоны от содержания углерода

| Содержание углерода, % | Твердость полумартенситной зоны, HRC |
|------------------------|--------------------------------------|
| 0,23.....0,27          | 30                                   |
| 0,28.....0,32          | 35                                   |
| 0,33.....0,42          | 40                                   |
| 0,43.....0,52          | 45                                   |
| 0,53.....0,62          | 50                                   |

Полумартенситная структура не всегда обеспечивает требуемые механические свойства, поэтому иногда прокаливаемость определяют по толщине слоя, состоящего из 95 % ( $D_{95}$ ) или 99 % ( $D_{99}$ ) мартенсита. Следует отметить, что величины прокаливаемости  $D_{50}$ ;  $D_{95}$  и  $D_{99}$  связаны между собой следующим образом:  $D_{95} = 0,67 D_{50}$ ;  $D_{99} = 0,47 D_{50}$ .

Диаметр образца, в котором полумартенситная зона образуется в центре, называют *критическим* (реальным) *диаметром*  $D_K$ . Детали, имеющие критический диаметр, прокаливаются насквозь. Очевидно, что сквозная прокаливаемость будет наблюдаться и для деталей, имеющих  $D < D_K$ . Практическое значение критического

диаметра состоит в том, что, зная  $D_K$ , возможно определить наибольшее сечение детали, изготовленной из данной стали, которая может быть закалена насквозь. Критический диаметр определяется, помимо всего, характером охлаждающей среды: с увеличением скорости охлаждения  $D_K$  увеличивается.

Прокаливаемость одной и той же стали может колебаться в значительных пределах в зависимости от изменения химического состава, величины зерна, размера и формы изделия, поэтому ее характеризуют не кривой, а полосой прокаливаемости.

Для экспериментального определения прокаливаемости наименее трудоемким является *метод торцевой заправки* (ГОСТ 5657-69).

### 1.1 Метод торцевой заправки

Цилиндрический образец, диаметром 25 мм и длиной 100 мм, нагретый до температур заправки, охлаждают струей воды только с торца на специальной установке (рисунок 2).

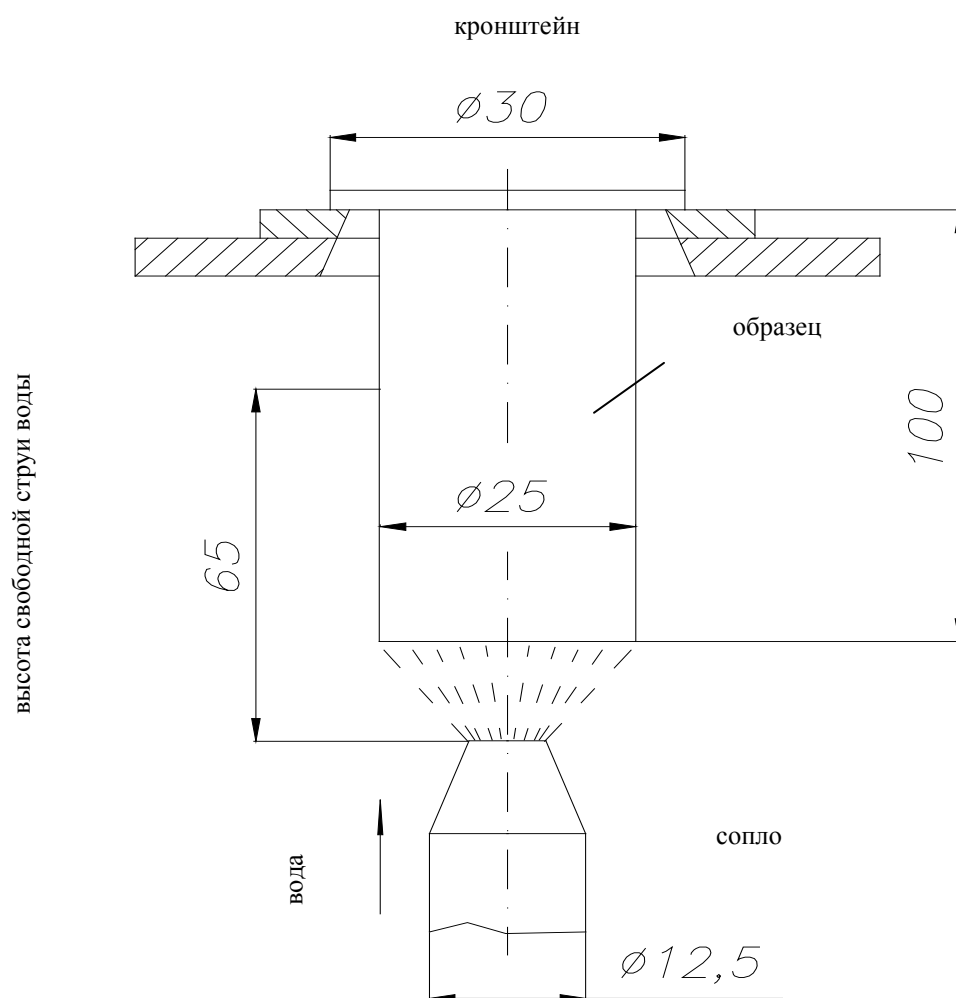
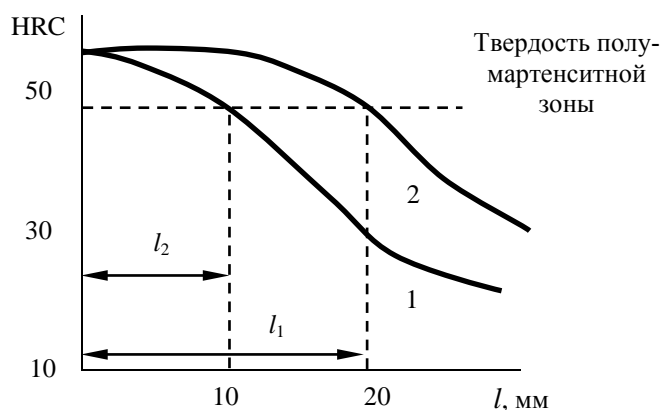


Рисунок 2 – Схема установки для определения прокаливаемости

После охлаждения образца измеряют твердость по образующей цилиндра и строят график изменения твердости по длине образца (рисунок 3).



1 – сталь с низкой прокаливаемостью; 2 – с высокой прокаливаемостью

Рисунок 3 – Распределение твердости по длине образца после торцевой закалки для сталей с различной прокаливаемостью

Оригинальным в этом способе является то, что каждая точка поверхности стандартного образца охлаждается с различной и вполне определенной скоростью. Сопоставление двух кривых (рисунок 3) наглядно показывает, что сталь, характеризующаяся кривой 2, имеет более высокую прокаливаемость, чем сталь, у которой твердость изменяется в соответствии с кривой 1.

Расстояние от торца до зоны с полумартенситной твердостью, называемое характеристическим расстоянием, и определяет прокаливаемость стали ( $l_1$  и  $l_2$  на рисунке 3). Чем больше характеристическое расстояние, тем больше прокаливаемость. Так как  $l_1 > l_2$ , то сталь 1 имеет большую прокаливаемость чем сталь 2.

По характеристическому расстоянию с помощью специальных номограмм можно определить критические диаметры для деталей различной формы и размеров, охлаждаемых при закалке погружением в разные среды. В изделиях, имею-

щих  $\varnothing < 25$  мм, прокаливаемость часто определяется не по распределению твердости, а по виду излома (на микроструктуре хорошо видны границы мартенситной зоны).

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Нагреть образцы до температуры закалки  $840...860^{\circ}$  С и выдержать 30 минут.

2.2 Быстро перенести образец в установку, закрепить его в кронштейне.

2.3 Охладить торцовую поверхность образца струей воды, имеющей температуру  $18...20^{\circ}$  С. При этом по мере удаления от торца скорость охлаждения образца по его длине уменьшается.

2.4 После полного охлаждения образец снять, сошлифовать по его длине полосу шириной 2 мм и, начиная от торца, через каждые  $1,5...2$  мм измерить твердость на приборе Роквелла по шкале HRC. Сделать не менее 20 измерений. Полученные результаты занести в протокол испытаний (приложение А, таблица 1).

2.5 По данным замера твердости у образцов различных марок стали построить для них графики изменения твердости в зависимости от расстояния до торца (приложение А, рисунок 1).

2.6 По таблице 1 для исследуемых сталей определить твердость их полумартенситной зон.

2.7 Определив твердость полумартенситных зон, найти глубину прокаливаемости исследуемых сталей  $l_1$  и  $l_2$  в мм. Полученные результаты занести в протокол испытаний (приложение А, таблица 2).

2.8 По найденным значениям  $l_1$  и  $l_2$  по номограмме определить критические диаметры в зависимости от среды охлаждения (при  $L/D = 10$ ). Полученные результаты занести в протокол испытаний (приложение А, таблица 2).

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Краткие теоретические сведения.

3.2 Схема установки для определения прокаливаемости методом торцовой

закалки.

3.3 Протокол испытаний.

3.4 Выводы о проделанной работе.

#### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Прокаливаемость – определение.
- 2 Факторы, влияющие на прокаливаемость стали.
- 3 Порядок измерения твердости при торцовой закалке.
- 4 Какие стали имеют большую прокаливаемость и почему?
- 5 Как определить критические диаметры для деталей различной формы и размеров?
- 6 Какая связь между прокаливаемостью и скоростью охлаждения?
- 7 Как определить глубину прокаливаемости зная твердость?
- 8 Реальный критический диаметр – определение.
- 9 Как влияет размер зерна на прокаливаемость?
- 10 При каком условии выполняется сквозная прокаливаемость?

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009
- 3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Протокол измерения твердости по длине образца

| Марка стали |                                       |                |
|-------------|---------------------------------------|----------------|
| N измерений | Расстояние от закаливаемого торца, мм | Твердость, HRC |
| 1           |                                       |                |
| 2           |                                       |                |
| ...         |                                       |                |
| 20          |                                       |                |



Рисунок 1 – Кривые прокаливаемости

Таблица 2 – Результаты испытаний на прокаливаемость

| Марка стали | Твердость полумартенситной зоны, HRC | Глубина прокаливаемости $l$ , мм | Критический диаметр $D_K$ , мм |
|-------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
|             |                                      |                                  |                                |

# СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

*Цель работы:* закрепление знаний о принципах легирования конструкционных сталей различного назначения, их составах, термической обработке, структуре, свойствах и областях применения.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Легированными* называют стали, содержащие специально введенные в них легирующие элементы. В одних случаях сталь считают легированной при введении в нее тысячных долей процента легирующего элемента (например, бора). В других, для того, чтобы считать сталь легированной данным элементом, требуется содержание его в несколько сотых или даже десятых долей процента (V, Nb, Zr и т.п.). А для того, чтобы считать сталь легированной кремнием или марганцем, необходимо их содержание более, примерно, 0,5...0,8 %.

Для легирования конструкционных сталей широко используют Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Ti, Al.

Маркируют конструкционные легированные стали следующим образом: первые две цифры указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента, а далее следуют буквы, указывающие элементы, которыми легирована данная сталь (А – N, Б – Nb, В – W, Г – Mn, Д – Cu, К – Co, М – Mo, Н – Ni, П – P, Р – В, С – Si, Т – Ti, Ф – V, Х – Cr, Ц – Zr, Ю – Al), причем при содержании легирующего элемента, превышающем 1 %, за буквенным индексом следует цифра, показывающая его примерное содержание в процентах. Например: 40Х (0,36...0,44 % С; 0,8...1,0 % Cr), 31Х19Н9МВБТ (0,28...0,35 % С; 18...20 % Cr; 8...10 % Ni; 1,0...1,5 % Mo; 1,0...1,5 % W; 0,2...0,5 % Nb; 0,2...0,5 % Ti;).

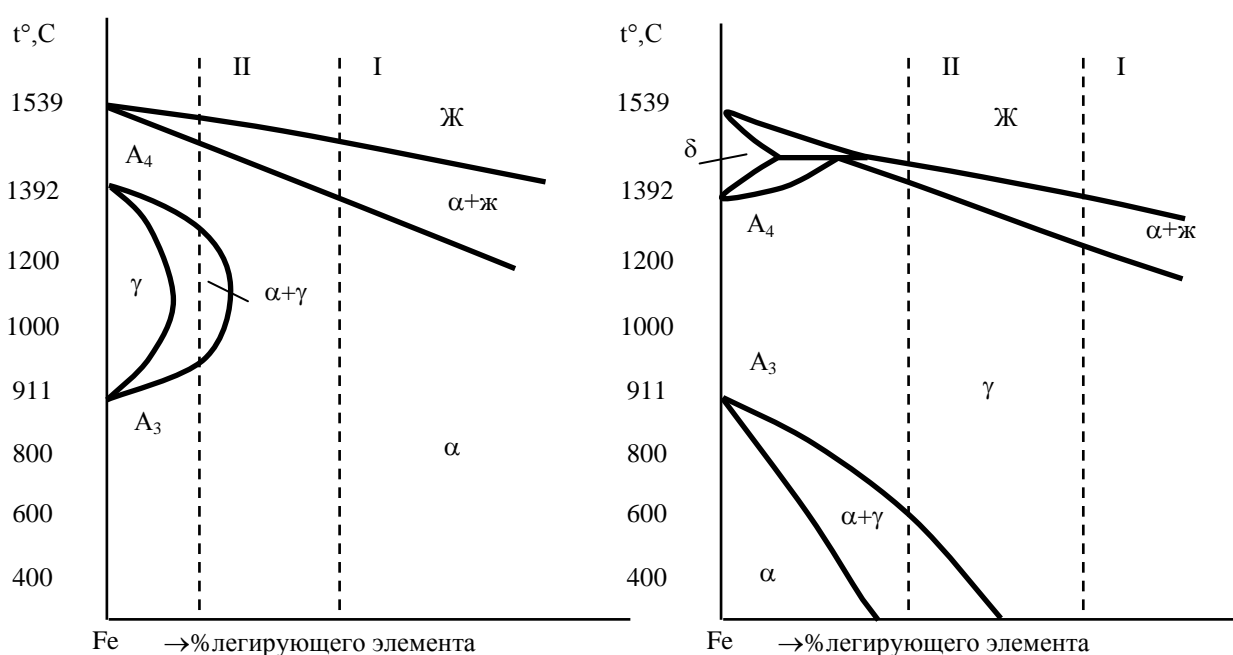
*Целями легирования* являются изменения технологических характеристик (например, прокаливаемости), теплостойкости, комплекса механических и (или) физико-химических свойств.

Легирование изменяет эти свойства прежде всего вследствие воздействия на структуру, поскольку легирующие элементы, взаимодействуя с железом и углеродом, оказывают влияние на протекание полиморфного превращения ( $\alpha \rightleftharpoons \gamma$ ), положение (температуры) критических точек, концентрацию углерода в эвтектоиде (перлите), характер образуемых карбидов и других промежуточных фаз.

По влиянию на полиморфное превращение легирующие элементы подразделяют на *альфа-стабилизаторы* и *гамма-стабилизаторы*.

*Альфа-стабилизаторы* – это элементы, расширяющие температурный интервал существования феррита ( $\alpha$ -фазы), т.е. повышающие точку  $A_3$  – температуру линии GS, и понижающие точку  $A_4$  – температуру линии NJ (рисунок 1. а). К элементам этого типа относятся Cr, Si, W, Mo, V, Al (до 8 % Cr понижает точку  $A_3$ ).

При легировании этими элементами возможно частичное (сплав II, рисунок 1. а) или полное устранение  $\alpha \rightleftharpoons \gamma$  превращения при нагреве и охлаждении. Стали, в которых отсутствует  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение, называются *ферритными*. Из-за отсутствия  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения в сталях ферритного класса невозможно образование мартенсита и, следовательно, их нельзя упрочнять закалкой на мартенсит. К ферритным относят ряд нержавеющей сталей с низким содержанием углерода и высоким содержанием Cr (например, 12X17, 15X28), а также некоторые стали специального назначения (например, некоторые трансформаторные).



а)

б)

Рисунок 1 – Зависимость положения критических точек на диаграмме железо–легирующий элемент: а – открытая  $\alpha$ –область; б – открытая  $\gamma$ –область

*Гамма-стабилизаторы* расширяют температурный интервал стабильности аустенита, т.е. понижают точку  $A_3$  и повышают точку  $A_4$  (рисунок 1. б). Такое влияние на полиморфизм оказывают Ni, Mn, Pt. При легировании  $\gamma$ –стабилизаторами возможно частичное или полное (соответственно, сплавы II и I, рисунок 1. б) подавление  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения и получение сталей *аустенитного* класса (сплав I, рисунок 1. б). Стали аустенитного класса также, как и ферритные, невозможно упрочнять закалкой на мартенсит. К аустенитным относятся многие нержавеющие и жаропрочные стали, например, типа 04X18H10, 37X12H8Г8МФБ.

По взаимодействию в сталях с углеродом легирующие элементы делят на *образующие* и *необразующие карбиды*.

К первым относятся переходные металлы, расположенные в периодической таблице левее железа (Mn, Cr, Mo, W, V, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf). Никель, кобальт, кремний, алюминий, медь и ряд других элементов карбидов в сталях не образуют. Легирующие элементы могут растворяться в цементите, образуя легированный цементит.

Почти все легирующие элементы уменьшают концентрацию углерода в эвтектоиде (перлите) и предельную растворимость его в аустените.

Большинство легирующих элементов (за исключением Co) увеличивают устойчивость переохлажденного аустенита в перлитной области ( $500 \dots 700^\circ \text{C}$ ). На «С–диаграммах» изотермического превращения аустенита это проявляется в смещении кривых вправо, т.е. в область больших времен (рисунок 2).

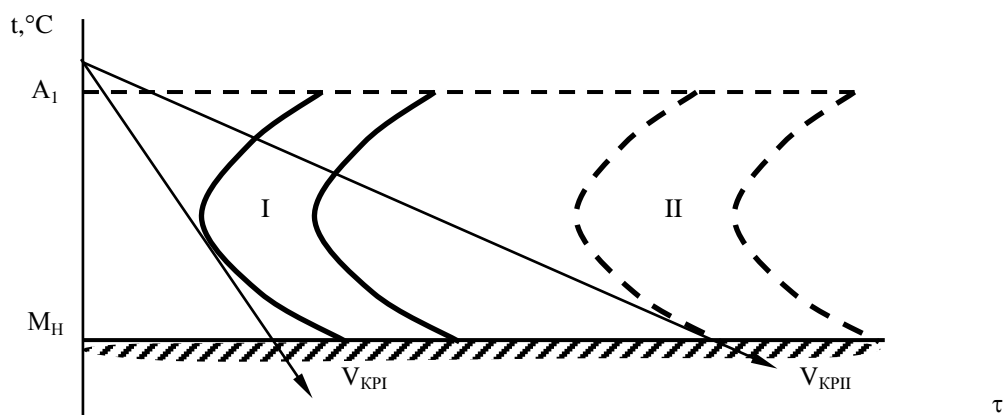


Рисунок 2 – Положение «С–диаграммы» для: I – углеродистой стали; II – легированной стали

Увеличение устойчивости аустенита приводит к уменьшению критической скорости закалки ( $V_{кр}$ ). В результате повышается прокаливаемость, а для изделий малых сечений появляется возможность закалки в менее резких охладителях (в масле), что снижает вероятность брака термической обработки.

Легирование (за исключением Co, Al) снижает температуры начала и конца мартенситного превращения ( $M_H$  и  $M_K$ ) и увеличивает количество остаточного аустенита в стали после закалки.

Одним из важных последствий легирования является замедление превращений при отпуске и смещение их в область более высоких температур. Наиболее эффективно процесс распада затормаживают Cr, Mo, W, V, Si и ряд других элементов. Это связано с замедлением процессов диффузии, торможением и замедлением характера карбидных превращений при отпуске. При легировании W, Mo, V, Nb, Ti, Ta, Zr возможно появление эффекта вторичного твердения – увеличение прочности при отпуске в районе 500...600° C вследствие выделения дисперсных карбидов типа  $Mo_2C$ ,  $W_2C$ , VC, TiC и (или) интерметаллов.

Существует несколько принципов классификации легированных сталей.

– *По структуре в отожженном состоянии и характеру  $\alpha \leftrightarrow \gamma$  превращения.*

В этом случае выделяют стали перлитного, ферритного, аустенитного класса. Стали перлитного класса благодаря возможности при нагреве полного превращения феррита в аустенит можно упрочнять закалкой на мартенсит.

– *По структуре в нормализованном состоянии; при таком подходе выделяют стали перлитного, мартенситного и аустенитного классов (рисунок 3. а, б, в соответственно).*

– *По содержащимся легирующим элементам:* хромистые, хромо-никелевые, хромоникельмолибденовые и т.п.

– *По назначению:* машиностроительные, предназначенные для изготовления деталей машин и механизмов, и строительные, используемые для металлоконструк-

ций и сооружений.

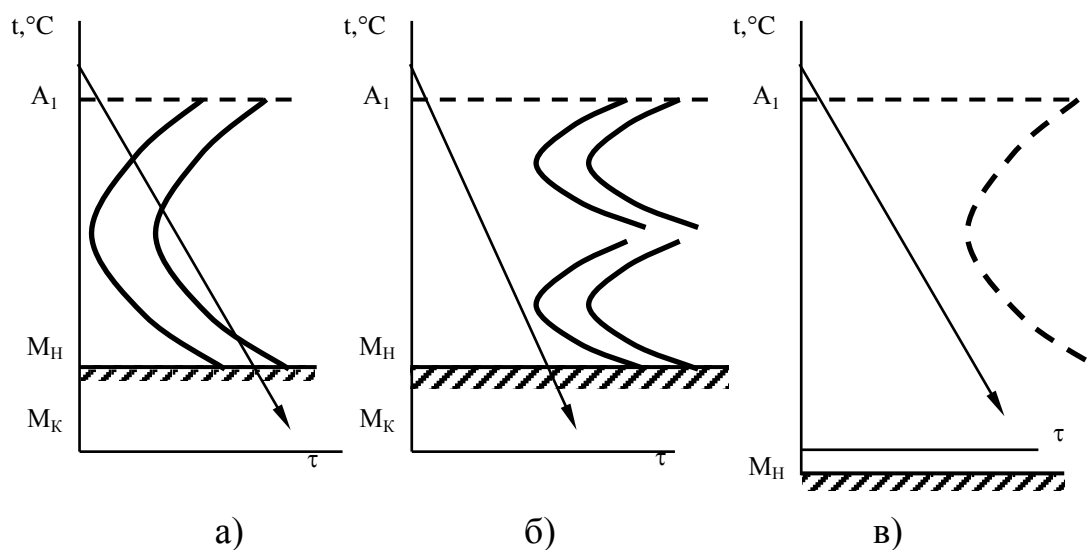


Рисунок 3 – Диаграммы изотермического распада аустенита сталей различных классов (наклонная линия – график охлаждения на воздухе): а – сталь перлитного класса (низколегированная); б – сталь мартенситного класса (высоколегированная); в – сталь аустенитного класса (с высоким содержанием Ni, Mn).

Принципы легирования сталей определяются, в основном, назначением последних. Большинство конструкционных цементуемых и улучшаемых сталей легируют для увеличения прокаливаемости, т.к. последняя определяет возможность получения высоких механических свойств по всему сечению изделия. Для этой цели широко используют Cr, Ni, Mn, В, Мо, Si, W, причем суммарное содержание легирующих элементов не превышает, как правило, 5...6 % (Cr – до 1,5 %, Mn – до 1 %, Мо – до 0,5 %, Ni – до 3,5 %, Si – до 2%). Особенно эффективно повышает прокаливаемость совместное легирование хромом и никелем, а также хромом, никелем и молибденом. Например, сталь типа 30X2H4MA прокаливается в сечениях, превышающих 250 мм.

Одновременно с увеличением прокаливаемости легирование увеличивает прочность феррита. Особенно сильно прочность феррита увеличивают Si, Mn, Ni. Это является одной из причин легирования рессорно-пружинных сталей кремнием, марганцем (марки типа 65Г, 50С2, 70С3 и др.). Мо (W) в количествах

0,15...0,5 % (0,3...0,8 %) вводятся для уменьшения склонности сталей к обратной отпускной хрупкости.

Для уменьшения склонности к росту зерна аустенита стали легируют V, Ti, Nb, Zr в количестве 0,03...0,2 %.

Для снижения порога хладноломкости стали легируют никелем. Например, в улучшенном состоянии при  $-125^{\circ}\text{C}$  ударная вязкость стали 25X2Г2М составляет 0,18 МДж/м<sup>2</sup>, а стали 25X2Н4М – 0,105 МДж/м<sup>2</sup>.

Высокую стойкость против коррозии нержавеющей сталью сообщает легирование хромом в количестве от 12 % и более. Дополнительное улучшение свойств может достигаться легированием никелем, молибденом. Стойкость против межкристаллитной коррозии (коррозии по границам зерен) увеличивает легирование этих сталей титаном, ниобием (около 0,1 %). Стали типа 20X13, 40X13 можно упрочнять закалкой на мартенсит. Как уже отмечалось, ферритные и аустенитные нержавеющие стали (типа 12X17, 08X18НЮТ) термической обработкой не упрочняются и применяются, как правило, в отожженном состоянии. У некоторых сложнолегированных нержавеющей сталей (аустенитно-мартенситных, мартенситностареющих) можно получать высокопрочное состояние закалкой с последующим старением (стали типа 09X15Н8Ю, 04X11Н9М2Д2ТЮ).

Жаропрочные стали для обеспечения стойкости против окисления при высоких температурах (жаростойкости) легируют хромом в количестве 12...35 % (дополнительно жаростойкость увеличивается легированием несколькими процентами кремния и алюминия), а для повышения длительной прочности при высоких температурах (жаропрочности) – молибденом, вольфрамом, ванадием, ниобием и некоторыми другими элементами. Жаропрочные стали аустенитного класса обладают большей жаропрочностью, чем ферритные; для стабилизации аустенита аустенитные стали легируют 9...20 % никеля; в некоторых сталях для их удешевления никель частично заменен марганцем (08X16Н13М2Б, 37X12Н8Г8МФБ).

Из сталей, обладающих высоким сопротивлением износу, относительно широко используется сталь типа Г13, содержащая 1,0...1,3 % С и 11...14 % Мп. При охлаждении от высоких температур на воздухе сталь сохраняет аустенитную структуру

(устойчивость аустенита обусловлена высоким содержанием Mn и C). Износостойкость стали объясняется сильным упрочнением при пластической деформации.

Основными требованиями, предъявляемыми к подшипниковым сталям, являются высокие износостойкость, сопротивление усталостному разрушению. Эти свойства обеспечиваются высоким содержанием углерода (~1 %) и термической обработкой на структуру с высокой твердостью, состоящую из мартенсита с мелкими нерастворимыми вторичными карбидами (закалка с низким отпуском). Хром (0,6...1,5 %) вводится для увеличения прокаливаемости (марки ШХ6, ШХ9, ШХ15).

Выбор состава (марки) стали, характера термической обработки определяется требованиями к свойствам изделий, условиям работы этих изделий.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Изучить структуру, состав, маркировку, свойства, области применения 6 конструкционных легированных сталей (структура изучается на готовых металлографических образцах, а остальное – по приложению Б) и занести в таблицу 1 приложения А.

2.2 Замерить твердость изучаемых сталей (на образцах для измерения твердости) и занести в таблицу 1 приложения А.

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Краткие теоретические сведения.

3.2 Зарисовки схем микроструктур изучаемых сталей.

3.3 Марки сталей и их химический состав.

3.4 Цели легирования каждым содержащимся в стали элементом.

3.5 Структурные составляющие и фазы.

3.6 Термическая обработка.

3.7 Твердость изучаемых сталей.

3.8 Выводы по проделанной работе.

## **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Какие стали называются легированными? Цель легирования.



- 2 В каких количествах легирующие элементы должны содержаться в сталях для того, чтобы считать эти стали легированными данным элементом?
- 3 Какие буквенные индексы в марках сталей соответствуют Cu, Al, Nb, V, Mn, P и другим элементам?
- 4 Как классифицируются легирующие элементы по влиянию на полиморфные превращения железа?
- 5 Как подразделяются легирующие элементы по взаимодействию с углеродом в сталях?
- 6 Какие из широко применяемых легирующих элементов не образуют карбидов в сталях?
- 7 Как влияют легирующие элементы на концентрацию углерода в перлите, предельную растворимость углерода в аустените?
- 8 Как влияет легирование различными элементами на критическую скорость закалки, прокаливаемость?
- 9 Как влияет легирование на температуры начала и конца мартенситного превращения (точки  $M_H$  и  $M_K$ )?
- 10 Принципы классификации легированных сталей.
- 11 На какие классы подразделяют стали по структуре в нормализованном состоянии?
- 12 Какие стали (каких классов) можно упрочнять закалкой на мартенсит?
- 13 Какие элементы снижают порог хладноломкости стали?
- 14 Какие элементы эффективно увеличивают коррозионную стойкость сталей?
- 15 Какими элементами легируют стали для обеспечения жаропрочности и жаростойкости?
- 16 Приведите пример износостойкой стали. Причины ее высокой износостойкости.
- 17 Какими свойствами должна обладать шарикоподшипниковая сталь?

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных матери-

алов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009

3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1

| № п/п | Схема микроструктуры | Марка и состав стали | Цели легирования | Структурные составляющие и фазы | Режим термической обработки | Твердость HRB, HRC |
|-------|----------------------|----------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------|
|       |                      |                      |                  |                                 |                             |                    |

### ПРИЛОЖЕНИЕ Б

1 *Улучшаемая сталь 40X перлитного класса* (0,36...0,44 % С; 0,17...0,37 % Si; 0,30...0,80 % Mn; 0,8...1,0 % Cr) применяется для коленчатых валов, фрикционных дисков, зубчатых колес, незотированных гильз цилиндров, шатунных болтов и гаек, коромысел клапанов и т.п. Механические свойства после закалки от 860° С в масле и отпуска при 500° С с последующим охлаждением в воде или масле:  $\sigma_{0,2} = 800$  МПа;  $\sigma_B = 1000$  МПа;  $\delta = 10$  %;  $\psi = 45$  %;  $a_n = 0,6$  МДж/м<sup>2</sup>. Структура – сорбит отпуска. Фазы – феррит и карбиды: Fe<sub>3</sub>C, Cr<sub>3</sub>C.

2 *Нержавеющая сталь 12X17 ферритного класса* (до 0,12 % С; до 0,8 % Mn; 16...18 % Cr) применяется в отожженном состоянии для оборудования пищевой и легкой промышленности, консервных заводов, для предметов домашнего обихода, кухонной утвари; применяется также как окалиностойкая до 850° С. Механические свойства (отжиг при 760...780° С, охлаждение на воздухе или в воде):  $\sigma_{0,2} = 250$  МПа;  $\sigma_B = 400$  МПа;  $\delta = 20$  %. Структура – феррит и карбиды. Фазы – легированный феррит и карбиды – Fe<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>. Сталь ферритного класса ( $\alpha \rightarrow \gamma$  превращение отсутствует).

3 *Нержавеющая сталь 08X18N10 аустенитного класса* (0,08 % С; 17...19 % Cr; 10...12 % Ni) применяется для сварных изделий, работающих при температурах до –253° С и в средах средней агрессивности; используется в виде холоднокатанного листа и ленты. Механические свойства после закалки от 1050...1100° С в воде или на воздухе:  $\sigma_{0,2} = 200$  МПа;  $\sigma_B = 480$  МПа;  $\delta = 40$  %. Структура – аустенит.

4 *Нержавеющая сталь 12Х18Н9Т аустенитного класса* (0,12 % С; 17...19 % Cr; 8...10 % Ni; 0,08 % Ti). Область применения аналогична стали 08Х18Н10З. Механические свойства после закалки от 1050...1100° С в воде или на воздухе:  $\sigma_{0,2} = 200$  МПа;  $\sigma_B = 550$  МПа;  $\delta = 40$  %. Структура – аустенит и карбиды титана. Фазы – аустенит и TiC.

5 *Шарикоподшипниковая сталь перлитного класса ШХ15* (0,95...1,50 % С; 1,3...1,65 % Cr; 0,2...0,4 % Mn; 0,17...0,37 % Si). Применяется для шариковых и роликовых подшипников (шарики до  $\varnothing \sim 25$  мм, ролики  $\varnothing = 15...30$  мм), валиков топливных насосов, плунжеров, клапанов и седел клапанов и других деталей, от которых требуется высокая твердость, износостойкость. Механические свойства после закалки от 840...860° С в масле и отпуске при температуре 150...160° С в течении 2-х часов: HRC 62...66;  $\sigma_{-1} = 660$  МПа;  $a_n = 0,20...0,25$  МДж/м<sup>2</sup> (образец без надреза). Структура – очень мелкокристаллический мартенсит с равномерно распределенными мелкими вторичными карбидами (нерастворимыми при нагреве по закалку). Фазы – мартенсит отпуска и карбиды Fe<sub>3</sub>C, Cr<sub>3</sub>C. Сталь поставляется после смягчающего отжига (сфероидизации) при температуре 790...810° С, охлаждение в течении 2...6 ч вместе с печью до 550° и далее на воздухе. Твердость после отжига – HB 178...207. Структура – зернистый перлит.

6 *Износостойкая сталь 110Г13Л аустенитного класса* (0,9...1,4 % С; 11,5...15,0 % Mn; 0,3...1,0 % Si; Cr < 1,0 %; Cu < 0,3 %; Ni < 1,0 %; S < 0,05 %; P < 0,07 %; 0,2...0,3 % Mo; 0,08...0,12 % V; 0,025...0,05 % N). Применяется для корпусов шаровых мельниц, щёк дробилок, железнодорожных крестовин и стрелок, гусеничных траков, зубьев ковшей экскаваторов. Сталь обладает высоким сопротивлением износу в условиях воздействия высоких давлений или ударных нагрузок. Механические свойства после закалки от 1050 ...1100° С в воде:  $\sigma_{0,2} = 400$  МПа;  $\sigma_B = 900$  МПа;  $\delta \approx 40$  %;  $\psi \approx 50$  %. Структура – аустенит.

7 *Автоматная сталь А20* (0,17...0,24 % С; 0,15...0,35 % Si; 0,7...1,0 % Mn; 0,08...0,15 % S; до 0,06 % P). Автоматные стали отличаются хорошей обрабатываемостью резанием, что достигается содержанием в них повышенных количеств серы и свинца. В сталях сера находится в сульфидах, вытянутых вдоль направления прокатки, что приводит к ломкой, легко удаляемой стружке. Фосфор также увеличивает ломкость стружки и, увеличивая твердость стали, приводит к улучшению качества обрабатываемой поверхности. Сталь А20 используется для шестерен привода масляного насоса, валика редуктора привода спидометра, штуцера главного

цилиндра тормоза, мелких алонагруженных деталей сложной конфигурации. Сталь А20 термической обработке не подвергается. Механические свойства в горячекатаном состоянии:  $\sigma_B = 460$  МПа;  $\delta \geq 20$  %;  $\psi \geq 30$  %;  $HB \leq 168$ .

## **ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ\***

*Цель работы:* ознакомиться с цветными металлами и сплавами (медными и алюминиевыми) и антифрикционными материалами (баббитами); изучить их микроструктуру, свойства, маркировку.

\* – Работа рассчитана на 4 академических часа

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* металлографический микроскоп; микрошлифы цветных металлов и сплавов.

### **1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

#### **1.1 Медь и ее сплавы**

##### **1.1.1 Свойства меди**

*Медь* – металл красновато-розового цвета, имеющий решетку ГЦК и не имеющий полиморфных превращений.

Плотность меди  $8,94 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; температура плавления 1083° С; модуль нормальной упругости 121000 МПа. Медь диамагнитный материал, а по теплопроводности и электропроводности занимает второе место после серебра.

Медь устойчива во многих агрессивных средах, но окисляется на воздухе при комнатной температуре. Медь обладает хорошей технологичностью (прокатывается в тонкие листы, ленту, проволоку; хорошо паяется и сваривается).

По ГОСТ 859-78 в зависимости от содержания примесей различают следующие марки меди: М00 (99,99 % Cu), М0 (99,95 % Cu), М1 (99,90 % Cu), М2 (99,70 % Cu), М3 (99,50 % Cu) и М4 (99,0 % Cu).

Наиболее вредными примесями в меди считают свинец, вызывающий красноломкость и висмут, вызывающий также хладноломкость. Чистая медь, содержащая до 0,1 % примесей в литом и отожженном состоянии, имеет равновесную структуру, типичную для чистых металлов (рисунок 1).

Механические свойства меди в большей степени зависят от ее состояния

(таблица 1).

Недостатками меди является ее невысокая прочность, плохая обрабатываемость резанием и низкая жидкотекучесть.



Рисунок 1 – Микроструктура литой и отожженной меди. x200

Медь применяется для изготовления проводников электрического тока и различных теплообменников, поддонов, кристаллизаторов.

Таблица 1 – Механические свойства технической меди М1

| Состояние       | $\sigma_B$ | $\sigma_{0,2}$ | $\delta$ | $\psi$ | НВ  | КСУ,<br>МДж/м <sup>2</sup> |
|-----------------|------------|----------------|----------|--------|-----|----------------------------|
|                 | МПа        |                | %        |        |     |                            |
| Литое           | 160        | 35             | 25       | –      | 40  | –                          |
| Деформированное | 140        | 400            | 3        | 35     | 125 | –                          |
| Отожженное      | 220        | 75             | 50       | 75     | 55  | 1,2...1,8                  |

### 1.1.2 Медные сплавы

Сохраняя положительные свойства меди, ее сплавы обладают хорошими механическими, технологическими и антифрикционными свойствами. Для легирования медных сплавов используют элементы, растворимые в меди – Zn, Sn, Al, Be, Si, Mn, Ni.

По технологическим свойствам медные сплавы подразделяют на *деформируемые* (обрабатываемые давлением) и *литейные*; по способности упрочняться после термической обработки – на *упрочняемые* и *неупрочняемые*; по химическому составу – на *бронзы* и *латуни*.

Маркируют медные сплавы по химическому составу, используя буквы для обозначения элементов (А – алюминий; Б – бериллий; Ж – железо; К – кремний; Мг –

магний; Мш – мышьяк; Н – никель; О – олово; С – свинец; Су – сурьма; Ф – фосфор; Ц – цинк; Х – хром; Мц – марганец) и цифры, указывающие на их процентное содержание.

### 1.1.3 Латунни

Сплавы меди с цинком называются *латунями*. Они подразделяются на *двойные* или простые, содержащие Cu и Zn, и *многокомпонентные*, последние, кроме Zn, содержат и другие легирующие элементы. Практическое применение имеют латуни с содержанием Zn до 45 %, так как дальнейшее увеличение содержания цинка приводит к резкому падению прочности (рисунок 2).

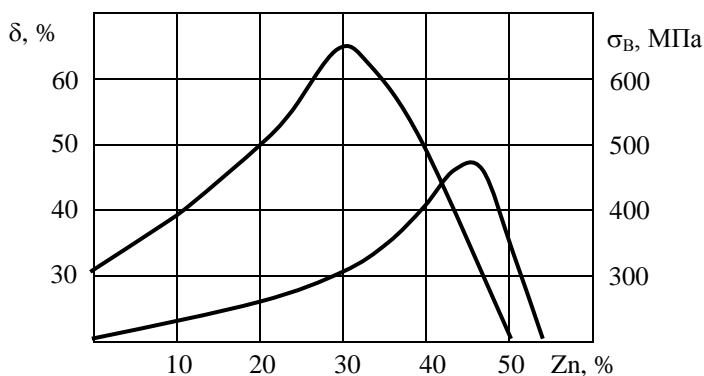
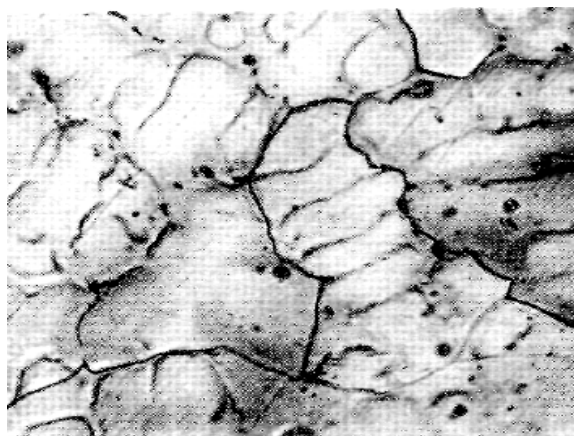


Рисунок 2 – Влияние содержания цинка на свойства деформированных и отожженных латуней

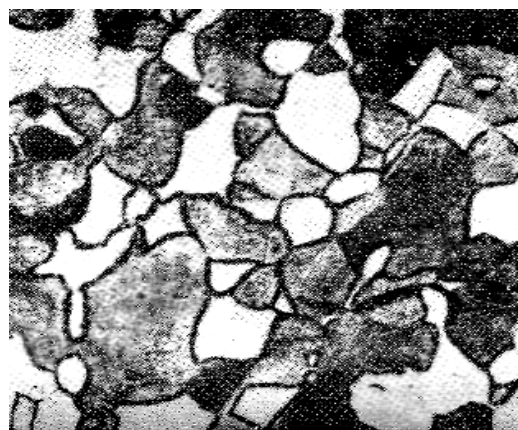
Маркируют латуни буквой Л. В деформируемых латунях, не содержащих кроме Cu и Zn других элементов, за буквой Л ставят число, показывающее среднее содержание меди (Л68 – 68 % Cu, остальное Zn). В многокомпонентных латунях после буквы Л ставят буквы – символы элементов, затем числа, указывающие содержание меди и каждого легирующего элемента, например ЛАН59–3–2: 59 % Cu, 3 % Al, 2 % Ni (остальное Zn). В марках литейных латуней указывается содержание цинка, а количество каждого легирующего элемента ставится непосредственно за буквой, обозначающей его, например ЛЦ40Мц3А (40 % Zn, 3 % Mn, 1 % Al, остальное Cu).

В зависимости от содержания цинка латуни делятся на *однофазные* – α–латуни (Zn < 39 %) и *двухфазные* – (α+β)–латуни (Zn > 39 %). Структура однофазных лату-

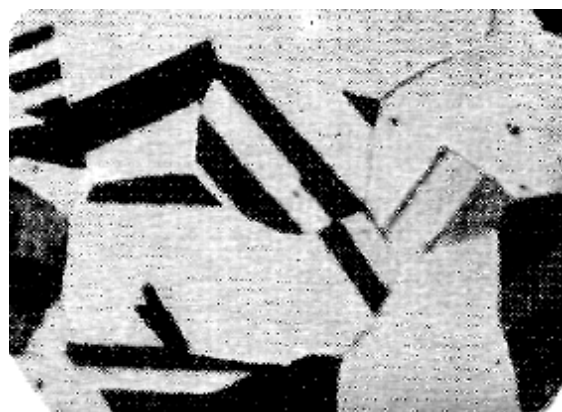
ней состоит из твердого раствора цинка в меди –  $\alpha$ -фазы (рисунок 3. а). В двухфазных латунях  $\beta$ -фаза (темные зерна на рисунке 3. б) представляет собой электронное соединение CuZn. При высоких температурах  $\beta$ -фаза имеет неупорядоченное расположение атомов и обладает пластичностью. При понижении температуры до  $468^\circ\text{C}$  с расположение атомов в этой фазе становится упорядоченным (образуется  $\beta'$ -фаза) и латунь становится твердой и хрупкой.



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Микроструктура латуни,  $\times 250$ : а – однофазной (30 % Zn); б – двухфазной (40 % Zn); в) после обработки давлением и отжига

Однофазные латуни в литом и отожженном состоянии обладают достаточной прочностью ( $\sigma_B = 240 \dots 380$  МПа), высокой пластичностью ( $\delta = 44 \dots 52$  %) и хорошо поддаются холодной деформации, значительно повышающей их прочность ( $\sigma_B = 450 \dots 600$  МПа). Однако при температурах  $300 \dots 700^\circ\text{C}$  они обнаруживают провал пластичности, и поэтому в этой области деформировать  $\alpha$ -латуни нецелесообразно.

Двухфазные латуни, по сравнению с однофазными, имеют большую прочность

и износостойкость, но меньшую пластичность. Они обладают хорошими литейными свойствами, но, несмотря на это, практически не применяются для фасонных отливок, так как имеют довольно большую усадочную раковину. Этот недостаток в меньшей мере присущ легированным латуням.

Для легирования латуней используют Sn, Al, Si, Fe, Ni. На повышение прочности латуней наиболее эффективно влияют добавки алюминия. Латунь легированная алюминием в количестве до 4 % после упрочняющей термической обработки имеют  $\sigma_B = 700$  МПа. Высокой прочностью, пластичностью и вязкостью при низких температурах характеризуются кремнистые латуни. Железо и никель снижают прочность и увеличивают деформируемость. Для улучшения обрабатываемости резанием латуни легируют свинцом (автоматная латунь ЛС59 содержит 1...2 % Pb); повышения коррозионной стойкости в морской воде – оловом (морская латунь ЛО90–1). Механические свойства некоторых деформируемых (ГОСТ 15527–70) и литейных (ГОСТ 17711–93) латуней представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Механические свойства латуней

| Марка латуни               | Химический состав          | $\sigma_B$ , МПа | $\delta$ , % | НВ        |
|----------------------------|----------------------------|------------------|--------------|-----------|
| деформируемые после отжига |                            |                  |              |           |
| Л90                        | 90 % Cu                    | 260              | 45           | 53        |
| Л60                        | 60 % Cu                    | 380              | 25           | 77        |
| ЛА–77–2                    | 77% Cu; 2 % Al             | 400              | 58           | 60        |
| ЛАН59–3–2                  | 59 % Cu; 3 % Al;<br>2 % Ni | 380              | 50           | 75        |
| ЛН65–5                     | 65 % Cu; 5 % Ni            | 400              | 65           | 60        |
| ЛЖМц59–1–1                 | 59 % Cu; 1 % Fe;<br>1 % Mn | 450              | 50           | 88        |
| ЛМц58–2                    | 58 % Cu; 2 % Mn            | 400              | 40           | 85        |
| ЛО70–1                     | 70 % Cu; 1% Sn             | 350              | 60           | 60        |
| ЛК80–3                     | 80 % Cu; 3 % Si            | 450              | 55           | 100       |
| литейные                   |                            |                  |              |           |
| ЛЦ40С                      | 40 % Zn; 1 % Pb            | 215              | 12...20      | 70...80   |
| ЛЦ40Мц3Ж                   | 40 % Zn; 3 % Mn;<br>1 % Fe | 390...490        | 10...18      | 90...100  |
| ЛЦ38Мц2С2                  | 38 % Zn; 2 % Mn;<br>2 % Pb | 245...340        | 10...15      | 80...85   |
| ЛЦ30А3                     | 30 % Zn; 3 % Al            | 290...390        | 12...15      | 80...90   |
| ЛЦ23А6Ж3Мц2                | 23 % Zn; 6 % Al;           | 700              | 7            | 160...165 |



|          |                            |           |        |          |
|----------|----------------------------|-----------|--------|----------|
|          | 3 % Fe; 2 % Mn             |           |        |          |
| ЛЦ14К3С3 | 14 % Zn; 3 % Si;<br>3 % Pb | 245...290 | 7...15 | 90...100 |

Примечание – Максимальные механические свойства обеспечивают литые в кокиль, минимальные – в песчаную форму.

Однофазные латуни выпускают в виде холоднокатаных полуфабрикатов (полос, проволоки, листов), из которых изготавливают детали методом глубокой вытяжки (радиаторные трубки, снарядные гильзы, трубопроводы), а также детали, требующие по условиям эксплуатации низкую твердость (шайбы, втулки, уплотнительные кольца). При содержании меди более 80 %  $\alpha$ -латуни называют томпаком, они имеют цвет золота и применяются в ювелирной промышленности.

Двухфазные латуни выпускают в виде горячекатаного полуфабриката (лист, прутки, труба) и изготавливают из них втулки, гайки, тройники, штуцеры, токопроводящие детали электрооборудования.

Легированные латуни, обладающие высокой коррозионной стойкостью и антифрикционными свойствами, используют в судостроении и для изготовления гаек, нажимных винтов, подшипников и других ответственных деталей.

#### 1.1.4 Бронзы

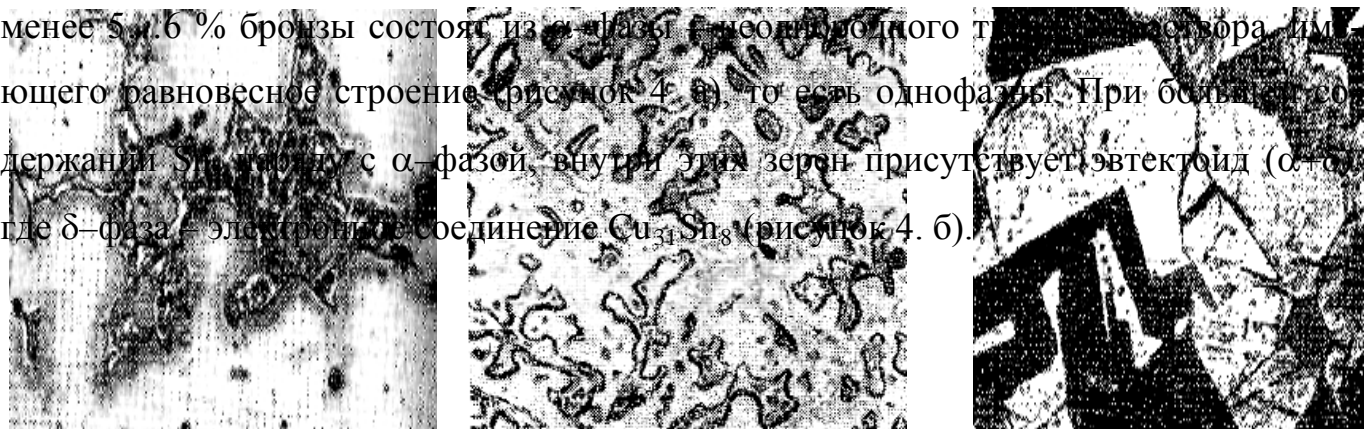
Сплавы меди с другими элементами, в числе которых наряду с другими может быть и цинк, называют *бронзами*. В зависимости от основного легирующего элемента они могут быть *оловянными, алюминиевыми, свинцовыми, марганцевыми, кремнистыми, бериллиевыми, хромовыми*. Наиболее широкое распространение получили три первых вида бронз. Используют также многокомпонентные бронзы (несколько легирующих элементов).

Бронзы обозначают буквами Бр, за которыми ставят буквы и числа. В марках деформируемых бронз сначала помещают буквы – символы легирующих элементов, а затем числа, например БрАЖ9–4: 9 % Al, 4 % Fe, остальное – Cu. В марках литейных бронз после каждой буквы указывается содержание легирующего элемента: БрО6Ц6С3 – 6 % Sn, 6 % Zn, 3 % Pb, остальное – Cu.

##### 1.1.4.1 Оловянные бронзы

Структура литых оловянных бронз отличается от равновесного состояния вследствие склонности к неравновесной кристаллизации. При содержании олова

менее 5...6 % бронзы состоят из  $\alpha$ -фазы с неоднородным строением олова, имеющего равновесное строение (рисунок 4. а), то есть однофазны. При большем содержании Sn в бронзе с  $\alpha$ -фазой, внутри этих зерен присутствует эвтектид ( $\alpha + \delta$ ), где  $\delta$ -фаза – электронное соединение  $Cu_{31}Sn_8$  (рисунок 4. б).



а)

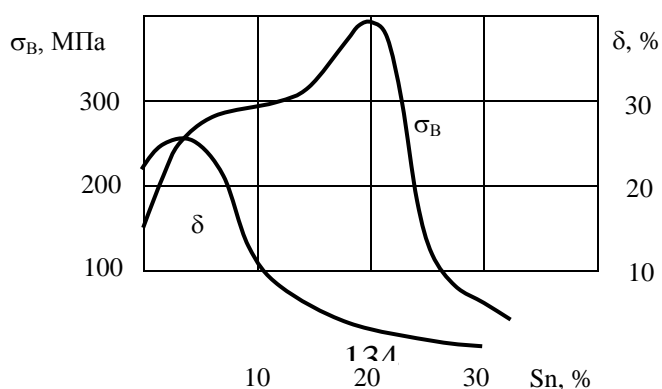
б)

в)

Рисунок 4 – Микроструктура литой бронзы: а – однофазной (6 % Sn). x200; б – двухфазной (10 % Sn). x250; в – после отжига. x200

Появление  $\delta$ -фазы, обладающей высокой твердостью и хрупкостью, вызывает резкое снижение вязкости и пластичности бронз (рисунок 5), поэтому практическое значение имеют бронзы с содержанием олова до 10...12 %.

Дополнительное легирование оловянных бронз приводит к улучшению обрабатываемости резанием и антифрикционных свойств (при введении 3...5 % Pb), снижению стоимости (5...10 % Zn), повышению литейных свойств (до 1 % P). Присадки никеля уменьшают ликвацию и повышают коррозионную стойкость.



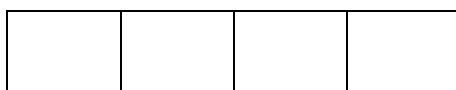


Рисунок 5 – Влияние олова на механические свойства бронз

Механические свойства некоторых деформируемых (ГОСТ 5017–74) и литейных (ГОСТ 613–79) оловянных бронз представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Механические свойства оловянных бронз

| Марка         | Химический состав                 | $\sigma_B$ , МПа | $\delta$ , % | КСУ, МДж/м <sup>2</sup> | НВ |
|---------------|-----------------------------------|------------------|--------------|-------------------------|----|
| деформируемые |                                   |                  |              |                         |    |
| БрОФ6,5–0,15  | 6,5 % Sn; 0,15 % P                | 400              | 65           | 0,49                    | 70 |
| БрОЦ4–3       | 4 % Sn; 3 % Zn                    | 350              | 40           | 0,39                    | 60 |
| БрОЦС4–7–2,5  | 4 % Sn; 7 % Zn; 2,5 % Pb          | 350              | 40           | 0,36                    | 60 |
| БрОЦСН3–7–5–1 | 3 % Sn; 7 % Zn;<br>5 % Pb; 1 % Ni | 200              | 10           | 0,27                    | 50 |
| литейные      |                                   |                  |              |                         |    |
| БрО3Ц7С5Н1    | 3 % Sn; 7 % Zn;<br>5 % Pb; 1 % Ni | 210              | 5            | –                       | 60 |
| БрО3Ц12С5     | 3 % Sn; 12 % Zn;<br>5 % Pb        | 210              | 5            | –                       | 60 |
| БрО4Ц4С17     | 4 % Sn; 4 % Zn;<br>17 % Pb        | 150              | 6            | –                       | 60 |
| БрО5Ц5С5      | 5 % Sn; 5 % Zn;<br>5 % Pb         | 180              | 4            | 2,05                    | 60 |
| БрО10Ц2       | 10 % Sn; 2 % Zn                   | 250              | 5            | 1,47                    | 80 |
| БрО10Ф1       | 10 % Sn; 1 % P                    | 270              | 3...10       | 0,88                    | 90 |

Среди медных сплавов оловянные бронзы имеют самую низкую литейную усадку, и поэтому их используют для получения сложных фасонных отливок деталей машин (БрО3Ц12С5, БрО3Ц7С5Н1) и художественного литья (БХ1, БХ2). По коррозионной стойкости в атмосферных условиях, пресной и морской воде они превосходят и медь, и латуни, и применяются для производства пароводяной аппаратуры, работающей под давлением. Бронзы, особенно двухфазные (10 % Sn), обладают высокими антифрикционными свойствами, и их используют для изготовления деталей подшипников (БрОФ10–1). Они обладают высокими упругими свойствами и сопротивлением усталости и используются для изготовления круглых и плоских пру-

жин во многих отраслях машиностроения (БрОЦ–4–3, БрОФ–6–0,15, БрОЦС–4–4–2,5). Однако их применение несколько ограничено в связи с дефицитностью олова.

Обработке давлением подвергают только однофазные бронзы (5...6 % Sn), предварительно подвергнутые диффузионному отжигу, для устранения дендритной структуры и улучшения обрабатываемости.

#### **1.1.4.2 Свинцовые бронзы**

Свинцовые бронзы содержат до 30 % свинца. Свинец не растворяется в меди ни в жидком, ни в твердом состоянии, поэтому структура свинцовистой бронзы состоит из механической смеси кристаллов более твердой меди (белого цвета) и мелких включений мягкого свинца (темного цвета (рисунок 6)).

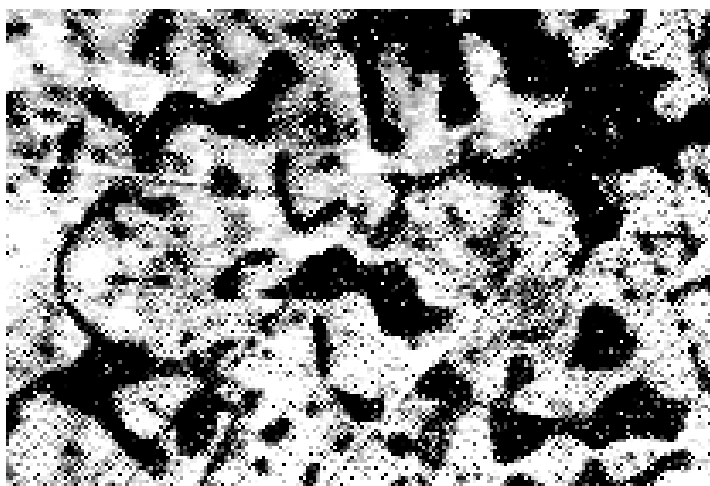


Рисунок 6 – Микроструктура свинцовистой бронзы БрС30. x100

Свинец улучшает обработку резанием и повышает антифрикционные свойства, выполняя роль смазки. Свинцовые бронзы обладают высокой теплопроводностью, хорошо воспринимают ударные нагрузки и работают на усталость. Их применяют для изготовления вкладышей ответственных высоконагруженных подшипников, работающих при больших скоростях. Большим недостатком этого вида бронз является склонность к ликвации, для устранения этого явления свинцовые бронзы дополнительно легируют никелем (БрСН60–2,5).

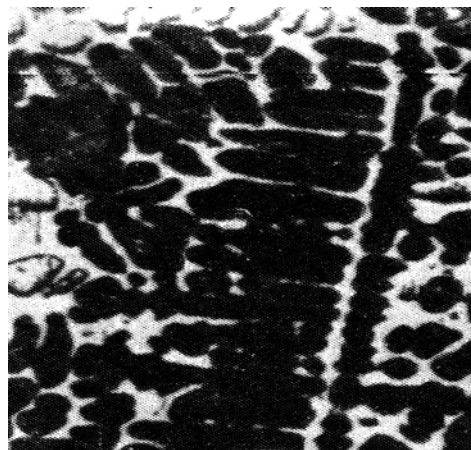
Механические свойства оловянных бронз невысоки: для бронзы БрС30 при заливке в кокиль  $\sigma_B \approx 60$  МПа,  $\delta \approx 4$  %.

#### **1.1.4.3 Алюминиевые бронзы**

Алюминиевые бронзы содержат не более 11 % алюминия. При содержании Al до 9 %, они состоят из  $\alpha$ -твердого раствора алюминия в меди (рисунок 7. а). При большем содержании алюминия структура сплава состоит из эвтектоида  $\alpha+\delta$  где  $\delta$  – электронное соединение  $Cu_{32}Al_{19}$ . (рисунок 7. б).



а)



б)

Рисунок 7 – Микроструктура алюминиевой бронзы в литом состоянии: а – однофазная (5 % Al); б – двухфазная (10 % Al). x250

Однофазные сплавы имеют высокую пластичность, но низкую прочность, сплавы со структурой ( $\alpha+\delta$ ) имеют более высокую прочность, но их пластичность резко падает по мере увеличения количества  $\delta$ -фазы (рисунок 8). Оптимальными свойствами обладают сплавы с содержанием 5...8 % Al.

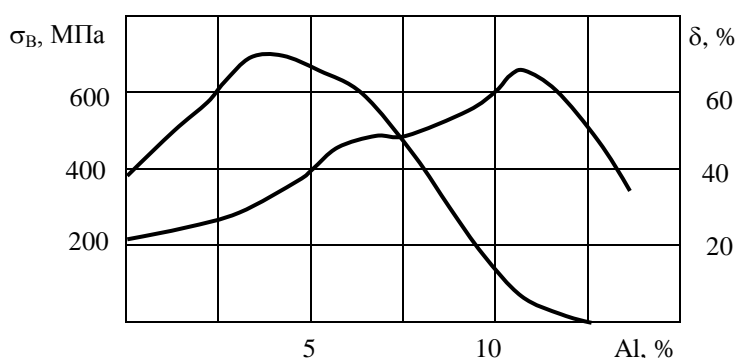


Рисунок 8 – Влияние алюминия на механические свойства бронз

Алюминиевые бронзы имеют хорошую коррозионную стойкость, высокие механические свойства, хорошую обрабатываемость. Однофазные бронзы (БрА5, БрА7) относятся к деформируемым. Они обладают наилучшим сочетанием прочности ( $\sigma_B = 400...450$  МПа) и пластичности ( $\delta = 60...70$  %). Двухфазные можно деформировать только при высоких температурах, однако они обладают повышен-

ными литейными свойствами, и их применяют для фасонного литья. Они отличаются высокой прочностью ( $\sigma_B = 600$  МПа) и твердостью ( $> 100$  НВ). Для улучшения механических, антифрикционных и технологических свойств бронзы легируют Fe (2...6 %) и Mn (1...2,5 %), Ni (3...6 %) и Pb (1...1,5 %). Дополнительно бронзу можно упрочнять закалкой с последующим отпуском (старением). Например, БрАЖН10–4–4 в отожженном состоянии имеет:  $\sigma_B = 650$  МПа;  $\delta = 35$  %; 150...160 НВ. После закалки и старения твердость увеличивается до 400 НВ. Высокими механическими, антикоррозионными и технологическими свойствами обладают бронзы, легированные вместо никеля более дешевым марганцем (БрАЖМц10–3–1,5:  $\sigma_B = 500$  МПа;  $\delta = 55$  %).

Из алюминиевых бронз отливкой или обработкой давлением изготавливают мелкие ответственные детали: шестерни, фланцы, втулки. Бронза БрА5 идет на изготовление медалей и мелких монет. Из алюминиево-железоникелевых бронз (БрАЖН10–4–4) производят детали, работающие в тяжелых условиях износа при повышенных температурах (400...500° С): седла клапанов, направляющие втулки выпускных клапанов, части насосов и турбин, шестерни. Алюминиевые бронзы служат хорошей заменой более дорогостоящих оловянных бронз.

## **1.2 Алюминий и его сплавы**

### **1.2.1 Свойства алюминия**

*Алюминий* – металл серебристо-белого цвета, не имеющий полиморфных превращений и кристаллизующийся с решеткой ГЦК, температура плавления 660° С. Модуль упругости  $E = 26000$  МПа. Особенностью алюминия является его низкая плотность –  $2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Он обладает высокими электро- и теплопроводностью, пластичностью и коррозионной стойкостью.

В зависимости от содержания примесей (Fe, Si, Cu, Zn, Ti) алюминий подразделяют на три класса: *особой чистоты* А999 (99,999 % Al); *высокой чистоты* А995, А99, А97, А95 (0,005...0,05 % примесей); *технической чистоты* А85, А8, А7, А6, А5, А0 (0,15...1 % примесей).

Технический алюминий, выпускаемый в виде деформируемого полуфабриката (листы, профили, прутки), маркируют АД00 (99,7 % Al), АД0 (99,5 % Al), АД1 (99,3 % Al) и АД (98,8 % Al).

Механические свойства алюминия зависят от его чистоты и состояния (таблица 4).

Таблица 4 – Механические свойства алюминия

| Марка | Сумма примесей, % | Состояние                    | $\sigma_B$ , МПа | $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\delta$ , % | НВ |
|-------|-------------------|------------------------------|------------------|----------------------|--------------|----|
| А995  | 0,005             | литое                        | 50               | –                    | 45           | 15 |
| А5    | 0,5               | литое                        | 75               | –                    | 29           | 20 |
| А0    | 1                 | литое                        | 90               | –                    | 25           | 25 |
|       |                   | деформированное и отожженное | 90               | 30                   | 30           | 25 |
|       |                   | деформированное              | 140              | 100                  | 12           | 32 |

Алюминий хорошо обрабатывается давлением, сваривается, но плохо обрабатывается резанием. Ввиду низкой прочности алюминий применяют для изготовления ненагруженных деталей и элементов конструкции: рам, дверей, трубопроводов, фольги, посуды. Хорошие физические свойства позволяют использовать его для различных при производстве теплообменников, конденсаторов, проводов, кабелей, рефлекторов, зеркал, телевизоров.

### 1.2.2 Алюминиевые сплавы

Алюминиевые сплавы характеризуются высокой удельной прочностью, способностью сопротивляться инерционным и динамическим нагрузкам, хорошей технологичностью: обрабатываются давлением, свариваются, в основном хорошо обрабатываются резанием. Большинство сплавов имеют хорошую коррозионную стойкость (кроме сплавов с медью), высокие электро- и теплопроводность.

Наибольшее распространение получили сплавы систем: Al–Cu; Al–Si; Al–Mn; Al–Cu–Mg; Al–Cu–Mg–Si; Al–Zn–Cu–Mg. Иногда сплавы легируют другими элементами.

Алюминиевые сплавы упрочняют легированием Cu, Zn, Mn, Ni, Fe. Для улуч-

шения литейных свойств вводят кремний. Добавки никеля, титана, железа повышают жаропрочность, а литий способствует возрастанию модуля упругости. Однако марганец и магний, увеличивая коррозионную стойкость, снижают электро- и теплопроводность, а добавки железа уменьшают коррозионную стойкость.

В равновесном состоянии эти сплавы представляют собой низколегированный твердый раствор на основе алюминия ( $\alpha$ -фаза) и интерметаллидные (вторичные) фазы:  $\text{CuAl}_2$ ;  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ;  $\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$  и т.д.

Все сплавы на алюминиевой основе по технологическим признакам можно разделить на *деформируемые сплавы* и *литейные сплавы*, а также *САПы* (спеченные алюминиевые порошки) и *САСы* (спеченные алюминиевые сплавы).

Деформируемые и литейные сплавы в свою очередь подразделяются на *не упрочняемые* и *упрочняемые* термообработкой (рисунок 9).

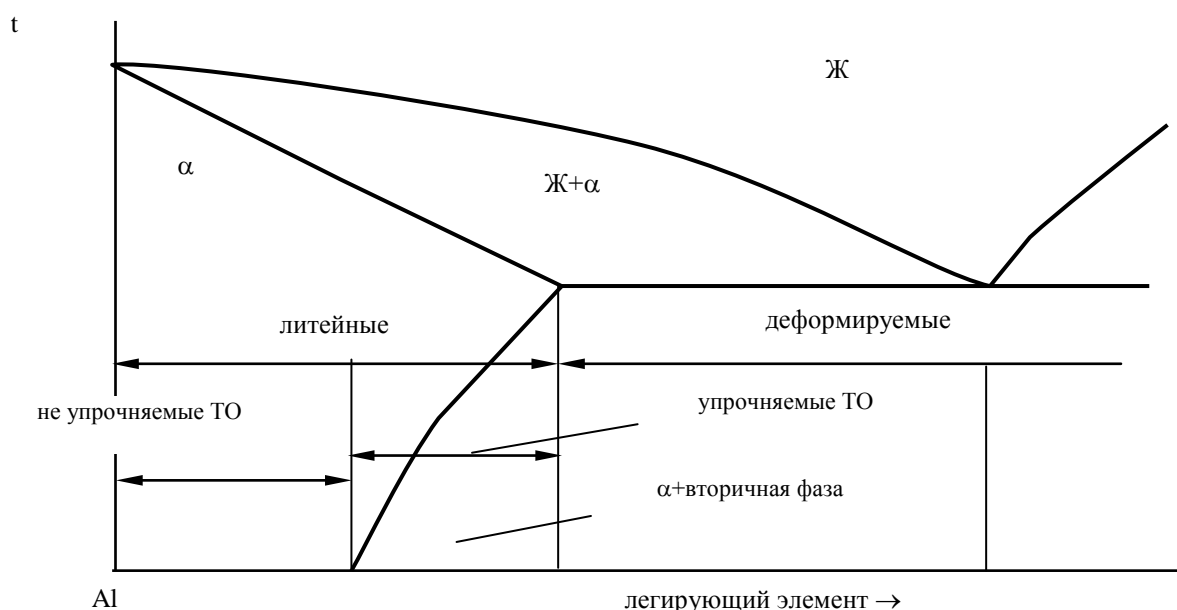


Рисунок 9 – Классификация алюминиевых сплавов по диаграмме состояния алюминий – легирующий элемент

В настоящее время приняты две маркировки алюминиевых сплавов: буквенно-цифровая и цифровая (рисунок 10). Деформируемые сплавы маркируются подобно медным сплавам. (Цифры, стоящие за буквами в буквенно-цифровой маркировке литейных сплавов, не имеют никакого отношения ни к составам сплавов,



ни к их свойствам). В конце марки может быть указано состояние сплава: М – отожженные; Н – нагартованные; Т – закалка с естественным старением и т.д. Примеры маркировки приведены в таблице 5.

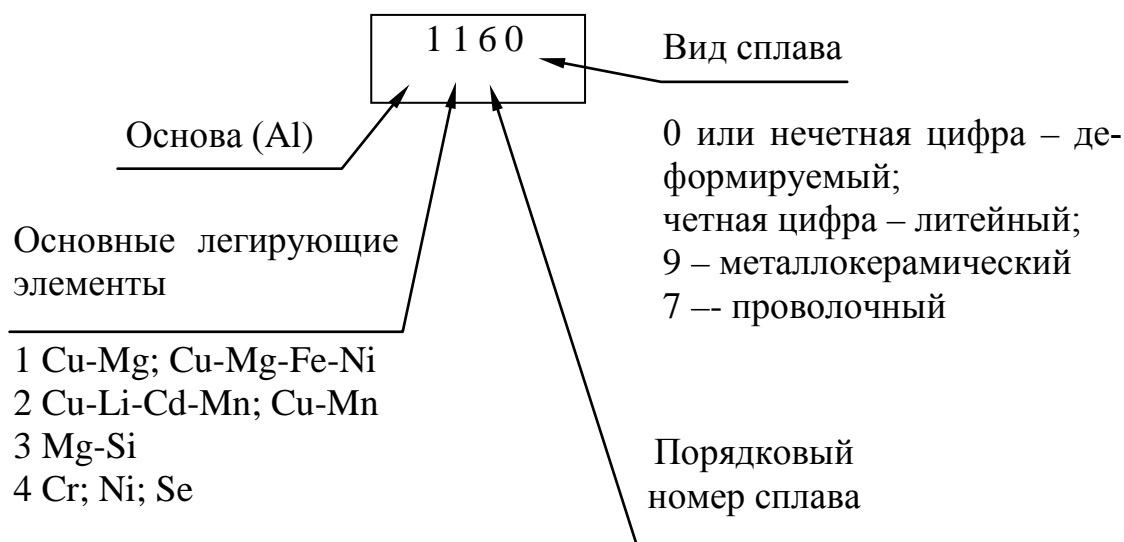


Рисунок 10 – Принципы цифровой маркировки алюминиевых сплавов

Таблица 5 – Маркировка алюминиевых сплавов

| Принцип классификации              | сплав     |                   |          |
|------------------------------------|-----------|-------------------|----------|
|                                    | название  | обозначение       |          |
|                                    |           | буквенно-цифровое | цифровое |
| По химическому составу             | –         | АМГ               | 1400     |
|                                    |           | АМц5              | 1555     |
| По названию сплава                 | дуралюмин | Д1                | 1100     |
|                                    |           | Д16               | 1160     |
|                                    |           | Д20               | 1200     |
| По технологическому назначению     | ковочный  | АК6               | 1360     |
|                                    |           | АК8               | 1380     |
|                                    |           | АК4–1             | 1142     |
| По методу получения полуфабрикатов | спеченный | САП–1             | 1119     |
|                                    |           | САС1–50           | –        |
|                                    | литейный  | АЛ2               | 1322     |

|                       |               |       |      |
|-----------------------|---------------|-------|------|
| По виду полуфабриката | проволочный   | АМг5П | 1557 |
| По свойствам          | высокопрочный | В95   | 1950 |
|                       |               | ВАД1  | 1191 |

### 1.2.2.1 Деформируемые алюминиевые сплавы, не упрочняемые термической обработкой

Деформируемые алюминиевые сплавы систем Al–Mn (АМц) и Al–Mg (АМг) не упрочняются термической обработкой. Сплавы АМц содержат 1...1,6 % марганца, а сплавы АМг – 2,6...6,8 % магния. Сплав АМц представляет собой твердый раствор марганца в алюминии, в котором в небольшом количестве имеются частицы соединения  $Al_6Mn$ . Сплав АМг даже после медленного охлаждения не содержит избыточных фаз и состоит из  $\alpha$ -твердого раствора магния в алюминии и частиц включения железистых соединений (рисунок 11).

Упрочняют сплавы с помощью пластической деформации и применяют в нагартованном (АМгН – 80% наклепа) или полунагартованном (АМгП – 40% наклепа) состояниях. Однако применение наклепа ограничено из-за резкого снижения пластичности, поэтому их используют в отожженном (мягком – АМгМ) состоянии. Сплавы с высоким содержанием Mg (АМг6, АМг10) для предотвращения окисления в процессе производства сплава дополнительно легируют Be и Ti (в сотых долях %).

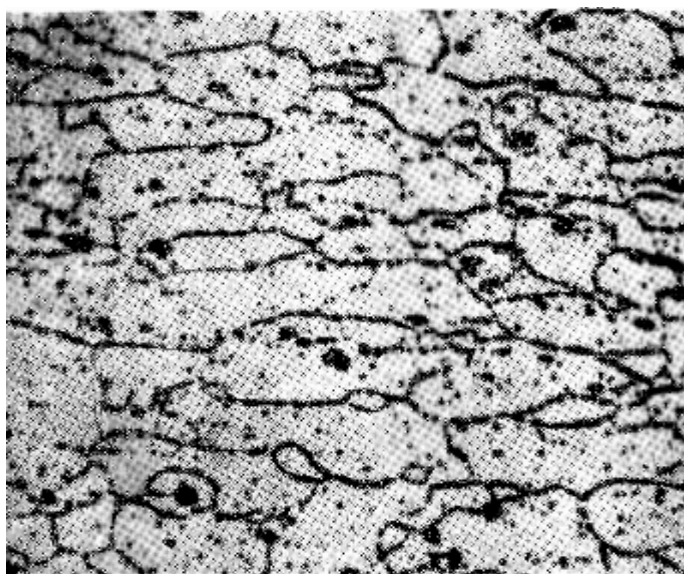


Рисунок 11 – Микроструктура сплава АМг6 после отжига. х300

Не упрочняемые термической обработкой деформируемые алюминиевые сплавы характеризуются сочетанием удовлетворительной прочности с хорошей пластичностью (таблица 6), коррозионной стойкостью и свариваемостью.

Таблица 6 – Механические свойства деформируемых сплавов, не упрочняемых термической обработкой (ГОСТ 4784–74)

| Марка сплава | Химический состав   | $\sigma_B$ , МПа | $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\delta$ , % | НВ |
|--------------|---|------------------|----------------------|--------------|----|
| АМц          | 1 % Mn  | 130(170)         | 50(130)              | 23(10)       | 30 |
| АМг2         | 2 % Mg;<br>0,2...0,6 % Mn   | 190              | 100                  | 20           | 45 |
| АМг5         | 5 % Mg;<br>0,3...0,6 % Mn   | 300              | 150                  | 20           | 60 |
| АМг6         | 6 % Mg;<br>0,5...0,8 % Mn;<br>0,002...0,1 % Ti;<br>0,002...0,005 Be | 300(400)         | 170                  | 20(10)       | 70 |

Примечание – указанные механические свойства соответствуют отжженному состоянию, в скобках – полунагартованному

Сплавы типа АМц и АМг применяют для изделий, получаемых глубокой вытяжкой, сваркой, от которых требуется высокая коррозионная стойкость (трубопроводы для бензина и масла, сварные баки), а также для заклепок, переборок, корпусов и мачт судов, лифтов, узлов подъемных кранов, рам вагонов, кузовов автомобилей.

### 1.2.2.2 Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой

К деформируемым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся *дуралюмины* (маркируются буквой Д в начале марки: Д16), *ковочные алюминиевые сплавы* (маркируются буквами АК: АК6) и *высокопрочные алюминиевые сплавы* (маркируются буквой В: В95). Упрочняющая термическая обработка алюминиевых сплавов состоит из двух операций:

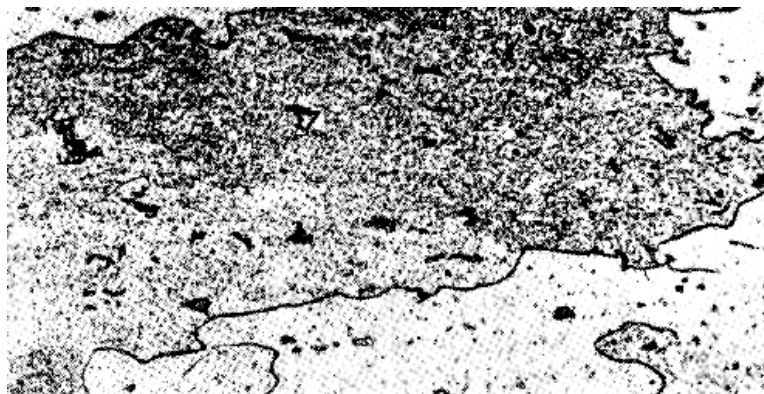
1 *закалка* с целью получения неравновесного состояния – максимально пересыщенного твердого раствора;

2 *старение*, при котором из пересыщенного твердого раствора выделяются очень мелкие частицы второй фазы, которые затрудняют скольжение дислокаций и тем самым вызывают упрочнение. Технологическая операция старения заключается в выдержке сплава при определенной температуре. Старение, происходящее при комнатной температуре, называется *естественным*, а при специальном нагреве – *искусственным*.

*Дуралюмины* – это сплавы системы Al–Cu–Mg, в которые дополнительно вводят марганец для повышения прочности. В структуре дуралюмина в равновесном (отожженном) состоянии присутствуют зерна  $\alpha$ -твердого раствора, в состав которого входят медь, марганец, магний и дисперсные включения:  $\theta$ -фазы ( $\text{CuAl}_2$ ) или S-фазы ( $\text{CuMgAl}_2$ ) – светло-серого цвета и  $\text{MgSi}$ , а также соединения типа  $\text{Cu}_2\text{FeAl}$  – темного цвета (рисунок 12.а). После термической обработки структура дуралюмина – зерна  $\alpha$ -твердого раствора и включения соединений железа и кремния (рисунок 12. б).



а)



б)

Рисунок 12 – Микроструктура дуралюмина Д16. x250: а – после отжига; б – по-

сле закалки

Термическая обработка дуралюмина состоит из закалки от температуры  $490...510^{\circ}\text{C}$  с охлаждением в воде. После закалки структура дуралюмина представляет перенасыщенный  $\alpha$ -твердый раствор и нерастворенные соединения железа, которые присутствуют в качестве примеси. Затем сплав подвергают старению, что придает ему высокую прочность и твердость. Естественное старение происходит при обычных (комнатных) температурах в течение  $5...7$  суток. Искусственное старение проводят для деталей, используемых для работы при повышенных температурах (до  $200^{\circ}\text{C}$ ). Изменение прочности дуралюмина в зависимости от времени старения приведено на рисунке 13.

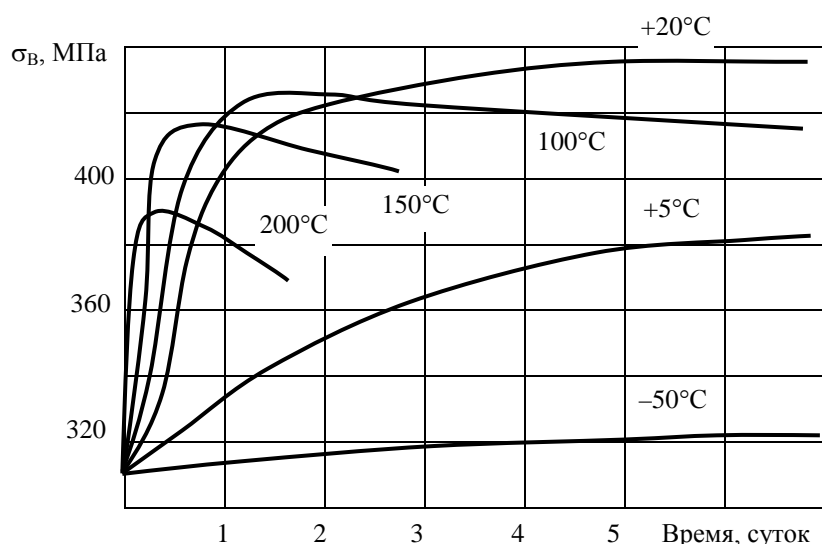


Рисунок 13 – Зависимость прочности дуралюминов от времени старения при различных температурах

Изделия после закалки и естественного старения подвергают нагартовке с обжатием  $5...7\%$  или искусственному старению после закалки и нагартовки. Если после закалки и естественного старения дюралюминий подвергнуть кратковременному нагреву на  $20...40$  с до температуры  $200...250^{\circ}\text{C}$ , то он разупрочняется и приобретает свойства, соответствующие свежезакаленному состоянию (*возврат*), что позволяет проводить такие технологические операции, как клепка и правка.

Дуралюмины хорошо обрабатываются резанием, сплавляются точечной сваркой, деформируются в горячем и холодном состоянии. После холодной деформации

сплав подвергают смягчающему отжигу при 340...370° С.

Дуралюмины широко применяются в авиационной промышленности; их используют для строительных конструкций; кузовов грузовых автомобилей, деталей сепараторов и других изделий. Сплав Д18 – один из основных заклепочных алюминиевых сплавов. Механические свойства некоторых дуралюминов представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Механические свойства деформируемых сплавов, упрочняемых термической обработкой (ГОСТ 4784–74)

| Марка сплава | Химический состав  | Вид полуфабриката   | $\sigma_B$ , МПа | $\sigma_{0,2}$ , МПа | $\delta$ , % | НВ  |
|--------------|--|---------------------|------------------|----------------------|--------------|-----|
| Д1           | 3,8...4,8 % Cu;<br>0,4...0,8 % Mg;<br>0,4...0,8 % Mn                                       | листы               | 400              | 240                  | 20           | 95  |
|              |  | прессованные прутки | 480              | 320                  | 14           | –   |
| Д16          | 3,8...4,9 % Cu;<br>1,2...1,8 % Mg;<br>0,3...0,9 % Mn                                       | листы               | 440              | 330                  | 18           | 105 |
|              |  | прессованные прутки | 530              | 400                  | 11           | –   |
| Д18          | 2,2...3 % Cu;<br>0,2...0,5 % Mg  | проволока           | 300              | 170                  | 24           | 70  |
| АК6          | 1,8...2,6 % Cu;<br>0,4...0,8 % Mg;<br>0,4...0,8 % Mn<br>0,7...1,2 % Si                     | поковки             | 400              | 299                  | 12           | 100 |
| АК8          | 3,9...4,8 % Cu;<br>0,4...0,8 % Mg;<br>0,4...1 % Mn<br>0,6...1,2 % Si                       | поковки             | 480              | 380                  | 9            | 135 |
| В95          | 1,4...2 % Cu;<br>1,8...2,8 % Mg;<br>0,2...0,6 % Mn<br>0,01...0,25 % Cr;<br>5...7 % Zn      | листы               | 540              | 470                  | 10           | 150 |
|              |  | прессованные прутки | 600              | 560                  | 8            | –   |
| В96          | 2,2...2,8 % Cu;<br>2,5...3,2 % Mg;<br>0,2...0,5 % Mn<br>0,1...0,25 % Cr;<br>7,6...8,6 % Zn | листы               | 630              | 670                  | 7            | 190 |

*Ковочные алюминиевые сплавы обладают хорошей пластичностью, стойки к*

образованию трещин при горячей пластической деформации (380...450° С). По химическому составу они близки к дуралюминам, отличаясь более высоким содержанием кремния (до 1,2 %). Их применяют после закалки и искусственного старения.

Сплавы с пониженным содержанием меди (1,8...2,6 %) отличаются повышенной технологичностью, но менее прочны (таблица 7). Их используют для средненагруженных деталей сложной формы: крыльчатки, крепежные детали. Сплавы с содержанием меди 3,9...4,8 % хуже обрабатываются давлением, но более прочны и жаропрочны (таблица 7) и применяются для высоконагруженных деталей несложной конфигурации.

*Высокопрочные алюминиевые сплавы* отличаются высокими прочностными характеристиками при меньшей пластичности, чем у дуралюминов. Они принадлежат к системе Al–Zn–Mg–Cu и содержат добавки марганца и хрома. Наибольшее упрочнение вызывает закалка (465...475° С) и искусственное старение при температуре 135...145°С в течении 16 часов. Однако после термической обработки сплавы имеют пониженные пластичность и ударную вязкость, поэтому для сплавов с высоким содержанием легирующих элементов проводят двухступенчатое старение.

Механические свойства высокопрочных алюминиевых сплавов представлены в таблице 7.

Сплавы применяются для высоконагруженных деталей конструкций, работающих в основном в условиях напряжения сжатия: обшивка, лонжероны самолетов.

### **1.2.2.3 Литейные алюминиевые сплавы**

Среди литейных алюминиевых сплавов наиболее распространены сплавы на основе системы Al–Si – *силумины*. Для фасонного литья также применяют сплавы на основе Al–Cu–Mg, Al–Cu, Al–Zn–Mg, Al–Cu–Mn, Al–Cu–Mn–Ni отличающиеся от соответствующих деформируемых сплавов более высоким содержанием меди и магния, а также тугоплавких добавок: Ni, Ti, Fe. Маркируются литейные сплавы буквами АЛ (АЛ2, АЛ20).

Силумины содержат 5...14 % Si. Хорошие литейные свойства силуминов обу-

словлены наличием большого количества эвтектики, состоящей из  $\alpha$ -твердого раствора (кремния в алюминии) и кристаллов практически чистого кремния. Структура доэвтектических сплавов ( $Si < 11,3 \%$ ) состоит из  $\alpha$ -фазы и эвтектики ( $\alpha+Si$ ) (рисунок 14. а). Причем с увеличением содержания кремния до эвтектического состава снижается пластичность и повышается прочность. При более высокой концентрации Si (заэвтектические сплавы) в структуре, кроме эвтектики, присутствуют кристаллы чистого кремния в виде пластинок.



Рисунок 14 – Микроструктура силумина (8 % Si): а – до модифицирования; б – после модифицирования.  $\times 250$

Двойные силумины не упрочняются термической обработкой, и поэтому единственным способом повышения механических свойств является измельчение структуры путем модифицирования солями натрия в количестве 2...3 % от массы сплава. Модифицируют как двойные, так и легированные силумины, содержащие более 5...6 % Si.

Введение модификатора меняет характер кристаллизации: понижается температура выделения кремния и эвтектики, и заэвтектический сплав с 12...14 % кремния становится доэвтектическим. Кроме того, изменяется форма кристаллов кремния: вместо игольчатых выпадают мелкие равноосные, не создающие опасных концентраторов напряжений при нагружении. После модифицирования структура силумина состоит из эвтектики ( $\alpha+Si$ ) и дендритов  $\alpha$ -фазы (светлые кристаллы) (ри-



сунок 14. б). Измельчение эвтектики и отсутствие хрупких включений кремния улучшает механические свойства сплава (рисунок 15).

Силумины с добавками меди, магния и марганца для повышения механических свойств подвергают термической обработке: закалке 510...540° С в горячей воде и искусственному старению при 150...180° С в течение 20 ч.

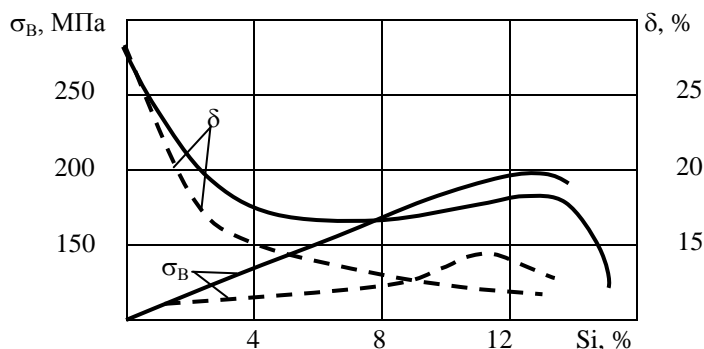


Рисунок 15 – Зависимость механических свойств для модифицированного (сплошные линии) и немодифицированного (штриховые линии) силумина от содержания кремния

Механические свойства алюминиевых литейных сплавов зависят от химического состава, технологии изготовления (модифицирования, способа литья) и термической обработки (таблица 8).

Силумины (двойные и легированные) обладают хорошими литейными свойствами, удовлетворительной обрабатываемостью резанием, свариваемостью и коррозионной стойкостью, для повышения которой детали анодируют и защищают лакокрасочными покрытиями.

Таблица 8 – Механические свойства литейных алюминиевых сплавов ГОСТ 1583–89

| Марка сплава | Химический состав                             | σ <sub>в</sub> , МПа | σ <sub>0,2</sub> , МПа | δ, % | НВ |
|--------------|---|----------------------|------------------------|------|----|
| АЛ2          | 10...13 % Si                                  | 180                  | 90                     | 5    | 55 |
| АЛ4          | 8...10 % Si; 0,17...0,3 % Mg; 0,25...0,5 % Mn | 260                  | 200                    | 4    | 60 |
| АЛ9          | 6...8 % Si; 0,2...0,4 % Mg                    | 200                  | 110                    | 6    | 75 |
| АЛ6          | 4...6 % Si; 2...3 % Cu                        | 240                  | 140                    | 4    | 80 |
| АЛ7          | 4...5 % Cu                                    | 280                  | 210                    | 2    | 95 |
| АЛ12         | 9...12 % Cu                                   | 200                  | 120                    | 1    | 75 |
| АЛ8          | 9...11,5 % Mg                                 | 330                  | 180                    | 15   | 80 |

|      |   |     |     |   |    |
|------|---|-----|-----|---|----|
| АЛ34 | 7,5 % Si; 0,3 % Cu; 0,1 % Mn; 0,2 % Zn, Ti,<br>Zr, Be | 360 | 190 | 5 | 90 |
|------|---|-----|-----|---|----|

Сплав АЛ2 используют для изготовления мелких, а АЛ4 и АЛ9 – средних и крупных литых деталей: корпусов компрессоров, картеров ДВС. Сплав АЛ34 применяют для изготовления блоков цилиндров автомобильных двигателей. Высокопрочные и жаропрочные литейные сплавы применяются для литья крупногабаритных отливок (АЛ19), изготовления корпусов приборов и головок цилиндров двигателей (АЛ3, АЛ5). Коррозионностойкие литейные алюминиевые сплавы (АЛ8, АЛ27, АЛ24) способны работать в условиях коррозии морской воды вместо дефицитных бронз, латуней, нержавеющей сталей.

### 1.3 Антифрикционные подшипниковые сплавы

Подшипниковые сплавы, идущие на изготовление вкладышей или заливки подшипников скольжения, должны иметь малый коэффициент трения, повышенную износостойкость и выдерживать достаточно высокие удельные нагрузки.

В качестве подшипниковых сплавов применяют *бронзы* (оловянные и свинцовые) *антифрикционные чугуны* АЧС–1, АЧС–2 АЧС–3, АЧВ–1, АЧК–2 ГОСТ1585-85 и *баббиты* (последние являются специальными сплавами, применяемыми только в качестве подшипниковых).

*Баббиты* – мягкие (30 НВ) антифрикционные сплавы на оловянной (Б83, Б88) или свинцовой основе (Б16, БС6, БН) с добавлением сурьмы, меди, кадмия, никеля и других элементов (ГОСТ 1320–74). Cu устраняет ликвацию сплавов; повышает твердость и вязкость. Легирование Cd, Ni, As повышает твердость и прочность основы и позволяет снизить содержание Sn. Особую группу образуют свинцово-кальциевые баббиты БКА и БК2 (ГОСТ 1209–90) и цинковые баббиты ЦАМ10–5, ЦАМ9–1Б5 (ГОСТ 7117–84) (таблица 9).

По антифрикционным свойствам баббиты превосходят все остальные сплавы, но значительно уступают им по сопротивлению усталости. В связи с этим баббиты применяют только для тонкого (менее 1 мм) покрытия рабочей поверхности опоры скольжения. Лучшими антифрикционными свойствами обладают оловянные баббиты.

ты и, в частности, баббит Б83.

Баббиты легкоплавки ( $t_{пл} = 350...450^{\circ} \text{C}$ ) и технологически удобны для заливки в подшипники.

По структуре баббиты состоят из мягкой, пластичной основы, обеспечивающей прирабатываемость подшипников к шейке вала, и включений твердых частиц, понижающих коэффициент трения.

Таблица 9 – Химический состав и свойства баббитов

| Марка   | Химический состав                                     | $\sigma_B$ , МПа | $\delta$ , % | Коэффициент трения (со смазкой) |
|---------|---|------------------|--------------|---------------------------------|
| Б83     | 11 % Sb; 6 % Cu; остальное Sn                         | 90               | 6            | 0,005                           |
| Б89     | 7 % Sb; 3 % Cu; 1 % Cd; 0,2 % Ni; остальное Sn        | 90               | 9            | 0,005                           |
| Б6      | 6 % Sn; 15 % Sb; 3 % Cu; 1 % Cd; основа Pb            | 70               | 0,5          | 0,005                           |
| БТ      | 11 % Sn; 16 % Sb; 1 % Cu; 0,2 % Te; остальное Pb      | 80               | 2            | 0,009                           |
| БН      | 11 % Sn; 15 % Sb; 2 % Cu; 1 % As, Ni Cd; остальное Pb | 70               | 1            | 0,006                           |
| Б16     | 16 % Sn; 17 % Sb; 2 % Cu; остальное Pb                | 80               | 0,5          | 0,006                           |
| БС6     | 18 % Sb; 1 % Cu; остальное Pb                         | 40               | 0,5          | 0,007                           |
| БКА     | 0,85...1,15 % Ca; 0,6...0,9 % Na; остальное Pb        | 100              | 2,5          | 0,004                           |
| ЦАМ10-5 | 10 % Al; 5 % Cu; 0,06 % Mg; остальное Zn              | 300              | 0,5          | 0,009                           |

Микроструктура баббита (рисунок 16) состоит из мягкой основы (темный фон), представляющей собой  $\alpha$ -твердый раствор сурьмы и меди в олове. В качестве твердых частиц присутствуют кубические кристаллы  $\beta$ -фазы (SnSb) и частицы игольчатой формы  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ .

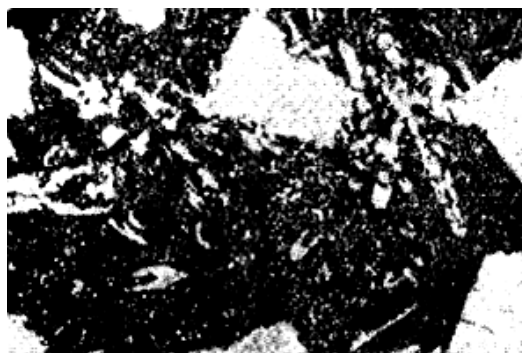


Рисунок 16 – Микроструктура баббита Б83. х130

Из-за высокой стоимости олова баббиты Б83 и Б89 применяют только в ответственных целях, например в машинах большой мощности (паровые турбины, турбокомпрессоры). Баббит Б16 применяют для заливки опорных подшипников электродвигателей и турбин; Б6, БТ и БН – для заливки вкладышей автомобильных и тракторных двигателей, металлообрабатывающих станков; БКА – для подшипников железнодорожного транспорта. Маркируются баббиты буквой Б и цифрой указывающей примерное содержание олова в %.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.

2.2 Изучить микроструктуру медных, алюминиевых сплавов и баббита на готовых микрошлифах при увеличении х250.

2.3 Определить структурные составляющие каждого сплава, схематически зарисовать микроструктуру и указать механические свойства (приложение А, таблица 1).

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Краткие теоретические сведения о медных, алюминиевых и подшипниковых сплавах.

3.2 Зарисовки микроструктур с указанием примерной марки сплава, химического состава, структурных составляющих и механических свойств в виде таблицы.

3.3 Выводы по проделанной работе.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Какие сплавы на основе меди называются латунями?
- 2 Какие сплавы на основе меди называются бронзами?
- 3 Как классифицируются латуни по структуре?
- 4 Назовите марки  $\alpha$ -латуней.
- 5 Назовите марки  $(\alpha+\beta)$  латуней.
- 6 С какой целью вводятся в латуни легирующие элементы?
- 7 Классификация бронз и их маркировка.
- 8 Область применения бронз.
- 9 Какие элементы наиболее широко используются для легирования алюминия?
- 10 Какие фазы встречаются в деформируемых алюминиевых сплавах?
- 11 Какое структурное состояние обеспечивает наибольшую прочность алюминиевым сплавам?
- 12 Технологический процесс упрочнения термически упрочняемых алюминиевых сплавов.
- 13 Что такое старение?
- 14 Что такое силумин?
- 15 Как производится и какие цели преследует модифицирование силуминов?
- 16 Классификация баббитов, маркировка и применение.
- 17 Особенности структуры баббитов.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Михальченко А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 1. "Материаловедение": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008
- 2 Арзамасов В.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов М.: Академия, , 2009
- 3 Бондаренко Г. Г., Кабанова Т. А., Рыбалко В. В. Материаловедение: учеб. для бакалавров М.: Юрайт, 2013
- 4 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Микроструктуры изучаемых сплавов, их краткое описание и свойства

| № п/п | Схема микроструктуры | Марка сплава | Химический состав | Структурные составляющие | Свойства         |              |    |
|-------|----------------------|--------------|-------------------|--------------------------|------------------|--------------|----|
|       |                      |              |                   |                          | $\sigma_B$ , МПа | $\delta$ , % | НВ |
|       |                      |              |                   |                          |                  |              |    |

## **ГОРЯЧАЯ ОБРАБОТКА**

### **ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТОЙ ЛИТЕЙНОЙ ФОРМЫ ПО РАЗЪЕМНОЙ МОДЕЛИ**

*Цель работы:* изучение технологической схемы получения отливки.

*Используемые наглядные пособия:* модель; стержневые ящики; подмодельные плиты; опоки; модели элементов литниковой системы.

## **1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

### **1.1 Общие сведения**

*Литейным производством* называют технологический процесс получения фасонных деталей или заготовок путем заполнения жидким металлом заранее подготовленных форм. После затвердевания металла в форме получается *отливка* – литая деталь или заготовка. Отливки изготовляют из чугуна, стали и сплавов цветных металлов.

### **1.2 Технологическая схема процесса изготовления отливок**

Технологическая схема получения отливок в песчано–глинистых формах представлена на рисунке 1.

Более подробно этот технологический процесс можно представить в следующем виде.

В модельном цехе по чертежу детали (рисунок 2. а) изготовляют из древесины

или металла модель (рисунок 2. б) и стержневой ящик (рисунок 2. в). Для удобства изготовления литейной формы и стержней модель и стержневой ящик делают разъемными.

В формовочном отделении из формовочной смеси по модели изготавливают литейную форму. Для этого на подмодельную плиту 1 (рисунок 2. д) ставят половину модели 6, засыпают смесь в опоку 2 (рисунок 2. д) и уплотняют ее. На заформованную половину модели 6 ставят ее вторую половину 5 и модель литниковой системы 3 (рисунок 2. д), которая образует каналы для заливки металла в форму.

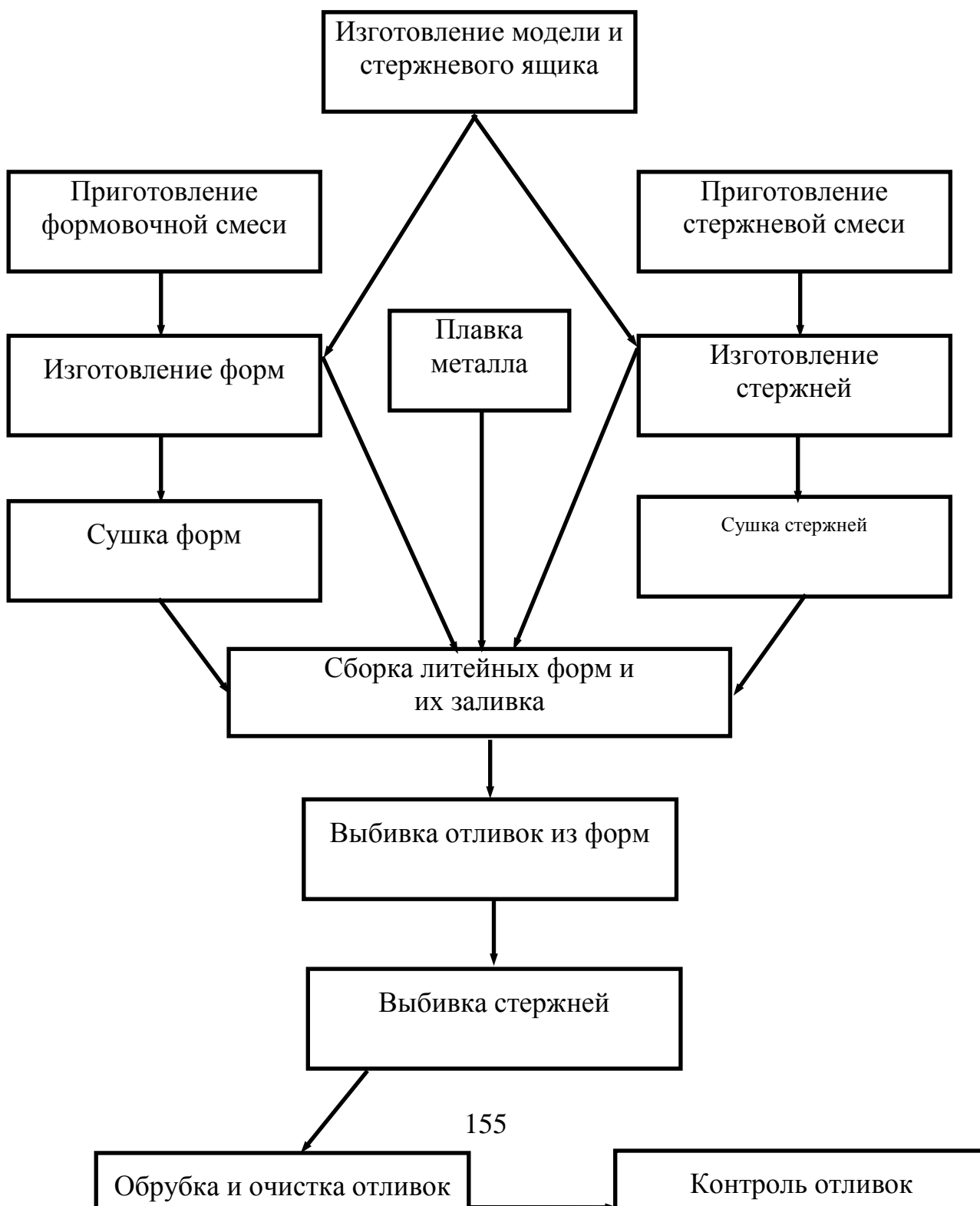
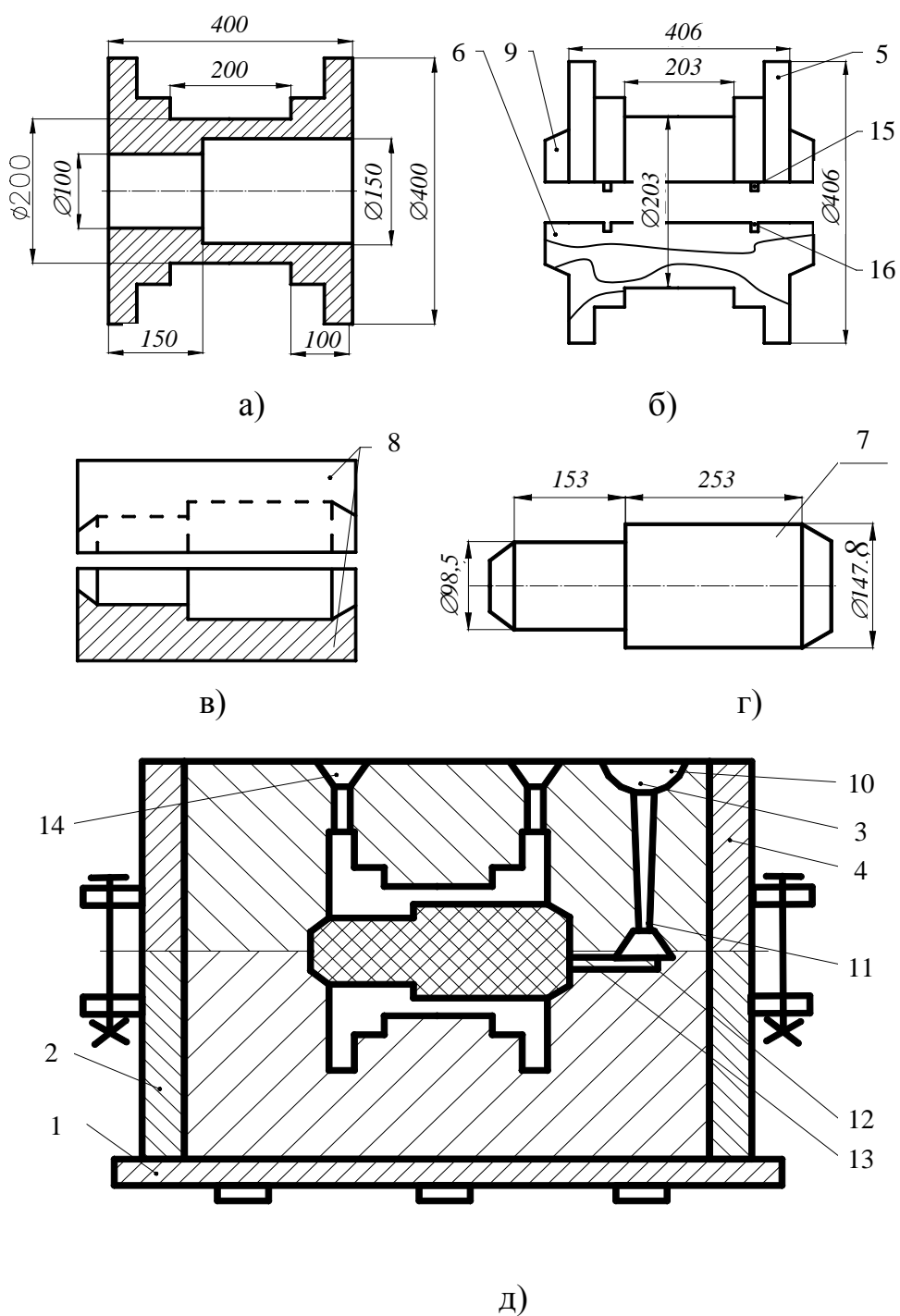
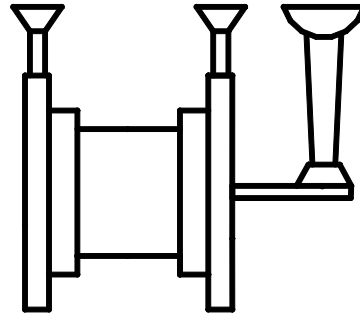


Рисунок 1 – Технологическая схема процесса изготовления отливок







е)

Рисунок 2

С целью предотвращения смещения половинок модели 5 и 6 (рисунок 2. б) относительно друг друга, что влечет за собой несоответствие размеров и контуров изготовленной формы изготавливаемой отливки, производят их фиксацию с помощью штифтов 15 на одной половине модели и отверстий 16 на другой ее половине. Затем ставят вторую опоку 4 (рисунок 2. д), засыпают в нее формовочную смесь и уплотняют. Далее верхнюю полуформу вместе с опокой 4 снимают и извлекают из обеих полуформ половинки моделей, устанавливают в форму стержень 7 (рисунок 2. г) и накрывают верхней полуформой.

В стержневом отделении с помощью стержневого ящика 8 (рисунок 2. в) из стержневой смеси изготавливают стержень 7. Для повышения прочности стержней их сушат в сушильных печах. Но необходимость сушки возникает не всегда.

В плавильном отделении расплавляют металл и заливают его в формы. После затвердевания металла в форме образуется отливка (рисунок 2. е), которую извлекают из нее.

В очистном отделении из отливок выбивают стержни, удаляют литниковую систему 3 (рисунок 2. д), очищают отливку от пригоревшей формовочной смеси, зачищают остатки литника и при необходимости термически обрабатывают. После очистки и контроля отливку направляют в механический цех для обработки или на склад готовой продукции.

### 1.3 Модельный комплект и принципы его изготовления

Для изготовления литейной формы необходимо иметь *модельный комплект*,

состоящий из модели, подмодельных плит, стержневых ящиков, опок, модели литниковой системы.

*Литейная модель* – приспособление, при помощи которого в литейной форме получают полость с конфигурацией и размерами получаемой отливки.

Модель должна быть прочной, не изменяться в размерах, противостоять влиянию влаги формовочной смеси, в которой она находится в период формовки, а также обеспечивать легкое извлечение ее из формы. Поверхность модели делают гладкой, чистой, чтобы при выемке ее из формы она легко отделялась от формовочной смеси. При изготовлении отливки предварительно все размеры чертежа детали увеличивают на величину линейной усадки сплава, из которого изготавливают отливки.

*Усадка* – свойство литейных сплавов уменьшать объем при затвердевании и охлаждении. Различают *линейную* и *объемную* усадку.

*Линейная усадка* – уменьшение линейных размеров при ее охлаждении от температуры, при которой образуется прочная корка, способная противостоять давлению расплавленного металла, до температуры окружающей среды. Линейную усадку определяют соотношением, %:

$$\varepsilon_{\text{лин}} = \frac{(l_{\text{ф}} - l_{\text{от}}) \cdot 100\%}{l_{\text{от}}}, \quad (1)$$

где  $l_{\text{ф}}$  и  $l_{\text{от}}$  – размеры полости формы и отливки при температуре 20° С.

На линейную усадку влияют химический состав сплава, температура его заливки, скорость охлаждения сплава в форме, конструкция отливки и литейной формы.

*Объемная усадка* – уменьшение объема сплава при его охлаждении в литейной форме при формировании отливки. Ее определяют соотношением, %:

$$\varepsilon_{\text{об}} = \frac{(V_{\text{ф}} - V_{\text{от}})}{V_{\text{от}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $V_{\text{Ф}}$  и  $V_{\text{от}}$  – объем полости формы и объем отливки при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ .

Усадка в отливках проявляется в виде усадочных раковин, пористости, трещин и короблений.

Если отливка подвергается механической обработке, то размеры модели увеличивают на величину припуска на механическую обработку.

Для беспрепятственного извлечения моделей из форм или освобождения стержневых ящиков от стержней они делаются разъемными. Чтобы облегчить извлечение моделей из форм, вертикальные поверхности ее делают с литейными уклонами. В деревянных моделях уклон составляет от  $1^{\circ}$  до  $3^{\circ}$ , в металлических – от  $0^{\circ}30'$  до  $1^{\circ}30'$  в зависимости от размера поверхности.

В моделях между сопрягающимися поверхностями должны быть плавные закругления – галтели. Это предохраняет форму от засорения, а отливку – от трещин в местах резких переходов.

Материалом для моделей и стержневых ящиков в индивидуальном и мелкосерийном производстве в большинстве случаев служит древесина, иногда гипс, цемент, а в массовом производстве – алюминиевые сплавы и пластмассы.

Для установки и закрепления стержней в литейной форме на моделях и в стержневых ящиках предусматривают стержневые знаки 9 (рисунок 2. б).

При формовке используются *подмодельные плиты* – приспособления, на которые устанавливают модель и опоку.

Специальные жесткие рамы, в которых изготавливается литейная форма, называются *литейными опоками*. Они бывают литые, сварные и собранные на болтах.

*Стержневой ящик* – приспособление, служащее для изготовления стержней. Стержневые ящики бывают цельными, разъемными, вытряхными.

*Литниковая система* – это система каналов, через которые расплавленный металл подводят в полость формы. Литниковая система должна обеспечивать заполнение литейной формы с необходимой скоростью, задержание шлака и других неметаллических включений, выход паров, газов из полости формы, непрерывную подачу расплавленного металла.

Литниковая система обычно состоит из: *литниковой чаши* 10 (рисунок 2. д), *стояка* 11, *шлакоуловителя* 12 и *питателей* 13. Расплавленный металл заливается в литниковую чашу, откуда по каналу-стояку подается в шлакоуловитель, а оттуда через питатели в форму. В питатели металл попадает не через нижнюю часть шлакоуловителя, а через боковую, что делает возможным оседание в шлакоуловителе шлаков и других неметаллических включений.

Для удаления из формы газов и паров в литниковой системе предусматривается *выпор* 14 (рисунок 2. д).

#### **1.4 Формовочные и стержневые смеси**

*Формовочные материалы* – это совокупность природных и искусственных материалов, используемых для приготовления формовочных и стержневых смесей. В качестве исходных материалов используют формовочные кварцевые пески и литейные формовочные глины.

Глины обладают связующей способностью и термохимической устойчивостью, что позволяет получать отливки без пригара. Если глина не обеспечивает необходимых свойств смесей, применяют различные связующие материалы. Кроме того, используют противопопригарные добавки (каменноугольную пыль, графит, защитные присадочные материалы: борную кислоту, серный цвет).

*Формовочная смесь* – это многокомпонентная смесь формовочных материалов, соответствующая условиям технологического процесса изготовления литейных форм. По характеру использования формовочные смеси разделяют на облицовочные, наполнительные и единые.

*Облицовочная смесь* – это формовочная смесь, используемая для изготовления рабочего слоя формы. Такие смеси содержат повышенное количество исходных формовочных материалов (песка и глины) и имеют высокие физико-механические свойства.

*Наполнительная смесь* – это формовочная смесь для наполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси. Поэтому ее готовят путем переработки обратной смеси с малым количеством исходных формовочных материалов (песка и глины). Облицовочные и наполнительные формовочные смеси используют

при изготовлении крупных и сложных отливок.

*Единая смесь* – это формовочная смесь, применяемая одновременно в качестве облицовочной и наполнительной смеси. Такие смеси используют при машинной формовке и на автоматических линиях в серийном и массовом производстве. Единые смеси приготавливают из наиболее огнеупорных песков и глин с наибольшей связующей способностью, чтобы обеспечить их долговечность.

*Стержневая смесь* – это многокомпонентная смесь формовочных материалов, соответствующая условиям технического процесса изготовления литейных стержней. Стержневая смесь состоит из 96-97 % кварцевого песка и связующих элементов (глина, патока, синтетические смолы и др.). Спецдобавки применяют для повышения прочности формовочной смеси (жидкое стекло, цемент), для предохранения от пригара (графит, мазут), для улучшения газопроницаемости (опилки, торф).

Формовочные и стержневые смеси должны обладать пластичностью, газопроницаемостью, прочностью, огнеупорностью, податливостью, долговечностью.

*Пластичность* – способность смесей деформироваться под действием внешних нагрузок без нарушения целостности и сохранять приданную им форму после снятия нагрузок.

*Газопроницаемость* – способность смесей пропускать газы вследствие своей пористости.

*Прочность* – способность выдерживать внешние нагрузки без разрушения.

*Огнеупорность* – способность смесей не сплавляться и не спекаться с расплавленным металлом.

*Податливость* – способность сжиматься под действием внешних сил.

*Долговечность* – способность сохранять свои рабочие свойства в случае повторного использования.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Вычертить деталь согласно полученного варианта (приложение А).

2.2 Рассчитать размеры модели с учетом величины линейной усадки  $\varepsilon$ .

Так как согласно формуле (1)

$$\varepsilon_{\text{лин}} = \frac{(I_{\text{ф}} - I_{\text{от}}) \cdot 100\%}{I_{\text{от}}},$$

то

$$I_{\text{ф}} = \frac{I_{\text{от}} \cdot \varepsilon}{100} + I_{\text{от}}. \quad (3)$$

По формуле (3) ведется расчет внешних размеров детали.

Для размеров внутренних полостей расчет ведется по следующей формуле:

$$I'_{\text{ф}} = I_{\text{от}} - \frac{I_{\text{от}} \cdot \varepsilon}{100}.$$

Значения коэффициента линейной усадки приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента линейной усадки

| Материал            | $\varepsilon$ , % |
|---------------------|-------------------|
| Серый чугун         | 1...1,3           |
| Углеродистые стали  | 2...2,4           |
| Бронза оловянная    | 1,4...1,6         |
| Бронза безоловянная | 2,3...2,5         |
| Латунь              | 1,3...1,8         |
| Алюминиевые сплавы  | 0,9...1,5         |
| Медные сплавы       | 1,4...2,3         |

2.3 Согласно рассчитанным размерам вычертить полумодели со стержневыми знаками, стержневой ящик, стержень, собранную форму, изобразить литниковую систему, отливку.

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Чертеж детали с заданными размерами.

3.2 Расчеты размеров модели.

### 3.3 Чертежи, отражающие технологическую схему процесса получения отливки

## 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что называют литейным производством?
- 2 Что такое отливка?
- 3 Из каких материалов изготавливают отливки?
- 4 Назовите основные этапы процесса изготовления отливок.
- 5 Порядок изготовления литейной формы.
- 6 Что включает в себя модельный комплект?
- 7 Требования, предъявляемые к модели.
- 8 Что такое усадка?
- 9 Условия, которые необходимо учитывать при изготовлении модели.
- 10 Материалы для изготовления моделей и стержневых ящиков.
- 11 Что такое стержневые знаки?
- 12 Для чего предназначена предмодельная плита?
- 13 Какую роль выполняют опоки?
- 14 Литниковая система. Определение.
- 15 Для чего применяют стержневые и формовочные смеси?
- 16 Материалы, из которых изготавливают стержневые и формовочные смеси.
- 17 Какими свойствами должны обладать формовочные и стержневые смеси?
- 18 Как разделяют формовочные смеси по значению?
- 19 Чем облицовочная смесь отличается от единой и от наполнительной?
- 20 Из каких элементов состоит литниковая система?
- 21 Что такое выпор?
- 22 Как работает шлакоуловитель?

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Чижикова Т. В., Матюшкин Б. А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов М.: КолосС, 2011

2 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012

3 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 2. "Горячая обработка": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

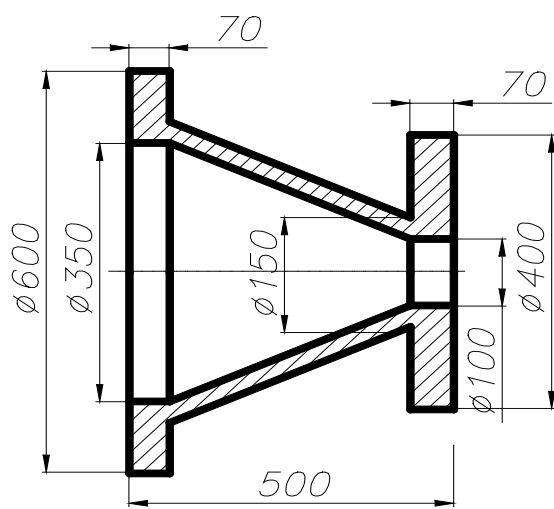
| Варианты | №<br>чертежа * | Материал            |
|----------|----------------|---------------------|
| 1        | 1              | Серый чугун         |
| 2        | 2              | Латунь              |
| 3        | 3              | Медный сплав        |
| 4        | 4              | Углеродистая сталь  |
| 5        | 5              | Серый чугун         |
| 6        | 6              | Медный сплав        |
| 7        | 7              | Алюминиевый сплав   |
| 8        | 8              | Бронза оловянная    |
| 9        | 9              | Латунь              |
| 10       | 10             | Углеродистая сталь  |
| 11       | 11             | Бронза безоловянная |
| 12       | 12             | Серый чугун         |
| 13       | 13             | Углеродистая сталь  |

Примечание – \* № чертежа по приложению Б.

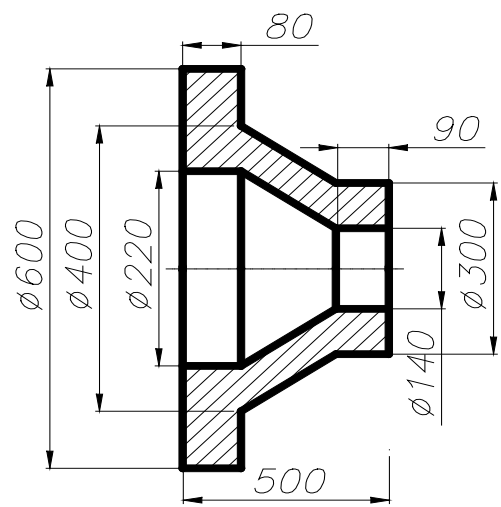


**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

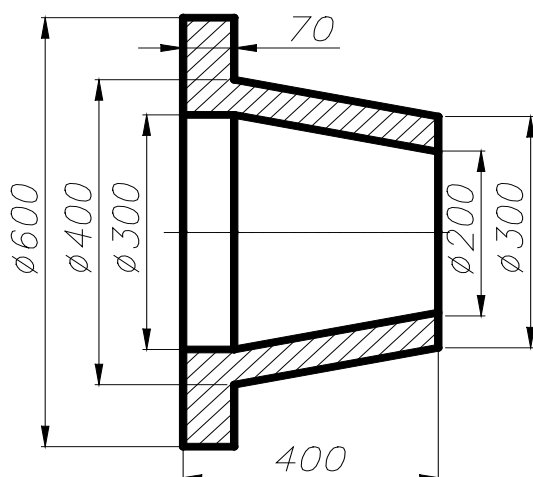
1)



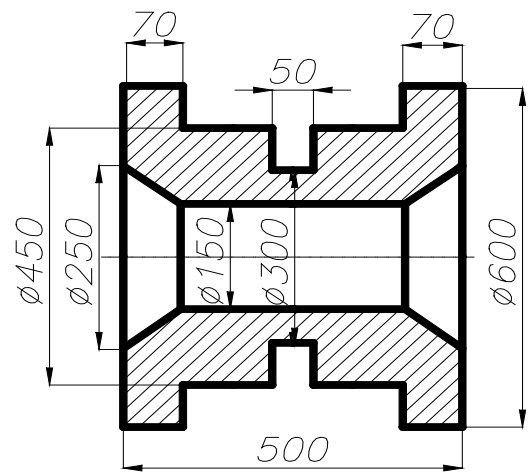
2)



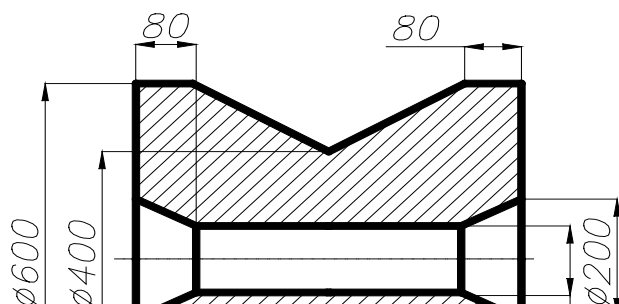
3)



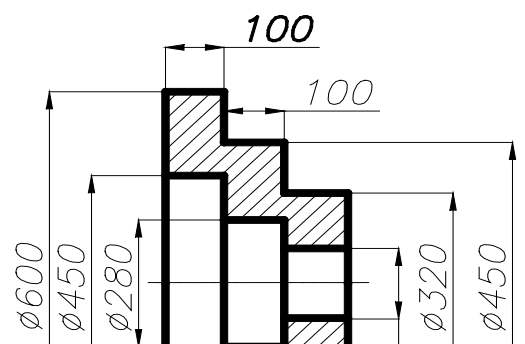
4)



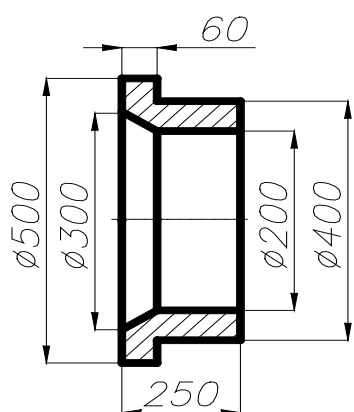
5)



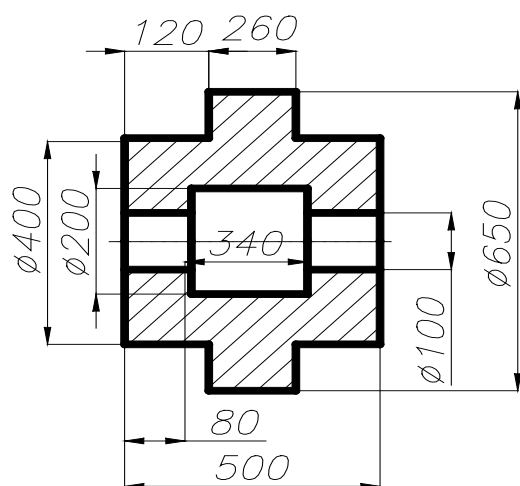
6)



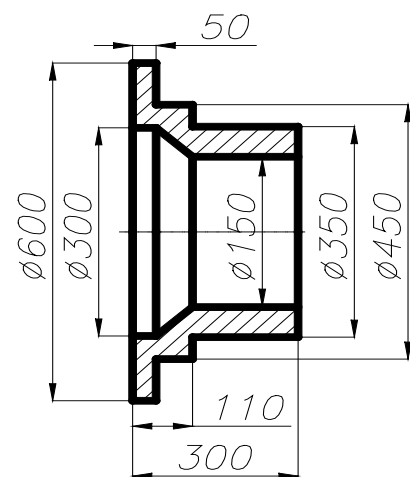
7)



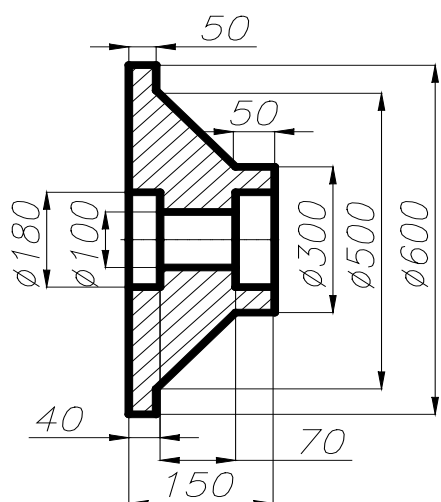
8)



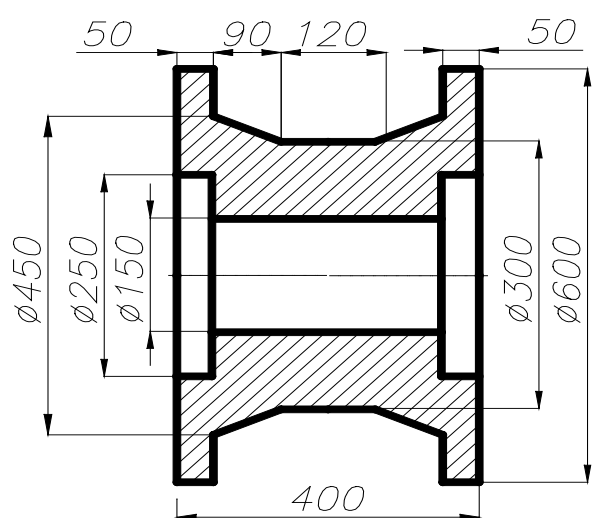
9)



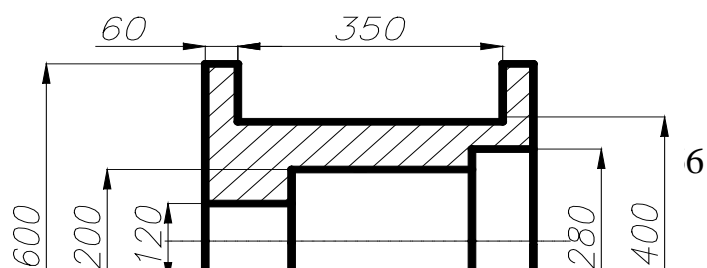
10)



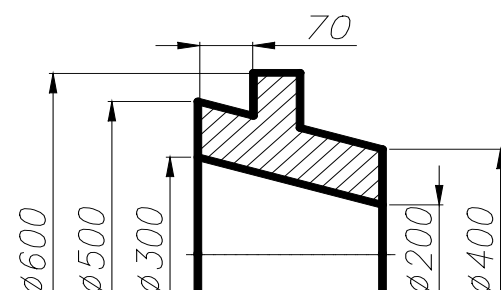
11)



12)



13)



# СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ

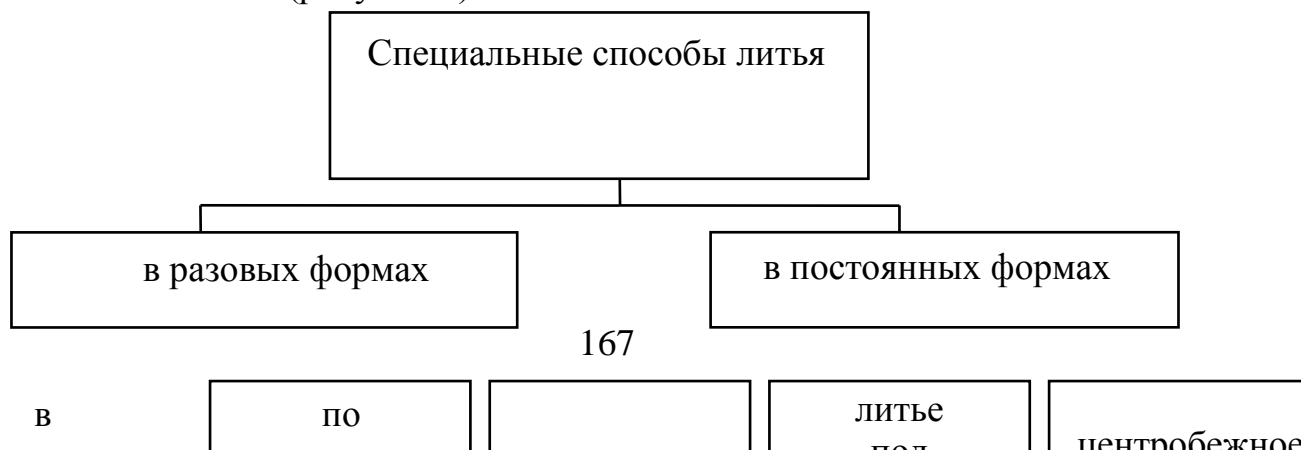
*Цель работы:* изучение специальных способов литья и область их применения.

*Применяемое оборудование и материалы:* элементы оснастки для получения изделий способами специального литья, методическое указание.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1.1 Общие сведения

Литье в песчаные формы не всегда удовлетворяет по ряду параметров требованиям к отливкам, поэтому прогрессивными методами формообразования являются специальные методы литья, позволяющие получить изделия, обладающие высокой точностью размеров, соответствующей чистотой поверхности, и уменьшить, а в некоторых случаях полностью отменить припуски на механическую обработку. В результате применения этих способов отливка по форме и размерам больше приближена к готовой детали. К специальным способам литья относят следующие методы изготовления отливок (рисунок 1):



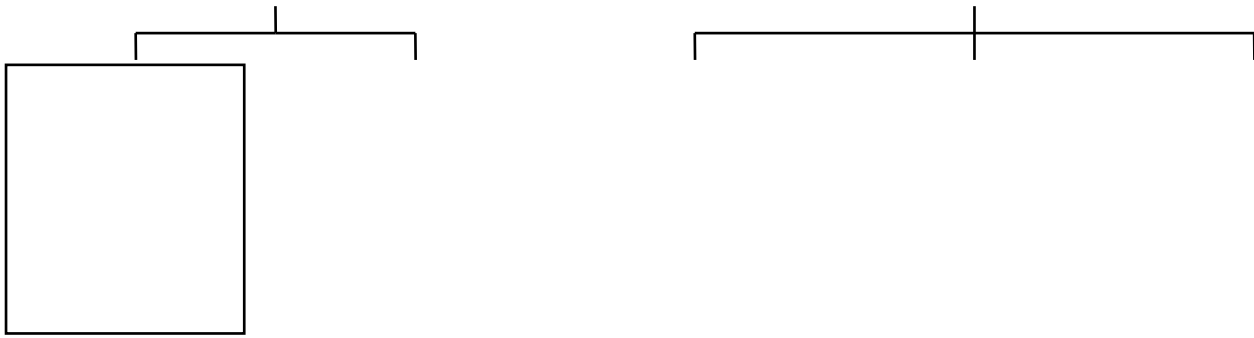


Рисунок 1 – Классификация специальных способов литья

Эти способы отличаются от способа литья в разовые песчаные формы по одному или нескольким признакам: по конструкции формы, материалу, из которого она выполнена, использованию внешних сил при заполнении форм и затвердевании отливок. Одни основаны на применении постоянных форм, другие - разовых, причем форма может представлять собой одно- или многослойную оболочку. Заполнение форм и затвердевание отливок в них может происходить под действием сил тяжести, избыточного давления, создаваемого воздухом (газом) или поршнем, и центробежных сил.

Выбор способа литья определяется рядом требований. Прежде всего, следует учитывать, что специальные способы литья, в отличие от литья в песчаные формы, ограничивают габаритные размеры и массу получаемых отливок, и поэтому их применяют для получения мелких и средних по массе изделий.

Важным фактором при выборе того или иного способа специального литья являются конструктивные особенности получаемой отливки. Тонкостенные отливки удобнее изготавливать литьем по выплавляемым моделям и литьем под давлением; отливки типа тел вращения – центробежным литьем, детали простой конфигурации - отливкой в кокиль.

В целом же выбор специального способа литья зависит от конкретно изготавливаемой детали и технических требований на нее.

Технологические особенности определяют рациональную область применения каждого из специальных способов литья. Общим для них является то, что все они относятся к прогрессивным материало-, энерго- и трудосберегающим технологиче-

ским процессам. Эти способы позволяют получать отливки с конфигурацией и размерами, максимально приближающимися к готовому изделию, с чистой и гладкой поверхностью, высокими механическими и эксплуатационными свойствами. Специальные способы отличаются высоким технологическим выходом годного литья, низким расходом формовочных материалов, несильным вредным воздействием на окружающую среду и благоприятными условиями труда. Экономичность специальных способов литья повышается с увеличением числа отливок в изготавливаемой партии, т.е. с переходом производства от мелкосерийного к серийному и массовому.

## **1.2 Литье в разовые формы**

### **1.2.1 Изготовление отливок в оболочковых формах**

Свое название способ литья получил по виду литейной формы, которая представляет собой твердую оболочку толщиной 6...10 мм, полученную из материала огнеупорной основы (наполнителя) и синтетической смолы в качестве связующего материала. Принцип получения оболочек заложен в свойствах связующего компонента, способного необратимо затвердевать при нагревании, придавая оболочке высокую прочность.

Этот способ дает возможность механизировать и автоматизировать процесс получения отливок, значительно снизить расход формовочной смеси, повысить производительность труда и получать отливки высокого качества.

В оболочковых формах изготавливают отливки с толщиной стенки 3...15 мм и массой 0,25...100 кг из чугуна, углеродистых сталей и цветных металлов для автомобилей, тракторов, с.-х. машин.

Огнеупорной основой является кварцевый песок, содержащий наименьшее количество примесей, которые снижают его качество и увеличивают расход связующего материала, понижают качество поверхности отливки. Огнеупорной смесью могут также служить корунд, электрокорунд и циркон, отличающиеся их малым расходом.

Связующим материалом служат фенолформальдегидные синтетические термо-

реактивные смолы, являющиеся отвердителем. Кроме того, в смеси вводят специальные добавки (растворители, керосин, ацетон, спирты), уменьшающие количество пыли; смазывающие материалы для предотвращения пригорания смесей к модельной оснастке.

Металлическую модельную плиту (рисунок 2. а) нагревают до  $t = 200...300^{\circ}\text{C}$  и покрывают разделительной смесью. На плиту насыпают специальную формовочную смесь (рисунок 2. б), состоящую из 93...96 % огнеупорной основы и 4...7 % связующего материала.

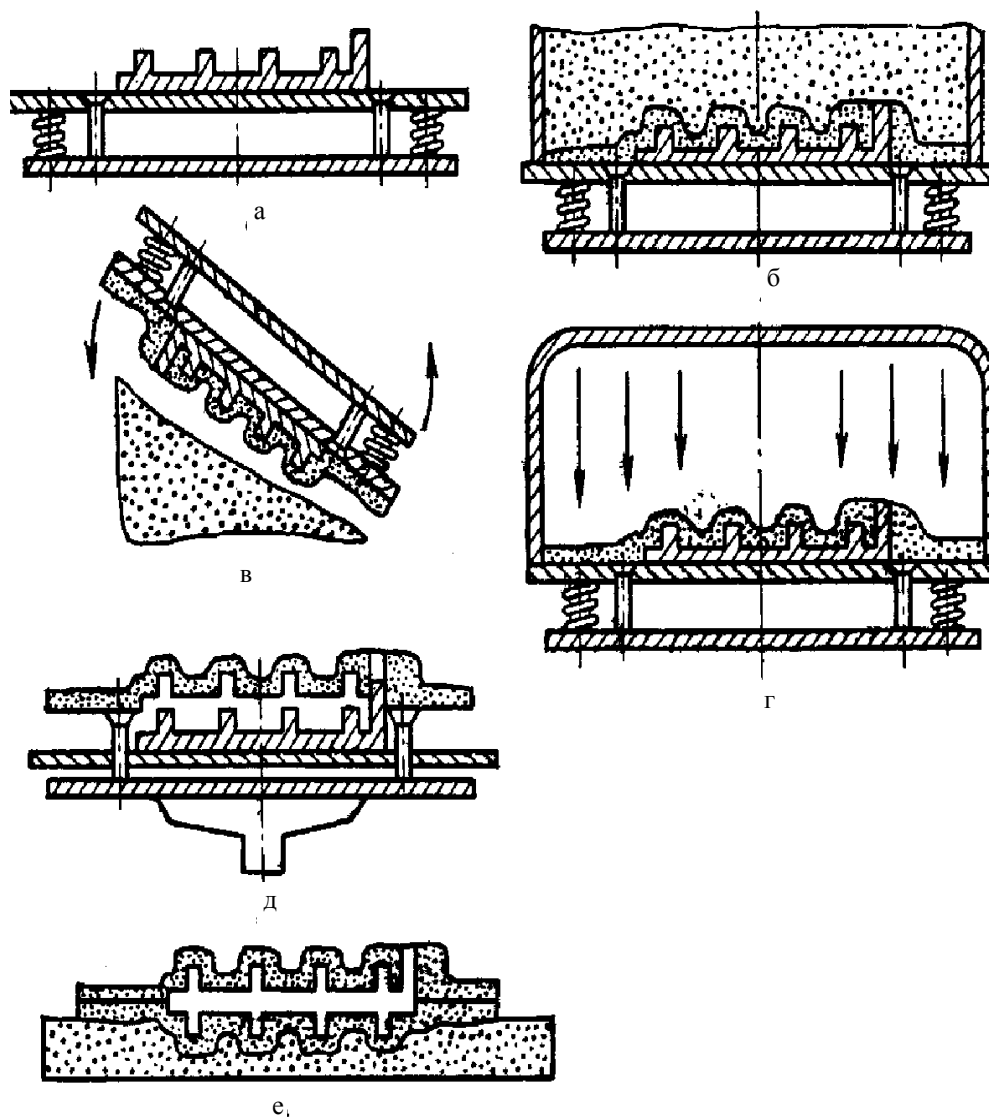


Рисунок 2 – Схема изготовления оболочковой формы.  
а – е – позиции изготовления формы

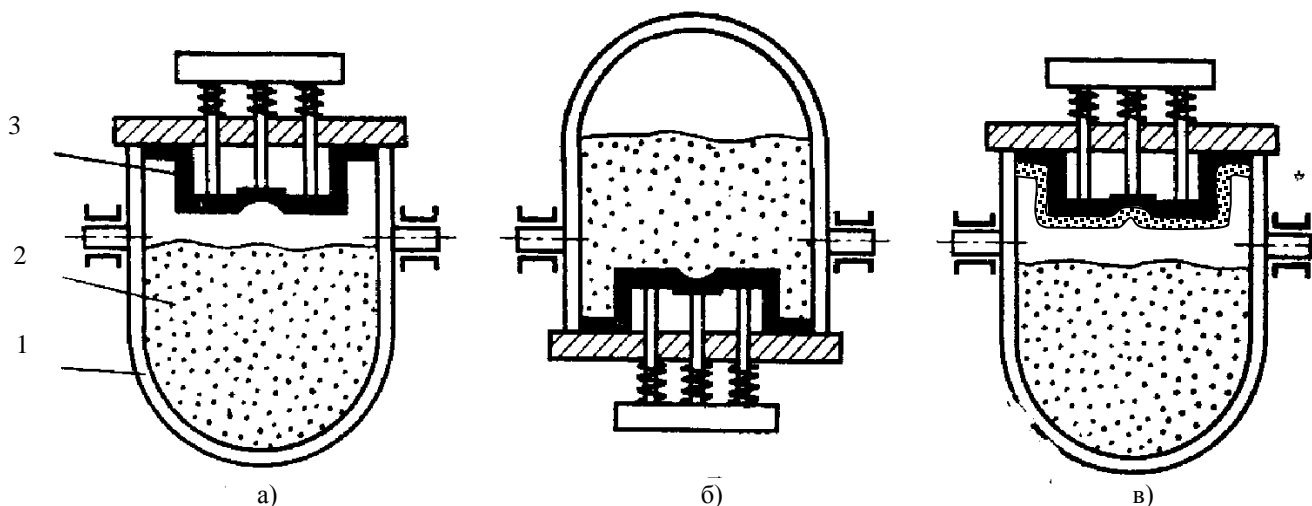
Оболочковую форму изготавливают следующим образом.

Под действием тепла модельной плиты смола плавится и в пограничном слое переходит в жидкое состояние, склеивая песчинки основы и образуя песчано-смолистую оболочку, толщина которой зависит от времени выдержки, температуры и теплофизических свойств наполнителя и составляет 6-10 мм.

Нерастворившуюся часть формовочной смеси удаляют встряхиванием (рисунок 2. в), а модельную плиту с моделью загружают в печь и выдерживают при  $t = 300...400^{\circ}\text{C}$  1-3 мин. (рисунок 2. г). При этом смола полимеризуется, переходя в твердое необратимое состояние. Оболочку снимают с модельной плиты с помощью штифтов (рисунок 2. д). Аналогично изготавливается и другая полуформа. Затем полуформы склеивают по плоскости разъема (рисунок 2. е).

Для повышения производительности процесса используется бункерный способ.

При этом способе получения изделий (рисунок 3) плита закрепляется в опрокидывающемся бункере 1, в который засыпана формовочная смесь 2 (рисунок 3. а). Бункер поворачивается на  $180^{\circ}$  (рисунок 3. б). Смесь попадает на горячую модельную плиту 3, нагревается, расплавляется и затвердевает. При достижении необходимой толщины бункер возвращают в исходное положение (рисунок 3. в). Непрореагировавшая смесь ссыпается. В дальнейшем процесс изготовления протекает аналогично ранее описанному. Съем оболочки осуществляется специальными толкателями, монтируемыми на модельной плите.



### Рисунок 3 – Бункерный способ получения оболочковых форм

Весь процесс получения оболочек длится несколько минут.

После склеивания полуформ быстротвердеющим клеем на специальных прессах или скрепления их скобами, установки в них стержней, которые также могут быть изготовлены методом оболочек, применяя нагретые стержневые ящики, собранную форму устанавливают в опоки-контейнеры.

Заливку металлом осуществляют через литниковую систему, изготовленную вместе с оболочкой, при этом формы располагают вертикально или горизонтально.

При заливке в вертикальном положении для предохранения от преждевременного разрушения оболочки в процессе заливки расплава свободное пространство засыпают кварцевым песком или дробью. После заливки металла и затвердения отливки оболочковые формы легко разрушаются на специальных вибрационных установках.

Для устранения коробления оболочковых форм разработан способ литья в облицованную металлическую форму, получивший широкое распространение. При этом в специально предусмотренный зазор между формой и моделью надувается смесь, образующая облицовочный слой толщиной 3...5 мм, который придает форме податливость, предохраняет металлическую форму от термоудара, уменьшает скорость затвердевания. Металлическая стенка кокиля, в свою очередь, защищает облицовку от коробления.

*Достоинства:* обеспечение высокой точности отливок, т.к. формовочная смесь дает четкий отпечаток модели; снижение припусков на механическую обработку в 2 раза; снижение шероховатости поверхности; изготовление тонкостенных отливок.

*Недостатки:* высокая стоимость связующего материала и оборудования; токсичность формальдегидных смол; коробление оболочковых форм.

#### **1.2.2 Изготовление отливок по выплавляемым моделям**

Отливки получают путем заливки расплавленного металла в неразъемные керамические огнеупорные формы (оболочки), изготовленные из жидких формовоч-



ных смесей вокруг разовых неразъемных моделей, которые затем удаляют из формы. В зависимости от способа удаления модели различают: *выплавляемые, растворяемые, выжигаемые*.

В состав выплавляемых моделей входят легкоплавкие компоненты (50...60 % парафина и 50...40 % стеарина, битумы). Основными составляющими растворяемых моделей являются: карбамид, нитриды и нитраты щелочных металлов. К выжигаемым модельным материалам относят вспенивающиеся и компактные термопласты (полистирол).

Последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям представлена на рисунке 4.

Модель изготавливают в пресс-форме (рисунок 4. а), в которую заливают наполнитель или запрессовывают его под давлением в пастообразном состоянии специальными шприцами или на машинах-автоматах при получении форм крупных деталей.

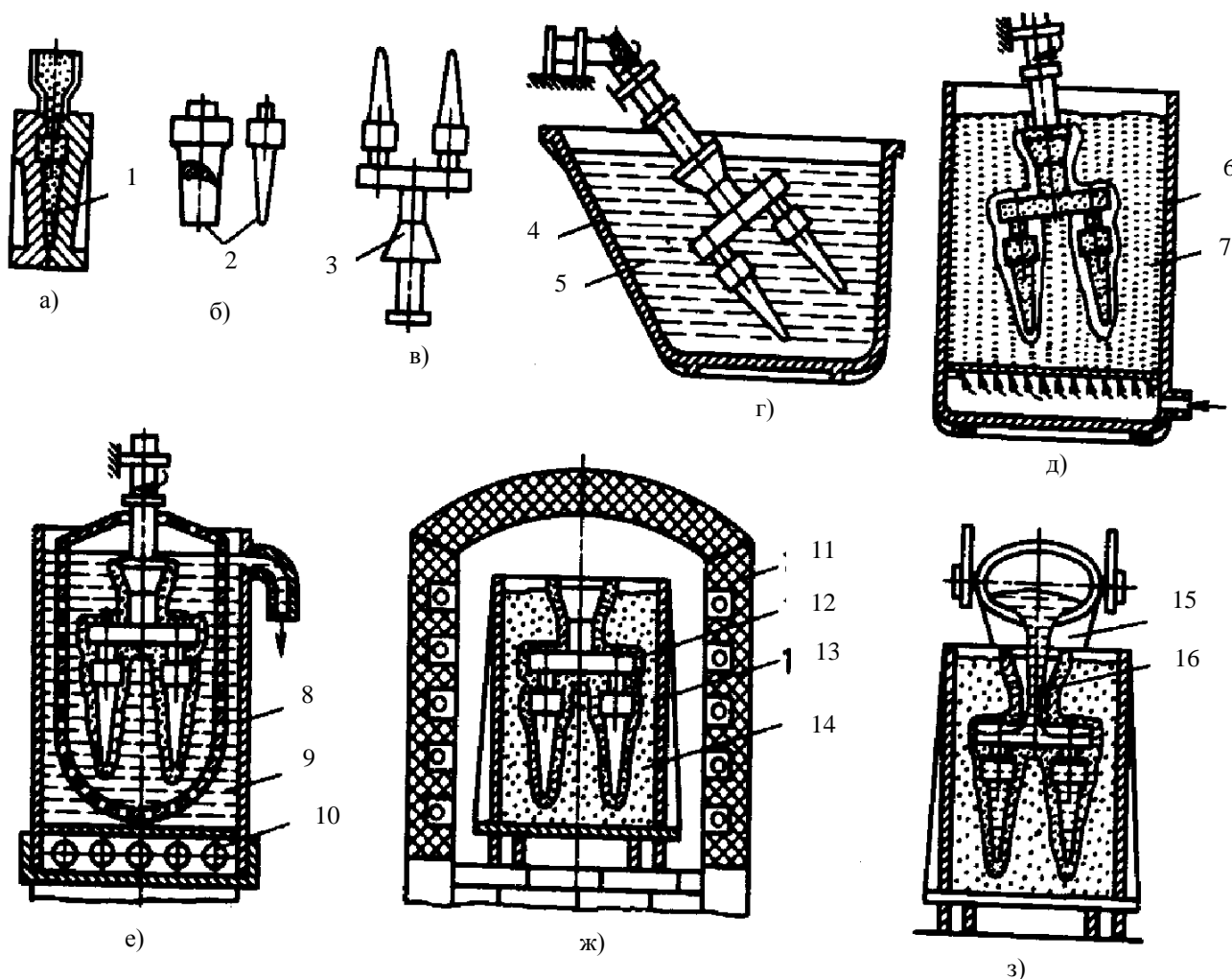


Рисунок 4 – Схема литья по выплавляемым моделям. 1 – прессформы; 2 – модель; 3 – модельные блоки; 4 – емкость; 5 – керамическая суспензия; 6 – установка для обсыпки; 7 – кварцевый песок; 8 – бак; 9 – вода; 10 – нагревательное устройство; 11 – электропечь; 12 – оболочки; 13 – жаростойкая опока; 14 – кварцевый песок; 15 – ковш; 16 – расплавленный металл

После затвердевания модельного комплекта пресс-форма раскрывается и модель (рисунок 4. б) выталкивается в ванну с холодной водой. Затем модели собирают в модельные блоки (рисунок 4. в), объединяющие от 2 до 100 моделей с общей литниковой системой.

Формы по выплавляемым моделям изготавливают погружением модельного блока в керамическую суспензию (рисунок 4. г), которую готовят тщательным перемешиванием огнеупорных материалов (пылевидный кварц, электрокорунд – 70 % от общей массы) со связывающим раствором – гидролизированный раствор этилсиликата

Затем блок посыпают кварцевым песком в специальной установке (рисунок 4. д) и сушат 2...2,5 часа на воздухе или 20...40 минут в среде аммиака. Таким образом, на модельный комплект наносят 5...6 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя (при производстве крупных отливок количество слоев достигает 10). Огнеупорный слой также можно получить электрофорезом.

Модельный комплект в зависимости от его состава удаляют через открытый торец литниковой системы следующими способами: формы погружают в воду, нагретую выше температуры плавления модельного состава (80...90° С). Расплавленный состав периодически удаляют с поверхности воды и используют для новых моделей (рисунок 4. е); модель выплавляют под действием струи пара или горячего воздуха (120...150° С); расплав модели производят в электронагревательных шкафах (t = 150...200° С). Расплав производят в жидком модельном материале (того же состава, что и модели). Соляные модели удаляют растворением в воде; выжигаемые - выжиганием в газовых печах; растворяемые - растворением в смеси ацетона и толуола.

После извлечения из ванны модели промывают водой и сушат в шкафах 1,5...2

часа при  $t = 200^{\circ}\text{C}$ . Далее оболочки укрепляют вертикально в жаростойкой опоке, засыпая свободное пространство между оболочкой и опокой сухим кварцевым песком и уплотняя его. Затем форму прокаливают в электрической печи не менее 2 часов при  $t = 900\dots950^{\circ}\text{C}$  (рисунок 4. ж). При этом обеспечивается спекание частиц связующего и огнеупорного материалов, удаляются остатки влаги и модельного состава. Прокаленные горячие формы заливают расплавленным металлом из ковша (рисунок 4. з). После охлаждения отливки форму разрушают, удаляют литниковую систему.

При проектировании технологического процесса получения отливки в разовых формах учитываются следующие факторы: габариты отливки (до 1500 мм); масса отливки (до 300 кг); толщина стенок (2...5 мм); минимальные отверстия (0,5 мм); соотношение толщины стенок  $l_1$  и  $l_2$  определяется по формуле:

$$l_1 / l_2 = 1 / 4 . \quad (1)$$

*Достоинства:* возможность получения сложных отливок из разнообразных сплавов; высокая точность геометрических размеров (припуск на механическую обработку 0,2...0,7 мм); заливка в горячие формы позволяет получить тонкостенные отливки (1...3 мм); применение для заливки жаропрочных труднообрабатываемых сплавов.

*Недостатки:* разовое использование модели; сложность технологического процесса.

*Область применения* литья в разовые формы: изготовление отливок, максимально приближающихся по конфигурации к готовой детали; замена трудоемких операций сварки или пайки; для повышения жесткости, герметичности, надежности конструкции детали, узла; изготовление тонкостенных крупногабаритных отливок повышенной точности при повышении эксплуатационных свойств; изготовление отливок повышенной точности из сплавов с особыми свойствами и структурой.

### **1.3 Литье в постоянные формы**

#### **1.3.1 Изготовление отливок в кокилях**

*Кокилем* называют металлическую литейную форму из чугуна, стали или алюминиевых сплавов, полость которой заполняется расплавом под действием силы тяжести.

Данный способ литья является наиболее распространенным и применяется для изготовления отливок простой конфигурации из различных металлов и сплавов (сталь, чугун, бронза, латунь, алюминиевые сплавы).

Все операции технологического процесса литья в металлическую форму (кокиль) механизированы и автоматизированы. Способ высокопроизводителен.

Кокили по своей конструкции бывают: *разъемные* и *неразъемные*; *многогнездные* (для получения одновременно нескольких отливок) и *одногнездные*; *механизированные*; *автоматические* и *автоматизированные* (рисунок 5).

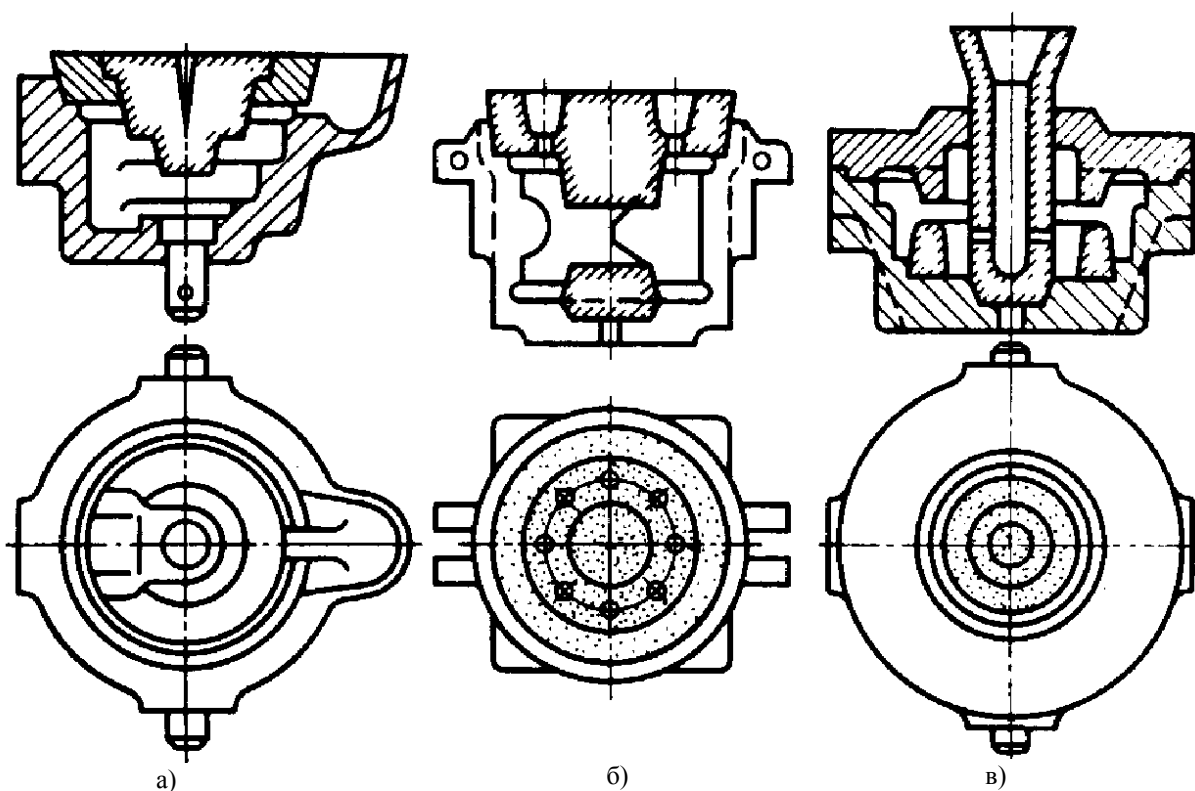


Рисунок 5 – Конструкции кокилей

Для отливок простой конфигурации используют неразъемные кокили (рисунок 5. а). В кокилях с вертикальным разъемом (рисунок 5. б) изготавливают несложные

отливки с небольшими выступами и впадинами. Для изготовления крупных, простых по конфигурации отливок применяют кокили с горизонтальным разъемом (рисунок 5. в).

Материалом для изготовления кокилей в большинстве случаев служат чугун, сталь и алюминиевые сплавы. Для отливок из стали, чугуна и медных сплавов их изготавливают из чугуна (серого, низколегированного и модифицированного), который придает высокую стойкость металлической форме при ее многократном использовании.

Количество заливок в кокиль может колебаться от 50 до десятков тысяч (для мелких отливок из легкоплавких сплавов). При изготовлении чугунных отливок массой до 1,5 кг стойкость кокиля достигает 5000 заливок, для стальных отливок массой до 150 кг – всего 300...500 заливок.

Срок службы кокиля зависит и от его правильной эксплуатации. Рабочие поверхности формы следует защищать от ржавчины и покрывать теплозащитной смесью, состоящей из огнеупорных материалов, связующего компонента и воды. Теплозащитные покрытия, толщиной 0,3...0,8 мм, наносят на предварительно подогретую до 140...180° С форму пульверизатором. Они предохраняют стенки кокиля от воздействия высоких температур заливаемого металла, регулируют скорость охлаждения отливки, улучшают заполняемость кокиля и облегчают извлечение отливки.

Заключительной операцией подготовки кокиля является его нагрев до  $t = 150...350^{\circ}\text{C}$ . Температуру нагрева назначают в зависимости от сплава и толщины стенок отливки.

Полости в отливках формируют с помощью стержней (песчаных, металлических). Для удаления газов и воздуха из полости формы по плоскости разъема выполняют вентиляционные каналы.

Заливку металла в кокиль производят разливочным ковшом или автоматическими заливочными устройствами. Подвод металла осуществляется снизу, сверху или сбоку через щелевые питатели. Наиболее плавно поступает металл при заливке снизу (сифоном).

Последовательность операций при заливке в кокиль с вертикальной плоскостью разреза представлена на рисунке 6. Сначала подготавливают форму (нагрев до  $t = 150...180^{\circ} \text{C}$ ; покрытие защитным слоем) (рисунок 6. а); затем устанавливают стержни (рисунок 6. б). Соединяют половинки кокиля, скрепляют их и заливают расплав (рисунок 6. в). После затвердевания отливки и охлаждения ее до температуры выбивки ( $0,6...0,8 t$  солидуса сплава) (рисунок 6. г) кокиль раскрывают, и удаляют металлический стержень (рисунок 6. д). Отливку удаляют из кокиля манипулятором (рисунок 6. е). После этого отливку подвергают обрубке и очищают.

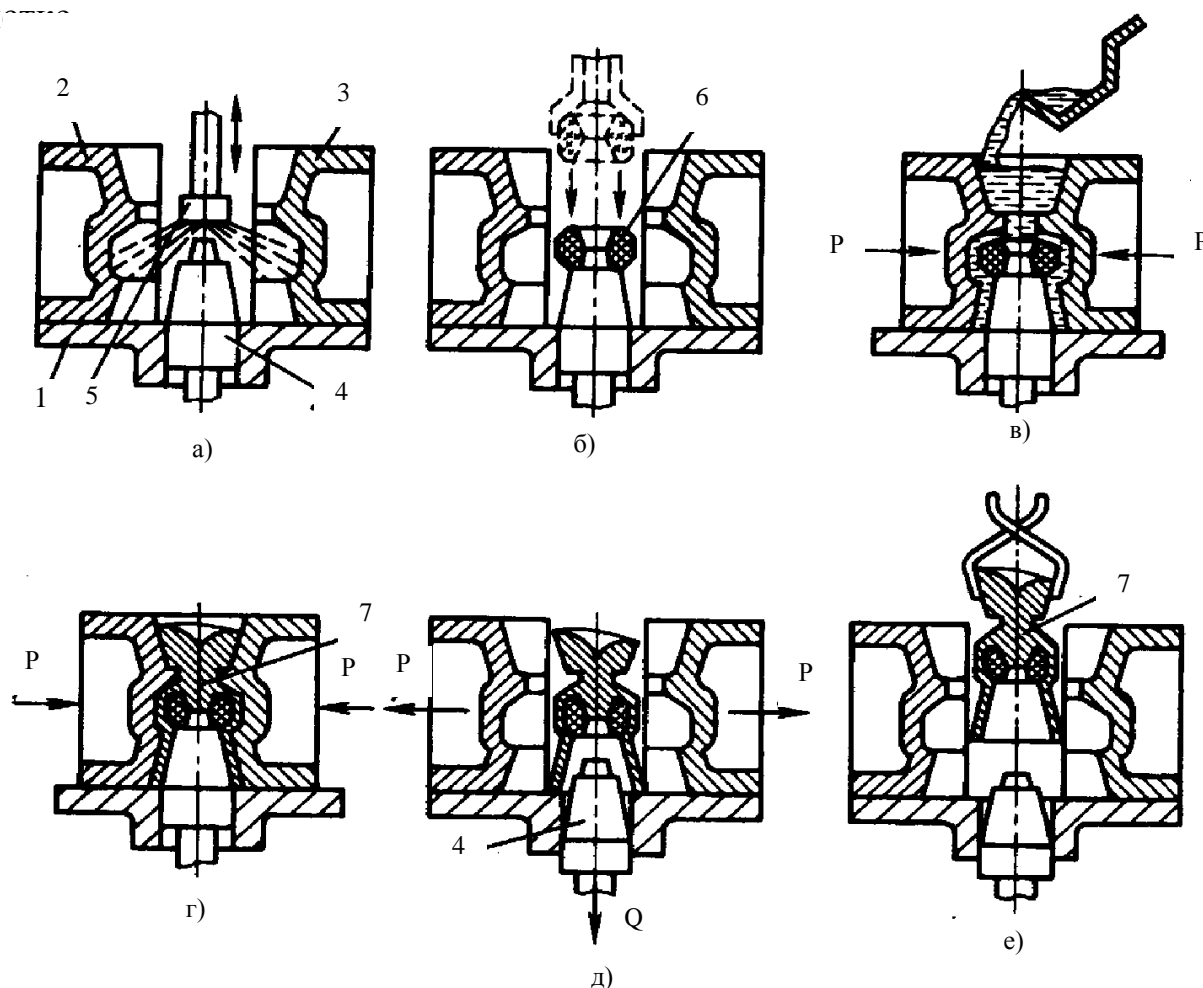


Рисунок 6 – Схема операций при заливке в кокиль. 1 – поддон; 2,3 – симметричные полуформы; 4 – металлический стержень; 5 – пульверизатор; 6 – песчаный стержень; 7 – отливка

**Требования, предъявляемые к отливкам.** Отливки должны иметь простую конфигурацию; отливки не должны иметь выступающих частей; полость отливки должна быть выполнена минимальным числом стержней; отливка на должна иметь

резких переходов от тонких стенок к массивным, чтобы устранить возможность образования усадочных дефектов и высоких уровней остаточных напряжений. Плавность перехода обеспечивается соотношением толщин  $l_1 / l_2$  определяется как  $1/4$  (формула 1).

Переход от  $l_1$  к  $l_2$  осуществляется на участке длиной:

$$L \geq (4 \dots 5) (l_2 - l_1) . \quad (2)$$

Ребра жесткости должны иметь толщину

$$l_p = 0,7l_0 , \quad (3)$$

где  $l_0$  – толщина стенки отливки.

Радиусы скруглений при угловом сопряжении стенок

$$R = (l_1 + l_2) / 2 . \quad (4)$$

**Достоинства:** высокая геометрическая точность размеров и малая шероховатость; многократное использование формы; снижение расхода жидкого металла, стержневых и формовочных смесей; повышение механических свойств отливки вследствие получения мелкозернистой структуры.

**Недостатки:** высокая трудоемкость и, следовательно, высокая стоимость изготовления форм; возможность образования отбела в чугунных отливках; трудность при изготовлении сложных по конструкции отливок; трудность в получении тонких стенок; неравномерность структуры; литейные сплавы, обладающие пониженной жидкотекучестью и склонностью к высокой усадке, не следует применять при литье в кокиль.

**Область применения:** применяется только в серийном и массовом производстве. Серийность при литье чугуна должна составлять более 20 крупных или более 400 мелких отливок в год, а при алюминиевых – не менее 400...700 отливок в год.

### **1.3.2 Изготовление отливок литьем под давлением**

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливка металла в форму и формирование отливки осуществляют-

ся под давлением (30...300 МПа). Этим способом получают отливки массой от нескольких граммов до нескольких килограммов из цветных сплавов: свинцово-оловянистых, цинковых, алюминиевых, магниевых и медных. Полученные отливки обладают высокой чистотой поверхности и точными размерами. Способ дает возможность получать детали любой сложной конфигурации с многочисленными круглыми и фасонными отверстиями, расположенными в различных плоскостях. Отливки с элементами зубчатого зацепления, изготовленные литьем под давлением, не требуют дополнительной механической обработки. При литье тонкостенных изделий минимальная толщина стенки может достигать 1,5 мм.

Изготавливают отливки с помощью автоматических или полуавтоматических поршневых и компрессорных машин с горячей или холодной камерой прессования. Камеры расположены как вертикально, так и горизонтально (рисунок 7).

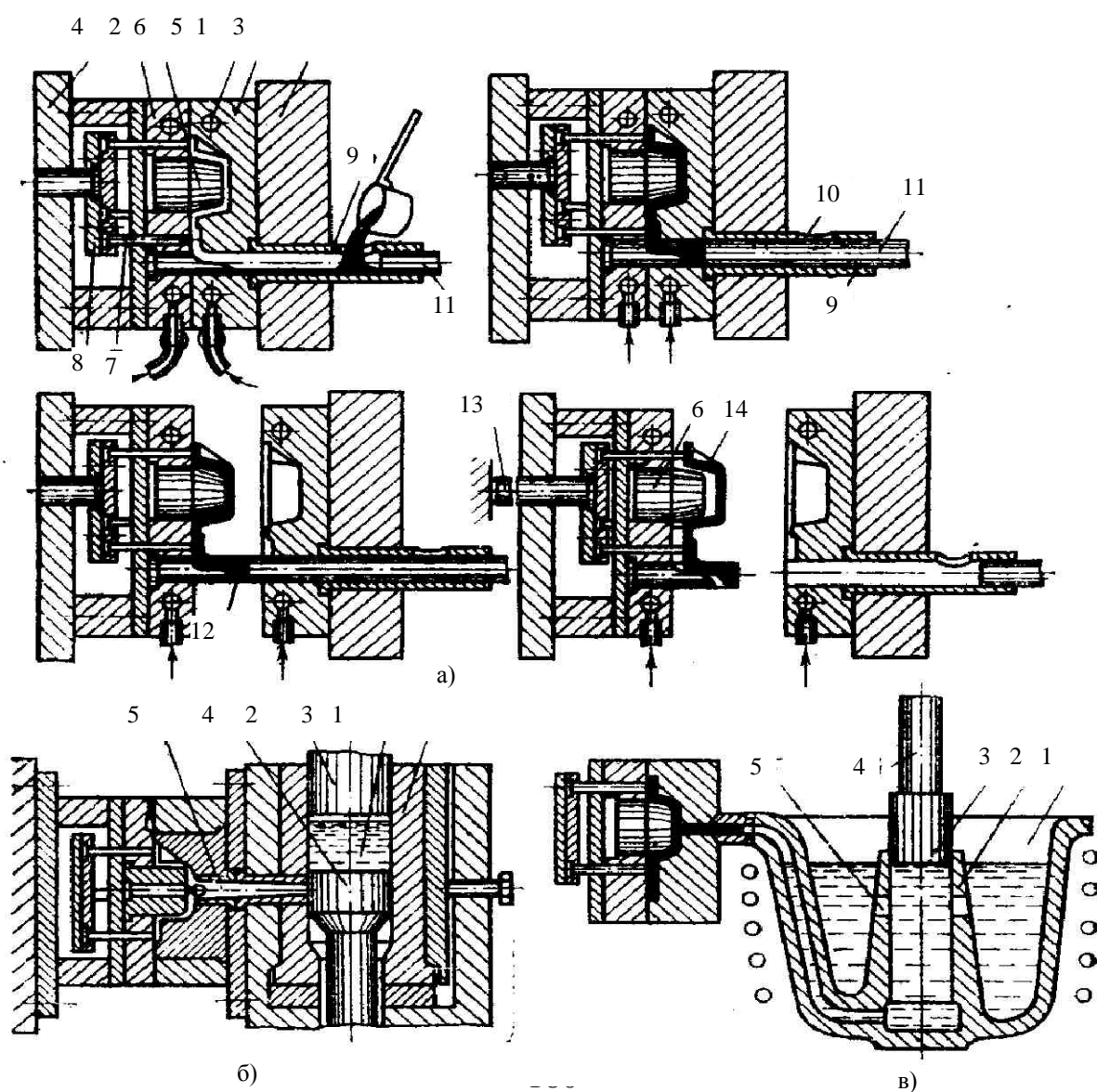




Рисунок 7 – Схемы действия машин для литья под давлением.

а) с холодной горизонтальной камерой прессования: 1 – неподвижная половина прессформы; 2 – подвижная половина прессформы; 3 – неподвижная плита; 4 – подвижная плита; 5 – каналы водяного охлаждения; 6 – стержни; 7 – выталкиватели; 8 – плита выталкивателей; 9 – камера прессования (цилиндр); 10 – заливочное отверстие; 11 – плунжер; 12 – прессостаток; 13 – упор; 14 – отливка. б) с холодной вертикальной камерой прессования: 1 – камера прессования; 2 – плунжер; 3 – расплав; 4 – пята; 5 – заливочное отверстие. в) машина с горячей камерой прессования: 1 – тигель; 2 – камера прессования; 3 – плунжер; 4 – толкатель; 5 – отверстие

Машины с горячими камерами (рисунок 7. в) применяют только для сплавов с низкой температурой плавления (цинковые сплавы) и они получили незначительное распространение.

Машины с холодными камерами (рисунки 7. а и 7. б) применяют для изготовления отливок из сплавов цветных металлов, причем крупные отливки получают на машинах, в которых камеры сжатия располагаются горизонтально. Температура заливки сплава должна быть на 10...20° С выше температуры ликвидуса сплава.

Машины с горизонтально расположенной камерой прессования имеют прессформу, состоящую из неподвижной 1 и подвижной 2 половин. Первая из них прикреплена к неподвижной плите 3 машины, а подвижная – к подвижной плите 4. Каналы 5 служат для водяного охлаждения, стержни 6 - для образования полостей. Удаление отливки осуществляется выталкивателями 7, закрепленными в плите выталкивателей 8.

После закрытия прессформы с помощью запорного механизма машины в цилиндр 9 (камера прессования) через отверстие 10 заливают порцию металла и включают механизм прессования. При этом плунжер 11, передвигаясь, перекрывает заливочное отверстие и запрессовывает металл через литниковую щель в полость прессформы. После затвердевания металла включают механизм раскрытия прессформы, который отводит подвижную половину вместе с отливкой от неподвижной. При этом плунжер также движется и выталкивает прессостаток 12. Плита толкателя движется до упора 13. Выталкиватели удаляют отливку 14 со стержнем 6, и она падает в приемное устройство.

Основные этапы литья под давлением в машине с вертикально расположенной холодной камерой сжатия (рисунок 7. б) заключаются в следующем. После закрытия прессформы в вертикальную камеру прессования 1 заливаю порцию металла 3 и включают механизм прессования. Двигаясь вниз, плунжер 2 давит на металл и перемещает вниз пята 4, в результате чего открывается отверстие 5, через которое сплав заполняет полость прессформы. Затем плунжер и пята поднимаются, при этом пята при своем движении вверх отрезает литник и поднимает прессостаток. Перед заливкой пресс-форму нагревают до  $t = 120...130^{\circ}\text{C}$ . После удаления отливки рабочую поверхность прессформы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами, предупреждающими приваривание отливки к прессформе.

На машинах с горячей камерой прессования (рисунок 7. в) имеется печь с тиглем, в которой находится жидкий сплав с заданной температурой. Камера прессования 2 составляет одно целое с чугунным тиглем 1, находящимся в печи. Когда плунжер 3 поднят, металл через отверстие 5 заполняет камеру 2. Затем при движении плунжера вниз он перекрывает отверстие 5 и давит на металл, который заполняет полость прессформы.

*Достоинства:* высокая производительность; высокий класс точности отливки и степень точности поверхности; получение сложных тонкостенных отливок; процесс легко автоматизировать и механизировать.

*Недостатки:* высокая стоимость прессформ и оборудования; ограниченность габаритных размеров и массы отливок; наличие воздушной пористости в массивных частях отливок.

*Область применения:* литье под давлением экономически целесообразно применять в массовом и крупносерийном производстве точных отливок с минимальным припуском на обработку из легких, цинковых и медных сплавов, специальных сплавов и сталей. Этот процесс может быть отнесен к малооперационным и практически безотходным технологиям.

### **1.3.3 Изготовление отливок центробежным литьем**

При данном способе формирование отливки происходит под действием центробежных сил, обеспечивающих высокую плотность и хорошие механические свойства. Форма (металлическая, песчаная, оболочковая) перед заливкой приводит-

ся во вращательное движение центробежными машинами с вертикальной или горизонтальной осью вращения (рисунок 8). Под действием центробежных сил металл прижимается к стенкам формы и затвердевает.

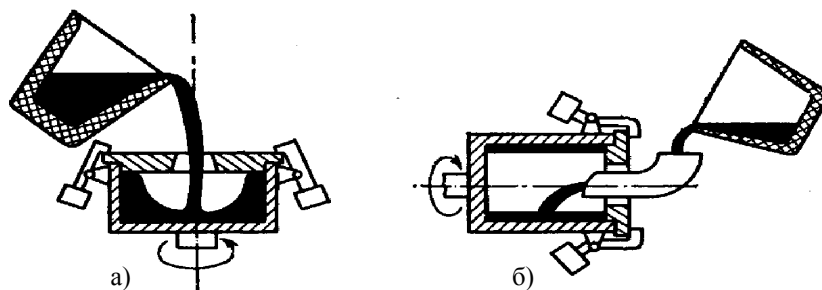


Рисунок 8 – Схема центробежного литья: а – с вертикальной осью вращения; б – с горизонтальной осью вращения

При литье на машине с горизонтальной осью вращения получают отливку в виде полой цилиндрической заготовки с равномерным распределением металла по длине формы: отливки типа тел вращения (трубы, кольца, втулки, гильзы).

При центробежном литье с вращением вокруг вертикальной оси также образуется пустотелая отливка, но из-за действия силы тяжести ее стенки внизу больше, чем сверху. На машинах этого типа получают отливки по высоте не более 500 мм типа тел вращения (кольца, короткие втулки) и фасонные отливки, имеющие сравнительно тонкие стенки.

Центробежным способом литья изготавливают двухслойные биметаллические отливки, заливая сначала один сплав, затем другой.

Наиболее важным вопросом при проектировании технологического процесса центробежного литья является расчет необходимой частоты вращения форм ( $n$ ). Недостаточная частота вращения не позволяет получить отливку требуемой конфигурации. Чрезмерная  $n$  ухудшает качество отливки и условия работы машины – возникают различные дефекты изделия, требуется повышение точности деталей и дополнительная балансировка машины. Наиболее приемлемыми формулами для расчета  $n$  являются следующие соотношения

$$n = c / \sqrt{R}; \quad (5)$$

и

$$n = 5520 / \sqrt{\rho r} \quad (6)$$

где  $n$  – частота вращения, об/мин;

$c$  – коэффициент, учитывающий тип сплава: сталь  $c = 1350$ , серый чугун и бронза  $c = 1675$ , алюминий  $c = 2250$ ;

$R$  – радиус наружной поверхности, см;

$r$  – радиус внутренней поверхности, см;

$\rho$  – плотность сплава, г/см<sup>3</sup>: сталь  $\rho = 7,8$  кг/см<sup>3</sup>, серый чугун  $\rho = 7,4$  кг/см<sup>3</sup>, бронза  $\rho = 8,8$  кг/см<sup>3</sup>, алюминий  $\rho = 2,8$  кг/см<sup>3</sup>.

Частота вращения формы: 150...1200 об/мин, форму перед заливкой нагревают до  $t = 150...200^\circ \text{C}$ ,  $t$  заливки на  $100...150^\circ \text{C}$  выше  $t$  ликвидуса сплава.

*Преимущества:* исключается необходимость применения стержней при изготовлении полых отливок (трубы); получение плотных отливок без шлаковых включений, газовых раковин, с мелкозернистой структурой и повышенными механическими свойствами; отсутствие литниковой системы и прибылей и, как следствие, экономии сплава; получение двухслойных заготовок.

*Недостатки:* увеличение степени ликвации сплавов, возникающей из-за различных удельных весов составляющих сплава; ухудшение качества внутренней поверхности; уменьшение точности отливки.

*Область применения:* наиболее рационально использование центробежного литья для получения отливок – полых цилиндров (труб, втулок, гильз, колец). Основная эффективность достигается при этом вследствие возможности получения таких отливок без стержней, практически без отходов металла на литники, прибыли; получение высокого качества отливок, не имеющих дефектов усадочного и газового происхождения. Кроме того, центробежное литье широко используют для изготовления фасонных отливок сложной конфигурации из тугоплавких, легированных, труднообрабатываемых сплавов.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Ознакомиться с методическими указаниями.

2.2 По варианту, выданному преподавателем выполнить задание.

2.2.1 Определить по имеющимся вариантам толщину толстой стенки отливки,

полученной в разовой форме; найти необходимый радиус галтели, образованной этими стенками,  $R$  (использовать формулы 1 и 4). Данные для расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

|            |   |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Вариант    | 1 | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
| $l_1$ , мм | 2 | 2,4 | 2,8 | 3,2 | 3,6 | 4,0 | 4,4 | 4,8 | 5,2 |

2.2.2 Отливка, полученная литьем в кокиль, имеет тонкую стенку толщиной  $l_1$  (данные приведены в таблице 2). Рассчитать, согласно заданным вариантам, толщину толстой стенки  $l_2$ , величину перехода  $L$ , толщину ребер жесткости для тонкой и толстой стенок соответственно:  $l_{p1}$  и  $l_{p2}$  и радиусы скруглений  $R$  при угловом сопряжении стенок. Использовать формулы 1 – 4.

Таблица 2

|            |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Вариант    | 1 | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |
| $l_1$ , мм | 2 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 8,0 | 8,5 |

2.2.3 Рассчитать частоту вращения формы при центробежном литье для вариантов, приведенных в таблице 3.

Таблица 3

|          |       |     |     |     |       |      |      |        |      |     |          |     |    |     |
|----------|-------|-----|-----|-----|-------|------|------|--------|------|-----|----------|-----|----|-----|
| Вариант  | 1     | 2   | 3   | 4   | 5     | 6    | 7    | 8      | 9    | 10  | 11       | 12  | 13 | 14  |
| $r$ , см | 5     | 6   | 7   | 8   | 9     | 10   | 11   | 12     | 10   | 9   | 8        | 7   | 5  | 6   |
| $R$ , см | 5,2   | 6,3 | 7,4 | 8,5 | 9,6   | 10,2 | 11,3 | 12,4   | 10,5 | 9,6 | 8,8      | 7,9 | 7  | 6,2 |
| Материал | Сталь |     |     |     | Чугун |      |      | Бронза |      |     | Алюминий |     |    |     |

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Дать краткие описания специальных способов литья

3.2 Выполнить предложенные задания

#### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Какие специальные способы литья Вы знаете?

2 Чем определяется выбор способа специального литья?

3 Что является наиболее важным достоинством специальных способов литья и почему?

4 Типы кокилей, их использование.

5 Какие факторы влияют на срок службы кокиля?

6 Последовательность операций при заливке в металлические формы.

7 С чем связано повышение механических свойств отливки при заливке в кокиль?

8 Из каких компонентов состоит оболочковая форма?

9 Как получают оболочковую форму?

10 Как удаляется излишняя формовочная смесь при бункерном способе?

11 Каким способом устраняют коробление оболочковых форм?

12 Что такое выплавляемая модель, ее состав?

13 Как готовят формы по выплавляемым моделям?

14 Удаление модельного состава из формы.

15 Чем обеспечивается высокая точность отливок при способе по выплавляемым моделям?

16 Особенности отливок, изготавливаемых литьем под давлением.

17 Машины для литья под давлением.

18 Литье под давлением в машине с холодной камерой.

19 Как формируется отливка при центробежном литье?

20 Почему в центробежной машине с вертикальным вращением нельзя получить отливки высотой более 500 мм?

21 Как изготавливают трубы методом центробежного литья?

22 Чем объясняется повышение механических свойств отливок, полученных

способом центробежного литья?

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Чижикова Т. В., Матюшкин Б. А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов М.: КолосС, 2011
- 2 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012
- 3 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 2. "Горячая обработка": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008

## ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ ПРИ ХОЛОДНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ

*Цель работы:* изучить влияние степени холодной пластической деформации и рекристаллизации на свойства стали.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* твердомер для измерения твердости по Бринеллю; твердомер для измерения твердости по Роквеллу; печь для нагрева металла (температура рабочего пространства не менее 1000° С); микрометр; цилиндрические образцы из стали обыкновенного качества или качественной (диаметр образца 8 мм, высота 15 мм; количество образцов не менее 7 шт.).

### 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

#### 1.1 Свойства пластически деформированных металлов

*Деформацией* называется процесс изменения формы и размеров твердого тела под действием внешних сил или внутренних напряжений. В результате холодного пластического деформирования металл изменяет свои механические, физические, химические и технологические свойства. Это явление называется *наклепом*.

В зависимости от температуры испытаний (работы) различают холодное пластическое деформирование и горячее пластическое деформирование.

*Холодным пластическим деформированием* называют деформирование, не со-

проводящееся рекристаллизацией.

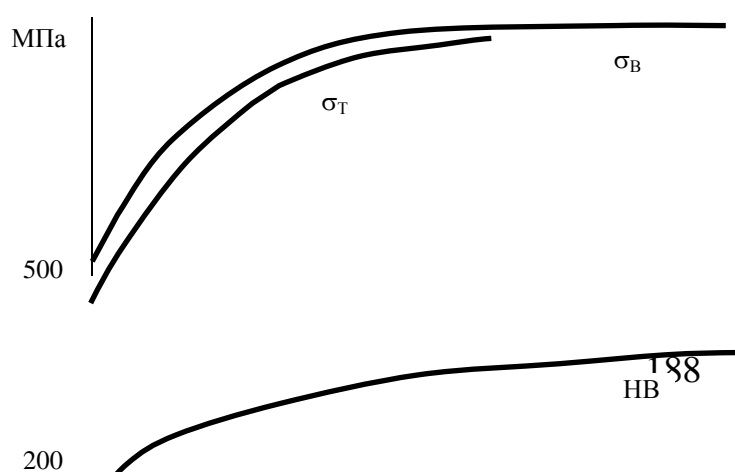
*Горячим пластическим деформированием* называют деформирование, когда скорость рекристаллизации превышает скорость деформирования.

При холодной деформации происходит изменение формы зерен – текстурирование; при горячей деформации зерна остаются равноосными.

Свойства наклепанного металла изменяются тем сильнее, чем больше степень деформации. При деформировании увеличиваются прочностные характеристики ( $\sigma_B$ ;  $\sigma_T$ ; НВ), происходит деформационное упрочнение, а способность к пластической деформации ( $\delta$ ) падает (рисунок 1). Металлы интенсивно наклепываются в начальный период деформирования. Дальнейший рост степени деформирования ( $\varepsilon$ ) не приводит к существенному изменению механических свойств (рисунок 1). Значительное увеличение  $\varepsilon$  ведет к выравниванию предела прочности и предела текучести, а удлинение становится равным нулю. Такое состояние металла является предельным; при дальнейшей попытке продолжить деформирование металл разрушается.

В результате наклепа предел прочности удается повысить в 1,5...3 раза, а предел текучести в 3...7 раз. В то же время относительное удлинение может снизиться до 2 %.

Упрочнение при наклепе объясняется существенным повышением плотности дислокаций ( $\rho$ ). При этом  $\rho$  достигает  $10^{11} \dots 10^{12} \text{ см}^{-2}$ . (В отожженном состоянии  $\rho = 10^8 \text{ см}^{-2}$ ). Одновременно в процессе пластической деформации увеличивается количество точечных несовершенств – вакансий и дислоцированных атомов. С ростом плотности дислокаций и несовершенств кристаллического строения затрудняется свободное перемещение дислокаций. Дополнительные барьеры для дислокаций создаются за счет деформации зерен и дробления блоков. Все эти факторы способствуют упрочнению металла при наклепе.





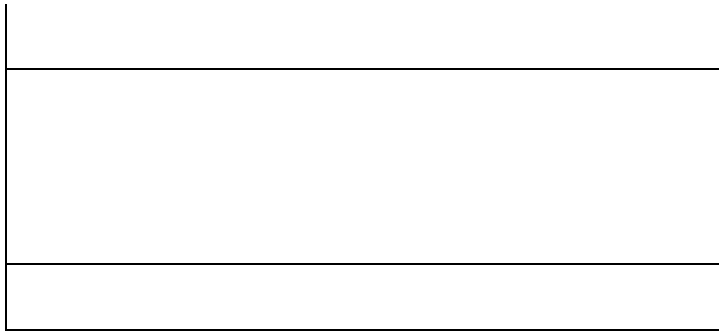


Рисунок 1 – Влияние степени пластической деформации на механические свойства низкоуглеродистой стали:

$\sigma_B$  – предел прочности;  $\sigma_T$  – предел текучести;

НВ – твердость;  $\delta$  – пластичность;  $\varepsilon$  – степень деформации

Наклеп приводит, как уже указывалось выше, и к изменению ряда других свойств. Наклепанный металл имеет меньшую плотность, более высокое электросопротивление, меньшую теплопроводность, пониженную устойчивость против коррозии.

Детали, прошедшие обработку давлением в холодном состоянии, будут наклепанными. Перенаклеп приводит к появлению трещин в результате хрупких разрушений.

## 1.2 Влияние нагрева на свойства деформированного сплава

Наклепанные сплавы находятся в термодинамически неустойчивом состоянии. С повышением температуры такие металлы восстанавливают свои первоначальные свойства, переходят в равновесное состояние, т.е. *происходит разупрочнение через возврат, полигонизацию и рекристаллизацию.*

Разупрочнение состоит из двух стадий: *возврата* и *полигонизации*. При нагреве до  $0,2 T_{пл}$  – протекает *возврат* ( $T_{пл}$  – температура плавления сплава). При возврате уменьшается уровень остаточных напряжений, снижается плотность дислокаций и электросопротивление. Однако, структура, образовавшаяся в результате деформации, сохраняется. *Возвратом* называют все изменения тонкой структуры и свойств, которые не сопровождаются изменением микроструктуры.

*Полигонизация* – это дробление зерен на субзерна с малыми угловыми грани-

цами. При нагреве до  $0,3 T_{\text{пл}}$  неупорядоченно расположенные дислокации выстраиваются самодиффузией в дислокационные стенки. Образуются субзерна (полигоны) в объеме одного зерна, свободные от дислокаций.

При  $0,4 T_{\text{пл}}$  непрерывно возникают зародыши новых зерен неискаженной формы, они увеличиваются за счет вытянутых кристаллов, становятся равноосными без сохранения текстуры и внутренних напряжений. Деформированные зерна заменяются новыми мелкими кристаллитами. Влияние наклепа снимается. Такая обработка называется *рекристаллизационным отжигом*. Рекристаллизация приводит к уменьшению предела прочности, предела текучести, твердости и повышению пластичности (рисунок 2).

Таким образом, *рекристаллизация* – это зарождение и рост новых зерен с меньшим количеством дефектов. В результате рекристаллизации образуется равновесная структура.

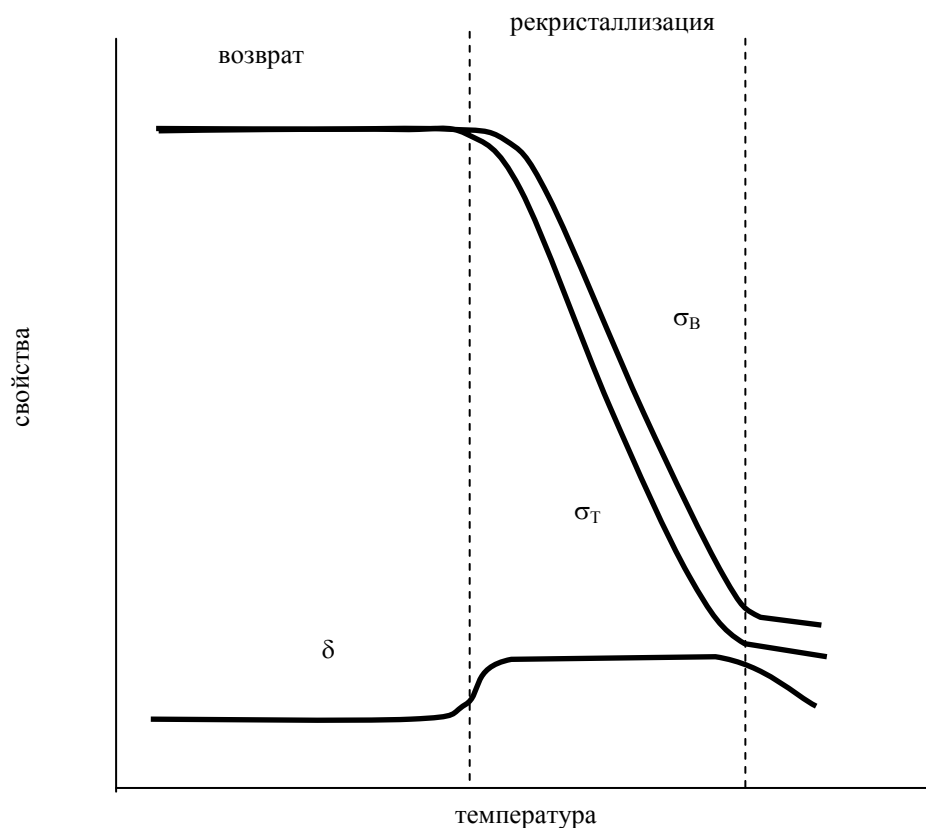


Рисунок 2 – Влияние нагрева на механические свойства наклепанной стали

Температура рекристаллизационного отжига  $T_p$  определяется следующей формулой:

$$T_p = a \cdot T_{пл} . \quad (1)$$

Значение коэффициента  $a$  зависит от чистоты металла и степени пластической деформации. Для металлов технической чистоты  $a = 0,3 \dots 0,4$ . Добавка легирующих элементов: хрома, вольфрама, молибдена, никеля, алюминия приводит к повышению температурного порога рекристаллизации.

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Ознакомиться с теоретическими сведениями.

2.2 Промаркировать образцы цифрами 1, 2, 3, ... 7.

2.3 Измерить микрометром длину  $u$  всех образцов. Измерения занести в таблицу 1 приложения А.

2.4 Измерить твердость каждого образца по шкале HRB. Измерения занести в таблицу 2 приложения А.

2.5 Продеформировать образцы 1, 2, 3 с нагрузкой 35 кН и измерить их длину после деформирования. Результаты занести в таблицу 1 приложения А.

2.6 Рассчитать степени деформации ( $\varepsilon$ ) этих образцов по формуле

$$\varepsilon = \frac{l_k - l_n}{l_n} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где  $l_n$ ;  $l_k$  – высота образца до и после деформации, мм.

2.7 Загрузить образцы в печь, предварительно установленную на температуру 400° С.

2.8 Продеформировать образцы 4, 5, 6, 7 с нагрузками 10; 20; 30; 35 кН соответственно.

2.9 Измерить длину каждого из этих образцов и рассчитать степень деформации по формуле 2. Результаты занести в таблицу 1. Измерить твердость по HRB после деформации. Результаты занести в таблицу 1.

2.10 Провести нагрев образцов 1, 2, 3 до 400; 700; 900° С соответственно, с по-

следующим охлаждением на воздухе. Измерить твердость по HRB и занести данные в таблицу 4.

2.11 По данным таблиц 1, 3, 4 построить зависимости  $HRB = f(\epsilon)$ ,  $HRB = f(t)$ . Приложение Б, рисунки 1 и 2.

### **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Таблицы с измерениями.

3.2 Графики результатов.

3.3 Выводы. Описание графиков, различие между холодной и горячей деформациями.

### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Что называют деформацией?

2 Наклеп.

3 Чем отличается холодное деформирование от горячего?

4 Влияние холодной и горячей деформации на структуру.

5 Как меняются механические свойства после пластического деформирования? Ответ поясните графиком.

6 Чем объясняется наклеп металлов? Изменение физических свойств при наклепе. В чем заключается отрицательное воздействие наклепа?

7 Возврат и полигонизация.

8 Температура протекания возврата и полигонизации.

9 Рекристаллизация. Температура рекристаллизации. Факторы, влияющие на рекристаллизацию.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1 Технология конструкционных материалов/Под ред. А.И. Дальского. – М.: Машиностроение, 1992.

2 Металловедение и технология металлов/Под ред. Ю.П. Солнцева. – М.: Металлургия, 1988.

3 Материаловедение/Под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Машиностроение, 1986

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Таблица 1 – Результаты расчета степени деформации

| № образца                               | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
|---|----|----|----|----|----|----|----|
| Высота до деформирования, $l_H$ , мм    |    |    |    |    |    |    |    |
| Высота после деформирования, $l_K$ , мм |    |    |    |    |    |    |    |
| Нагрузка на индентор, кН                | 35 | 35 | 35 | 10 | 20 | 30 | 35 |
| Степень деформации, $\varepsilon$ , %   |    |    |    |    |    |    |    |

Таблица 2 – Твердость до деформации

| № образца | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|
| HRB       |   |   |   |   |   |   |   |

Таблица 3 – Твердость после деформации

| № образца | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|---|---|---|---|
| HRB       |   |   |   |   |

Таблица 4 – Твердость после нагрева

|               |     |     |     |
|---------------|-----|-----|-----|
| № образца     | 1   | 2   | 3   |
| t нагрева, °C | 400 | 700 | 900 |
| HRB           |     |     |     |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б



Рисунок 1 – Влияние степени деформации на твердость  $HRB = f(\epsilon)$



Рисунок 2 – Твердость образца после нагрева  $HRB = f(t^\circ)$

## **ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НАГРЕВА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК ПЕРЕД ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ**

*Цель работы:* ознакомление с основными критериями при выборе режима нагрева стальных заготовок для их горячей обработки; умение назначать такие режимы.

### **1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

Деформируемые металлы при определенных температурах обладают достаточно высокой пластичностью и низким сопротивлением деформированию. Эти температуры имеют верхний и нижний пределы, между которыми находится *температурный интервал обработки давлением*, т.е. область температур, при которых целесообразно проводить ковку и горячую штамповку.

Установление температурного интервала обработки давлением стали связано с необходимостью ее обработки при определенных температурах, позволяющих получить металл поковок хорошего качества. При этом нижний предел ковки определяется температурой фазовых превращений.

Температурный интервал ковки-штамповки зависит от химического состава металла и от других свойств, определяемых этим составом. Температурный интервал

обуславливается комплексом испытаний.

Для определения оптимального температурного интервалаковки целесообразно рассмотреть, как изменяются механические характеристики в зависимости от температуры (рисунок 1).

При температурах выше  $1470^{\circ}\text{C}$  и вблизи температуры плавления находится зона хрупкости металла – зона *пережога*. При пережоге кислород диффундирует внутрь металла и окисляет границы зерен, которые при этом оплавляются, так как окислы железа имеют меньшую температуру плавления, чем сам металл. Ковка при пережоге невозможна. Таким образом, верхняя граница температурного интервалаковки должна находиться ниже зоны пережога.

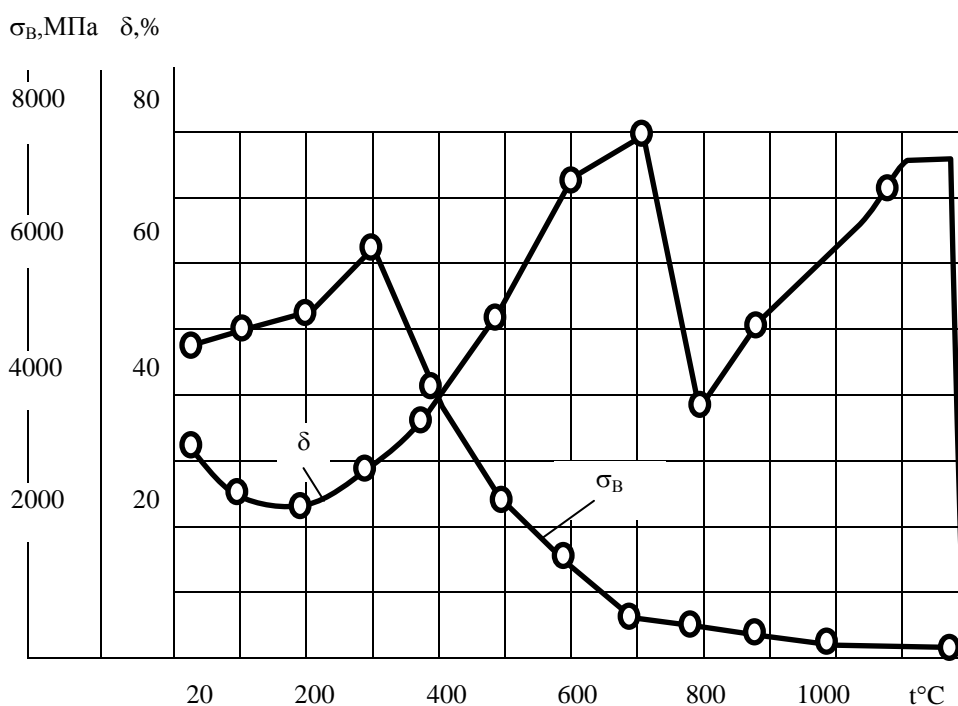


Рисунок 1 – Изменение относительного удлинения ( $\delta$ ) и предела прочности ( $\sigma_{\text{в}}$ ) стали ( $C = 0,15\%$ ) в зависимости от температуры

Однако при температурах, близких к пережогу, наблюдается большой рост зерна и образование крупнозернистого строения металла – *перегрев металла*. Из крупнозернистого строения не всегда можно получить мелкозернистое. Это приводит к крупнозернистому менее качественному строению металла поковки. Поэтому необходимо устанавливать верхнюю границу температурного интервалаковки ниже температуры, при которой интенсивно растет зерно. На рисунке 1 видно, что при температурах



750...800° С сопротивление деформированию остается относительно постоянным, а пластичность уменьшается. Это объясняется фазовыми превращениями, происходящими в металле. Температуру фазовых превращений и структуру стали при различных температурах легко определить по диаграмме состояния (рисунок 2).

Наиболее пластичной структурой является структура аустенита. При наличии двухфазной структуры пластичность снижается. Низкоуглеродистые и углеродистые стали при температурах 1100...1200° С имеют чисто аустенитную структуру (рисунок 2). Исходя из однофазности структуры и повышенной пластичности, температуру 1200° С можно принять за верхний предел температурного интервалаковки для углеродистых сталей.

У высокоуглеродистой стали при 1100° С структура двухфазная: аустенит и цементит, последний образует хрупкую сетку по границам зерен. Для повышения пластичности стали цементитную сетку надо раздробить, с тем чтобы цементит образовал отдельные зерна в металле поковки.

При этом твердость и прочность металла останутся высокими. Верхний предел температурковки для высокоуглеродистой стали целесообразно принять за 1100° С, а ковку проводить осторожно с учетом того, что пластичность снижена из-за наличия двухфазной структуры. Температуру нагрева углеродистых сталей можно определить по диаграмме, приведенной на рисунке 2. По диаграмме состояния железоуглеродистых сплавов (рисунок 2) можно также выбрать нижний предел температурковки, который должен находиться выше температур фазовых превращений.

Однако низкоуглеродистые стали можно ковать и при структурах феррит+аустенит из-за относительно высокой их пластичности. Заэвтектоидные стали имеют нижний предел температур в зоне со структурой аустенит+цементит. Эта температура должна быть по возможности более низкой для предотвращения образования цементитной сетки.

При установлении нижнего предела температурковки необходимо учитывать массу поковки, наличие или отсутствие последующей термообработки, способ охлаждения и т.д. Например, при большой массе поковки и высокой температуре

окончания процессаковки или штамповки поковка остывает медленно, и измельченное деформацией зерно может вновь вырасти. При малой массе поковки (до 100 кг) температура концаковки может быть более высокой, но из-за быстрого охлаждения зерно не успевает вырасти и остается измельченным.

Отметим, чтоковка сталей при температурах ниже  $723^{\circ}\text{C}$  приводит к упрочнению. У некоторых металлов и сплавов нет фазовых превращений. В этом случае нижний предел температурковки определяется именно упрочнением. Заканчивать обработку следует при вполне определенной температуре, ниже которой пластичность существенно падает. Падение пластичности связано со снижением скорости рекристаллизации в сравнении со скоростью наклепа.

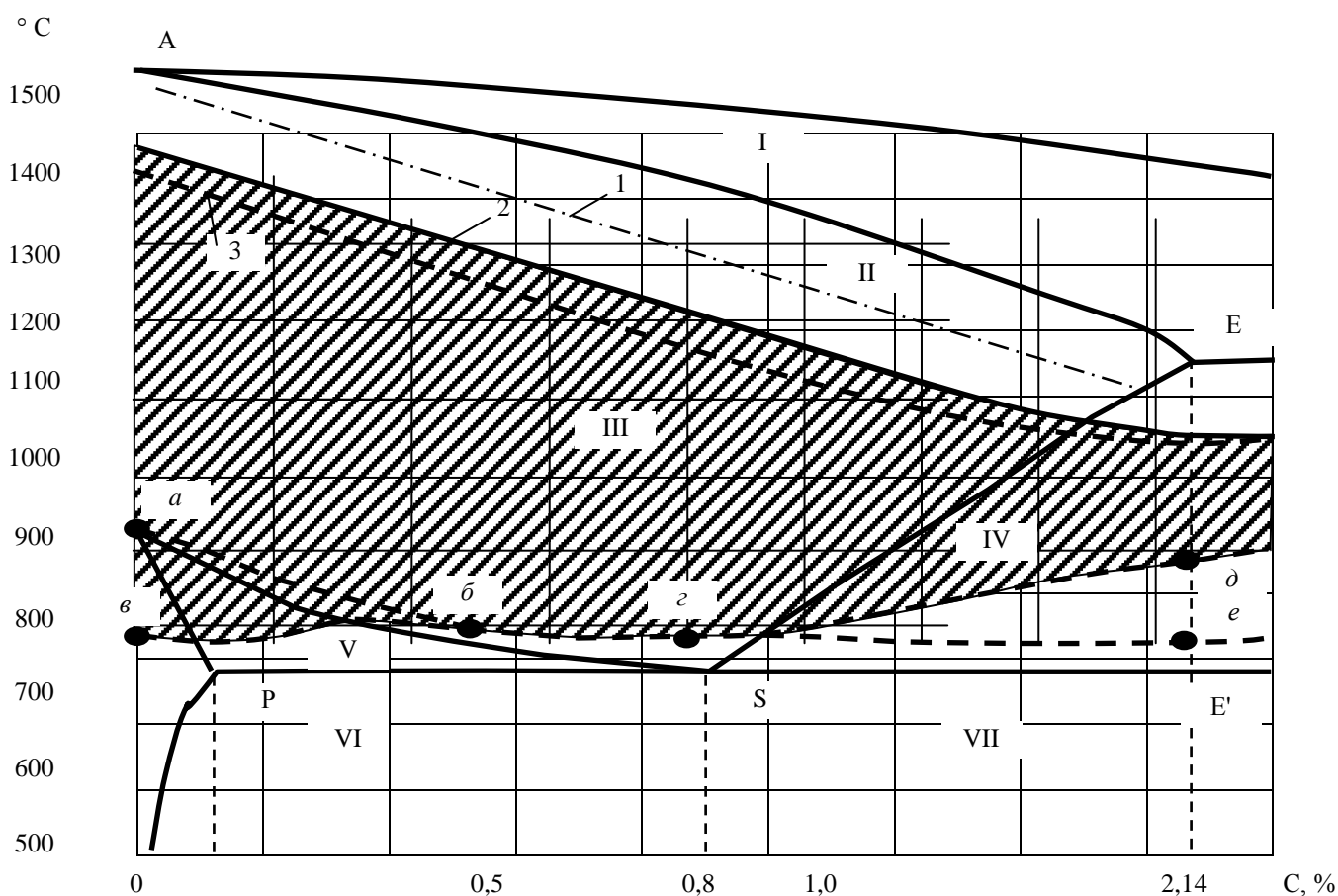


Рисунок 2 – Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов с температурными интерваламиковки: I – жидкий сплав и кристаллический аустенит; II – аустенит и твердый  $\delta$ -раствор; III – аустенит; IV – аустенит и цементит; V – феррит и аустенит; VI – перлит и феррит; VII – перлит и цементит; 1 – верхний предел температурковки для скоростного нагрева; 2 – верхний предел температурковки для слитков; 3 – верхний предел температурковки для крупных прутковых заготовок; a, б, z – нижний предел

температур ковки для доэвтектоидной стали;  $a, б, в$  – допустимая температурная область конца ковки для низкоуглеродистой стали;  $г, д, е$  – допустимая температурная область конца ковки для заэвтектоидной стали

Данные о температурном интервале ковки стали и сплавов имеются в соответствующих справочниках.

Для углеродистых сталей интервал температур обработки давлением можно выбирать двумя способами:

1 По диаграмме состояния железо-углерод. Начало обработки выбирают на  $150...200^\circ$  ниже температуры начала плавления стали заданного химического состава (т.е. температуры, соответствующей линии солидус диаграммы). Температуру конца обработки устанавливают на  $25...50^\circ$  выше линии  $SE'$ . Область горячей обработки давлением на диаграмме заштрихована (рисунок 2).

2 Начальную температуру обработки давлением ( $t_H$ ) для стали можно определить по формуле

$$t_H = 0,9 \cdot t_{пл} , \quad (1)$$

где  $t_{пл}$  – температура плавления сплава (выбирается по диаграмме состояния Fe – Fe<sub>3</sub>C).

Температура конца обработки ( $t_K$ )

$$t_K = 0,7 \cdot t_{пл} . \quad (2)$$

Режим нагрева заготовок зависит: от температуры нагрева заготовок и температуры рабочего пространства печи; от сорта и толщины нагреваемых заготовок; от формы сечения и способа укладки заготовок на поду.

Круглые заготовки при прочих равных условиях нагреваются быстрее квадратных заготовок. При плотном расположении заготовок на поду поверхность, воспринимающая тепло, у заготовок квадратного сечения меньше, чем у заготовок круглого сечения, так как нагрев будет происходить только с одной стороны.

Немаловажную роль при нагреве заготовок играет продолжительность нагрева. Увеличение скорости нагрева приводит к росту разницы температур по сечению изделия, что способствует образованию внутренних напряжений и появлению трещин.

Медленный нагрев приводит, в свою очередь, к увеличению окислительных процессов на поверхности металла, в результате чего образуется значительное количество окалина. Последняя приводит к потерям металла, увеличению припусков на механическую обработку и увеличению износа деформирующего инструмента.

Для определения максимально-допустимой скорости нагрева стальных заготовок используется эмпирическая формула Доброхотова Н.Н.

$$T = \alpha \cdot K \cdot D \sqrt{D} , \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий способ укладки заготовок в печи (таблица 1).  
Таблица 1

| $\alpha$ | Способ укладки заготовок  |
|----------|---|
| 1,0      | Штучные заготовки круглого сечения, нагреваемые со всех сторон    |
| 2,0      | Плотно уложенные заготовки круглого сечения                       |
| 1,4      | Заготовки круглого сечения, уложенные с промежутками в 0,5        |
| 1,4      | Штучные заготовки квадратного сечения, нагреваемые со всех сторон |
| 4,0      | Плотно уложенные заготовки квадратного сечения                    |
| 2,2      | Заготовки квадратного сечения, уложенные с промежутками в 0,5     |

$K$  – коэффициент, учитывающий степень легированности стали;  $K = 10$  – углеродистая сталь;  $K = 20$  – легированная сталь;  
 $D$  – диаметр заготовки или сторона квадрата нагреваемого изделия, м.

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

- 2.1 Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
- 2.2 Получить вариант задания (приложение А).
- 2.3 Выбрать или рассчитать температуру начала и конца горячей обработки давлением для своего варианта (пользоваться данными «Кратких теоретических сведений» и Приложения Б).
- 2.4 Рассчитать по формуле (1.3) время нагрева заготовки.

## 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Номер варианта.

3.2 Обоснованный выбор (расчет) температуры начала и конца горячей обработки давлением.

3.3 Расчет времени нагрева заготовки.

3.4 Данные свести в таблицу (приложение В).

#### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Какие параметры относятся к режиму нагрева под обработку давлением?

2 Цель нагрева.

3 Как изменяются механические свойства металлов в процессе нагрева?

4 Назовите условия назначения температуры начала и конца горячей обработки давлением.

5 Покажите на диаграмме железо-углерод температурный интервал обработки давлением.

6 Приведите формулы для расчета температуры начала и конца обработки давлением.

7 Какие дефекты в металлах вызывает чрезмерно высокая температура нагрева?

8 Причина появления окалины.

9 Какой дефект может возникнуть в заготовке при высокой скорости ее нагрева?

10 Назовите формулу для определения времени нагрева.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1 Чижикова Т. В., Матюшкин Б. А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов М.: КолосС, 2011

2 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012

Михальченко А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 2. "Горячая обработка": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

| № варианта | Марка стали | Профиль | Диаметр заготовки,<br>мм | Сторона квадрата,<br>мм | Способ укладки                             |
|------------|-------------|---------|--------------------------|-------------------------|--|
| 1          | Сталь 10    | Круг    | 100                      | -                       | Уложены штучно, нагреваются со всех сторон |
| 2          | Сталь 20    | Круг    | 200                      | -                       | Плотно уложены                             |
| 3          | Сталь 40    | Квадрат | -                        | 400                     | Плотно уложены                             |
| 4          | Сталь 45    | Квадрат | -                        | 600                     | Уложены с промежутком в 0,5 D              |
| 5          | Сталь 60    | Круг    | 800                      | -                       | Уложены с промежутком в 0,5 D              |
| 6          | У7          | Круг    | 700                      | -                       | Уложены штучно, нагреваются со всех сторон |
| 7          | У8          | Квадрат | -                        | 900                     | Плотно уложены                             |
| 8          | У20         | Квадрат | -                        | 400                     | Уложены с промежутком в 0,5D               |
| 9          | У13         | Круг    | 500                      | -                       | Уложены штучно, нагреваются со всех сторон |
| 10         | Сталь 50    | Круг    | 300                      | -                       | Уложены с промежутком в 0,5 D              |
| 11         | Сталь 15    | Квадрат | -                        | 200                     | Плотно уложены                             |
| 12         | ШХ15        | Квадрат | -                        | 700                     | Плотно уложены                             |
| 13         | 12Х18Н      | Круг    | 900                      | -                       | Уложены штучно                             |
| 14         | 9Т30ХГСА    | Квадрат | -                        | 300                     | Плотно уложены                             |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Температурный интервал горячей обработки

## легированных сталей давлением

| Сталь    | Температурный интервал |       |
|----------|------------------------|-------|
|          | начало                 | конец |
| ШХ15     | 1130                   | 850   |
| 12Х18Н9Т | 1150                   | 900   |
| 30ХГСА   | 1140                   | 830   |

### ПРИЛОЖЕНИЕ В

#### Результаты выбора параметров режима нагрева

| № вариан-<br>та | Марка стали | Температурный интервал |       | Время нагрева |
|-----------------|-------------|------------------------|-------|---------------|
|                 |             | начало                 | конец |               |
|                 |             |                        |       |               |

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОКОВКИ

*Цель работы:* ознакомиться с методикой разработки технологии и составлением технологического процесса изготовления поковки.

### 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

#### 1.1 Общие сведения

Наиболее ответственные детали машин изготавливают обработкой давлением. Это шатуны, коленчатые валы двигателей, роторы турбин и др.

После литья металл имеет значительное число дефектов, например: крупнозернистость, ликвацию, микротрещины, газовые пузыри. Эти дефекты устраняют горячей обработкой давлением. В результате деформации завариваются газовые пузыри, микротрещины, выравнивается химический состав по сечению, увеличивается плотность литого металла у слитков на 5...8 %. Механические свойства деформированного сплава лучше, чем у литого. Горячедеформированный металл имеет волокнистую структуру. Вдоль волокон прочность, пластичность, ударная вязкость выше, чем поперек.

Нагрев металла перед обработкой давлением является сложной операцией, назначение которой состоит в уменьшении сопротивления деформированию, прида-

нии материалу пластичности, снижении энергозатрат на деформирование.

Свободная ковка является одним из видов обработки металлов давлением. Это процесс деформирования горячей заготовки между бойками молота или прессы, при этом применяемый инструмент не препятствует течению металла в стороны, не ограниченные этим инструментом. Ковка делится на ручную и машинную. Ручная ковка применяется в ремонтных целях. Ее производительность невелика. Машинная ковка осуществляется на крупных предприятиях с помощью кузнечно-прессового оборудования: пневматических и паровоздушных ковочных молотах, ковочных гидравлических прессах. Прессы характеризуются усилием в тоннах, а молоты весом падающих частей.

*Процесс ковки* состоит из нескольких стадий: нагрева металла под кузнечную операцию, непосредственно ковки, первичной термообработки, контроля механических свойств и геометрии поковок. В качестве исходного материала для кузнечного производства применяют слитки, прокат разных профилей, прутки. Ковкой получают сначала заготовки, которые называют *поковками*. Разделяют основные этапы технологического процесса изготовления поковки, а также основные операции свободной ковки.

## 1.2 Основные операции свободной ковки

*Осадка* – процесс увеличения площади поперечного сечения при уменьшении высоты заготовки. При осадке заготовку устанавливают вертикально и деформирование происходит вдоль оси заготовки (рисунок 1).

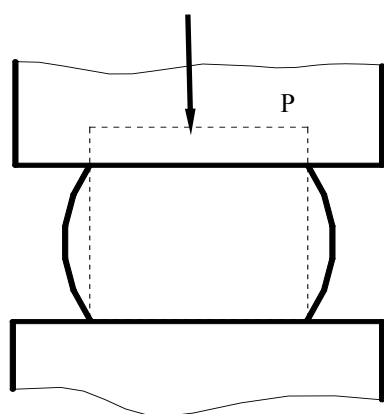


Рисунок 1 – Схема осадки



*Высадка* является производной операцией от осадки. Это местное утолщение заготовки (рисунок 2).

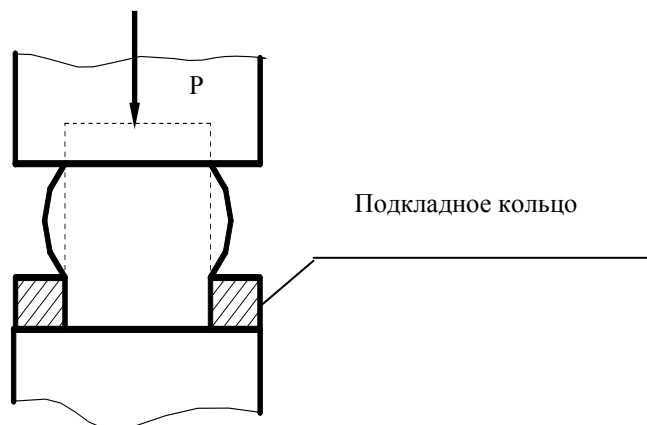


Рисунок 2 – Схема высадки

*Прошивка* – получение полостей в заготовке за счет вытеснения материала. Прошивку сквозных отверстий осуществляют в два перехода: наметка отверстий прошивнем; пробивка отверстия с противоположного торца заготовки. Отход при прошивке называют выдрой (рисунок 3).

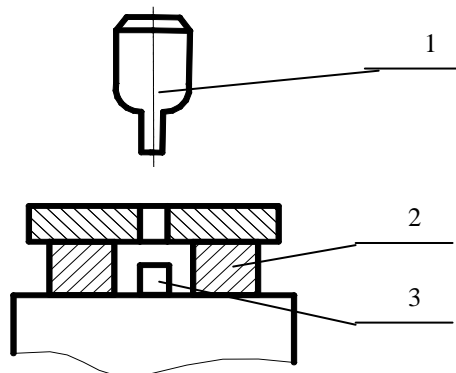
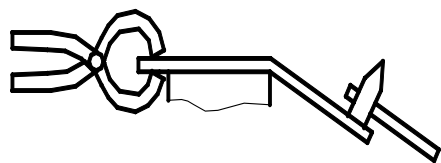


Рисунок 3 – Схема прошивки: 1 – прошивень; 2 – подкладное кольцо, 3 - выдра

*Гибка* используется для придания заготовке изогнутой формы. Перед гибкой необходим местный нагрев, после которого один конец заготовки зажимают, а по другому



наносят удары (рисунок 4). В месте изгиба толщина заготовки уменьшается, поэтому чтобы получить поковку одинакового сечения перед гибкой производят высадку.

Рисунок 4 – Схема гибки

*Рубку* применяют для разделения заготовки на части или отделения от нее ча-

сти материала по вырубемому наружному или внутреннему контуру. При ручной ковке рубку осуществляют при помощи зубила 1 (рисунок 5), а при машинной – специальными топорами.

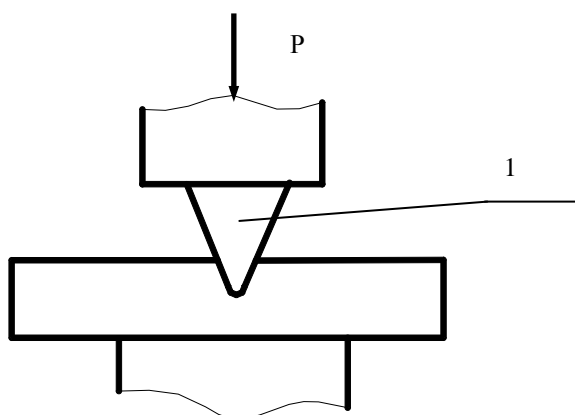


Рисунок 5 – Схема рубки: 1 – зубило

*Протяжка* - увеличение длины заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения (рисунок 6). Протяжку можно вести с края заготовки и с середины. Протяжку с поворотом заготовки вокруг оси на  $90^\circ$  называют *протяжкой с кантовкой*.

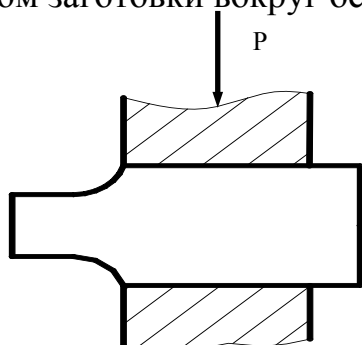


Рисунок 6 – Схема протяжки

*Разгонка* металла по длине заготовки (рисунок 7) достигается обработкой ее отдельных участков, при этом длинную ось бойка располагают параллельно оси заготовки.

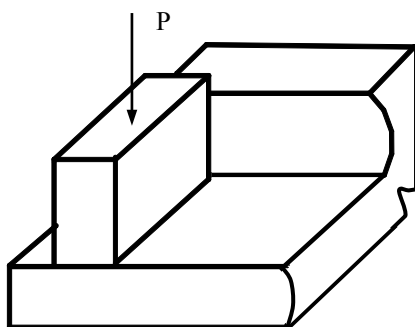


Рисунок 7 – Схема разгонки

*Передачу* металла заготовки (рисунок 8) с одного места на другое применяют

при изготовлении коленчатых валов и других поковок.

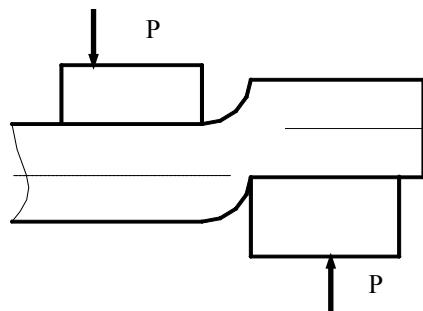


Рисунок 8 – Схема передачи металла

*Кузнечная сварка* – детали, нагретые до температуры 1100...1300° С, складываются внахлестку, вразруб или врасщеп (рисунок 9) и подвергаются сдавливанию путем проковки.

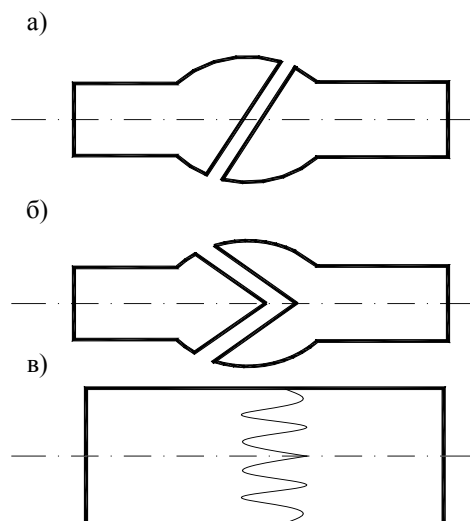


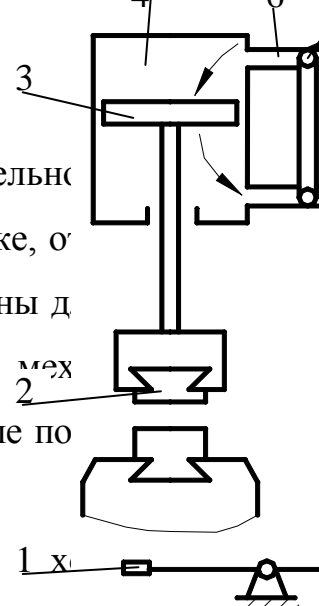
Рисунок 9 – Схема кузнечной сварки: а) внахлестку; б) вразруб; в) врасщеп

### 1.3 Инструмент для свободной ковки

Применяемый для свободной ковки кузнечный инструмент разделяют на три группы: для обработки, удержания и измерения поковок. К инструменту для обработки поковок относят кувалды, молотки, гладилки, прошивки, зубила, обжимки. Удерживающий инструмент – наковальни и различные клещи. Для измерения поковок используют линейки, угольники, шаблоны.

### 1.4 Оборудование для свободной ковки

Оборудование кузнечных цехов делится на основное и вспомогательное. Основному оборудованию, выполняющему деформацию металла при ковке, относятся молоты и прессы. К вспомогательному оборудованию относятся машины для заготовок – пресс-ножницы, дисковые пилы, нагревательные печи; механизмы транспортирующие и поддерживающие заготовки при ковке – ковочные поковки, краны, кантователи, манипуляторы.



Основное кузнечное оборудование различается по скорости рабочего хода, на протяжении которого производится деформирование поковки. Скорость бойка молота к моменту удара по заготовке значительна и достигает  $7...8$  м/с; последующая деформация металла осуществляется за счет кинетической энергии, накопленной тяжелыми падающими частями к моменту удара бойка о заготовку. Ковочные гидравлические прессы деформируют металл значительным статическим усилием, при сравнительно небольшой скорости рабочего хода –  $0,1...0,3$  м/с.

Молоты бывают паровоздушные и пневматические. Наиболее распространены пневматические молоты, поэтому их конструкция рассматривается подробно. Схема пневматического молота приведена на рисунке 10. Он имеет два параллельных цилиндра: рабочий 4 и компрессионный 5. В рабочем цилиндре движется поршень 3, связанный с бабой 2 (бабой называют боек, который при падении воздействует на заготовку).

Кривошипно-шатунный механизм 9 приводит в движение поршень 8, который, перемещаясь, поочередно сжимает воздух в нижней и верхней полостях компрессионного цилиндра и нагнетает его в полость рабочего цилиндра по каналам 6, в результате чего происходит опускание (удар) и подъем бабы. Для впуска и выпуска воздуха используют краны 7, управляемые педалью.

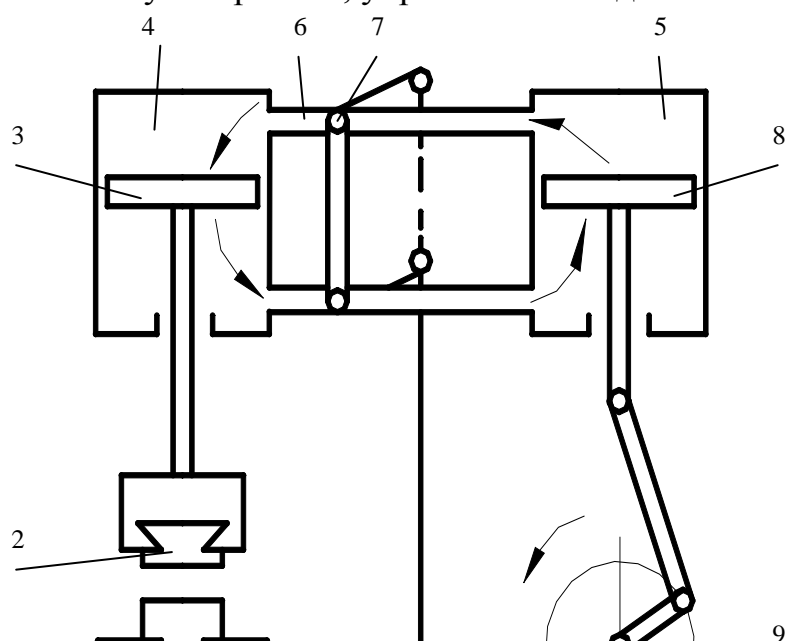
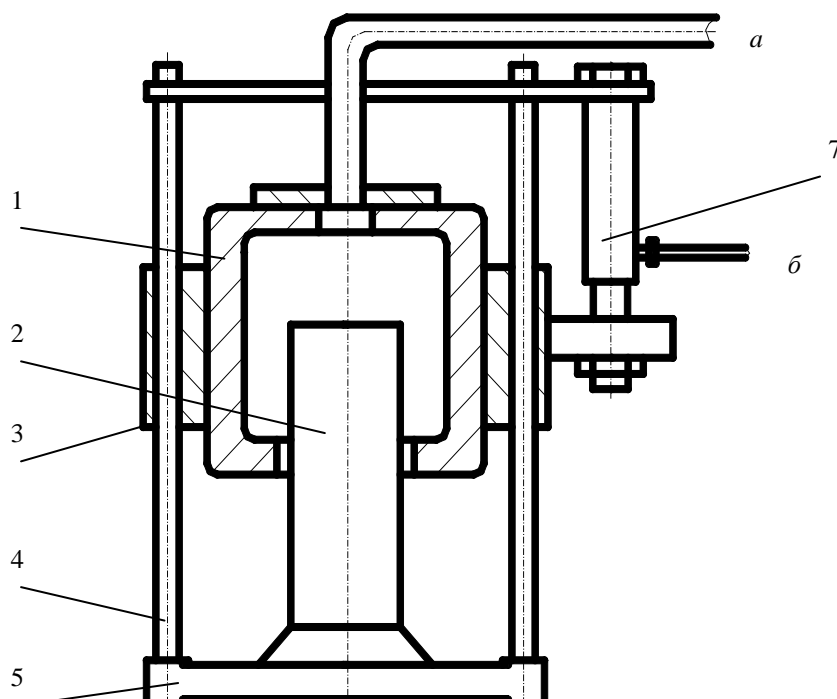


Рисунок 10 – Схема пневматического молота

Гидравлические ковочные прессы применяют дляковки крупных поковок (рисунок 11).

В гидравлическую прессовую установку входят: собственно пресс; механизм, питающий пресс жидкостью высокого давления (привод); устройства, питающие пресс жидкостью низкого давления (резервуары-наполнители). В качестве рабочей жидкости в ковочных прессах применяется вода с раствором в ней 2...3 % эмульсола, состоящего из минерального масла, олеиновой кислоты и едкого натра. В нижней поперечине пресса 5, установленной на бетонном фундаменте, закреплены четыре колонны 4. Они связывают нижнюю поперечину с верхней 3, образуя жесткую станину пресса. В верхней поперечине закреплен главный рабочий цилиндр пресса 1, в который входит главный плунжер 2, соединенный с подвижной поперечиной 6, к которой крепится верхний боек. Нижний боек закреплен в нижней плите пресса 5. Холостой ход подвижной поперечины с бойком вниз осуществляется при поступлении в главный цилиндр жидкости низкого давления из наполнительного бака.



## Рисунок 11 – Схема гидравлического пресса

Рабочий ход осуществляется при подаче жидкости под высоким давлением (20...50 МПа) в главный цилиндр пресса по трубе *a*, при этом происходит движение плунжера вниз и осуществляется деформация слитка, лежащего на бойке.

Обратный ход – подъем плунжера с верхним бойком осуществляется двумя возвратными (подъемными) цилиндрами 7, закрепленными в верхней поперечине. При обратном ходе жидкость под давлением поступает по трубе *b* в нижнюю часть подъемных цилиндров.

### **1.5 Технологическая схема процесса изготовления поковок**

Разработка технологического процесса свободнойковки состоит из следующих этапов:

- проектирование поковки;
- расчет размеров и массы заготовки для поковки;
- назначение кузнечных переходов;
- выбор оборудования;
- определение режимов нагрева и охлаждения;
- назначение термообработок для поковок.

1.5.1 Чертеж поковки разрабатывают по чертежу детали (рисунок 12, а). Размеры поковки по сравнению с размерами готовой детали увеличивают на припуски, допуски и напуски.

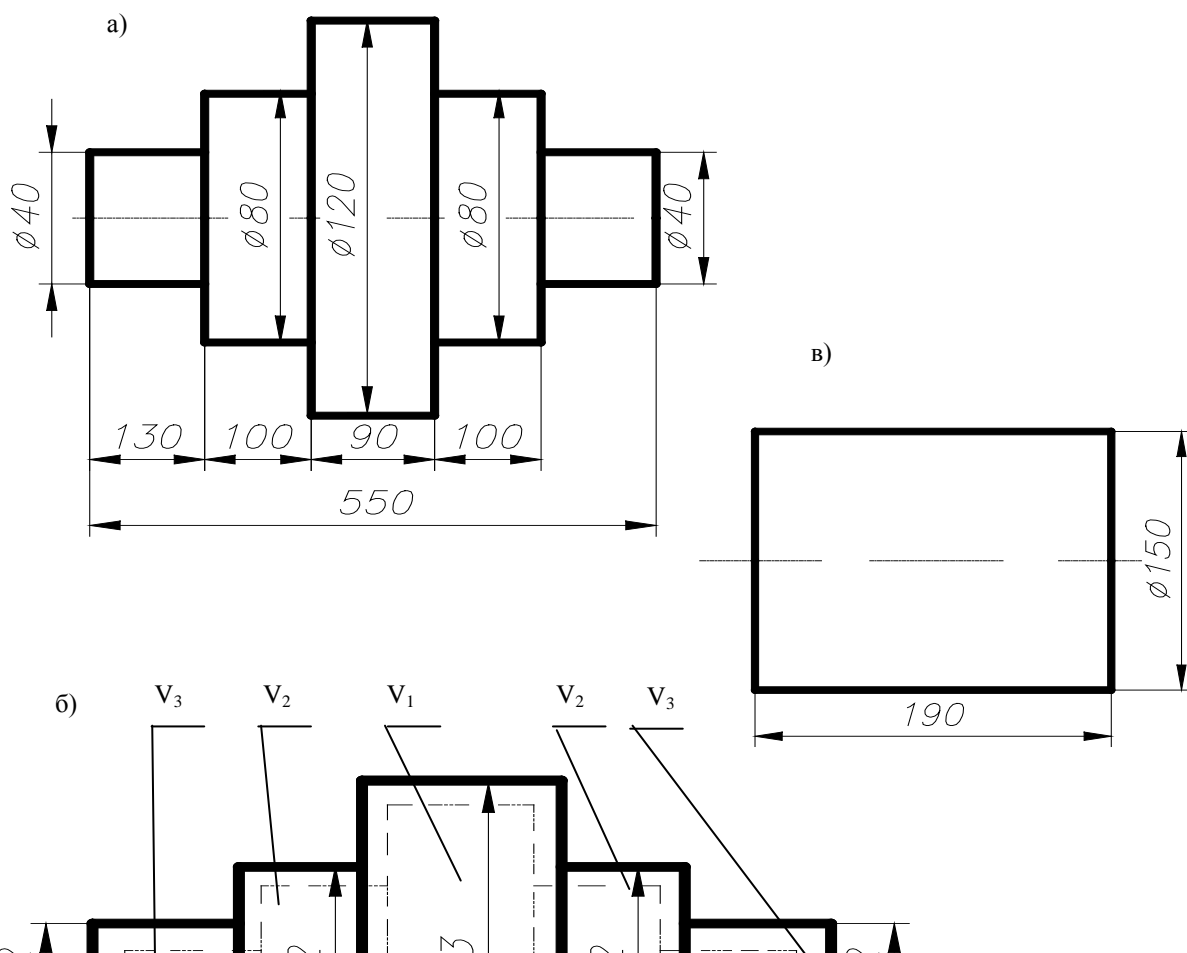
*Припуск* – предусмотренное повышение размеров поковки от номинальных размеров детали, учитывающее механическую обработку, после которой размеры детали соответствуют размерам на чертеже.

Для упрощения формы поковки по отдельным поверхностям (получение которых ковкой невозможно или затруднительно) дают местное увеличение припуска, называемое *напуском*.

На все размеры детали назначают допуски.

*Допуск* – разность между наименьшим и наибольшим предельными размерами поковки.

Припуски и допуски на поковки регламентированы ГОСТ 7829-70 при работе на молотах и ГОСТ 7062-54 при работе на прессах. На общую длину поковки припуски и допуски берут по таблице и увеличивают в 2,5 раза (рисунок 12. б).



## Рисунок 12

Назначаем припуски и допуски для детали (рисунок 12. а) следующим образом:

- открываем таблицу ГОСТ 7829-70 (см. приложение, таблица 1); назначаем припуск и допуск на больший диаметр детали  $\Phi 120$  по длине 90 мм. В таблице отыскиваем строку «до 250 мм» по длине и столбец «свыше 90 до 120» по диаметру. Этим параметрам соответствует припуск 8 мм и допуск 63 мм. Таким образом, рассматриваемая часть поковки будет иметь следующие размеры:

$\Phi 12863$  и длину 9863 мм;

– аналогично назначаем припуски и допуски поковки на остальные ее части;

- после назначения припусков и допусков частей поковки устанавливаем их на общую длину: отыскиваем в таблице строку от 500 до 800 мм (интервал, в который входит наш размер) и столбец, соответствующий большему диаметру (или площади поперечного сечения). Им соответствует припуск 10 мм и допуск 63 мм. Увеличиваем найденные значения в 2,5 раза и получаем длину 57565 мм;

- вычерчиваем поковку по полученным размерам, контуры детали вычерчиваем пунктирной линией.

1.5.2 Массу исходной заготовки  $m_3$  при ковке определяют по формулам:

– для заготовки из проката:



$$m_3 = m_{\Pi} + m_y \quad (1. a)$$

– для заготовки из слитка:

$$m_3 = m_{\Pi} + m_y + m_{\PiР} + m_{дн}, \quad (1. б)$$

где  $m_{\Pi}$  – масса поковки, кг;

$m_y$  – масса отходов на угар, массу отходов на угар берутся в процентах от массы поковки, кг; зубчатые колеса 8...10 %; втулки – 3...5 %; гладкие валы, бруски – 5...7 %; болты – 7...10 %; шатуны – 15...18%;

$m_{\PiР}$  – масса удаляемой прибыльной части, кг (14...30 % от массы поковки);

$m_{дн}$  – масса удаляемой донной части, кг (4...7 % от массы поковки).

Если поковку обрабатывают резанием, то подсчет массы металла проводят по номинальным размерам поковки без учета допусков. Если поковка механически не обрабатывается, то подсчет массы металла поковки проводят с учетом максимальных значений допусков, то есть по максимальным размерам поковки.

Массу поковки рассчитывают по формуле:

$$m_{\Pi} = V_{\Pi} \cdot \rho \quad (2)$$

где  $V_{\Pi}$  – объем металла поковки,  $\text{см}^3$ ;

$\rho$  – плотность,  $\text{г}/\text{см}^3$ ; для стали  $\rho = 7,85 \text{ г}/\text{см}^3$ .

Произведем расчет массы заготовки для рассматриваемой поковки (рисунок 12. б) с учетом ее последующей обработки резанием:

- учитывая, что конфигурация поковки сложная, то для нахождения ее объема разобьем ее на простые объемы  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ . После нахождения простых объемов узнаем общий объем поковки:

$$V_n = V_1 + 2V_2 + 2V_3, \text{ см}^3$$

$$V_n = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot I_1 + 2 \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot I_2 + 2 \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot I_3$$

$$V_{\Pi} = \frac{\pi \cdot 12,8^2}{4} \cdot 9,8 + 2 \frac{\pi \cdot 8,7^2}{4} \cdot 10,7 + 2 \frac{\pi \cdot 4,5^2}{4} \cdot 13,5 =$$

$$1261,06 + 1272,16 + 429,64 = 2962,64 \text{ см}^3;$$

- определим массу поковки (заготовка – прокат):

$$m_{\Pi} = 2962,64 \cdot 7,85 = 23257,7 \text{ г} = 23,3 \text{ кг};$$

- определим массу отходов: т.к. наша деталь – гладкий вал, то:

$$m_o = 0,05 \cdot m_{\Pi}, \text{ кг}$$

$$m_o = 0,05 \cdot 23,3 = 1,2 \text{ кг},$$

таким образом

$$m_3 = 23,3 + 1,2 = 24,5 \text{ кг}.$$

Длину исходной заготовки  $L_3$ , см, можно определить из формулы:

$$L_3 = \frac{V_3}{F_3}, \quad (3)$$

где  $V_3$  – объем заготовки,  $\text{см}^3$ ;

$F_3$  – площадь поперечного сечения поковки,  $\text{см}^2$ .

$$F_3 = F_{\Pi} \cdot K, \quad (4)$$

где  $F_{\Pi}$  – наибольшая площадь поперечного сечения поковки,  $\text{см}^2$ ;

$K$  – степень уковки;  $K = 1,3 \dots 1,5$  – для проката  $K = 1,5 \dots 2$  – для слитка.

Проводим расчет длины заготовки рассматриваемой детали:

$$F_3 = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot 1,3.$$

$$F_3 = \frac{\pi \cdot 12,8^2}{4} \cdot 1,3 = 167,28 \text{ см}^2.$$

Диаметр заготовки

$$d_3 = \sqrt{\frac{F_3 \cdot 4}{\pi}}; \quad d_3 = 1,46 \text{ см}.$$

$$V_3 = \frac{m_3}{\rho}$$

$$V_3 = \frac{24500}{7,85} = 3121, \text{ см}^3$$

$$L_3 = \frac{3121}{167,28} = 187, \text{ мм}$$

В результате расчетов выбираем заготовку диаметром  $\varnothing$  150 мм и длиной 190 мм (рисунок 12. в).

1.5.3 При разработке технологииковки необходимо стремиться к наименьшему числу переходов, к минимуму отходов металла и получению детали с высокими механическими свойствами. Для создания высоких механических свойств поковки необходимо добиваться получения мелкозернистой структуры, для чего применяют многократное обжатие в продольном и поперечном направлениях.

Разработаем технологию получения поковки вала (рисунок 13):

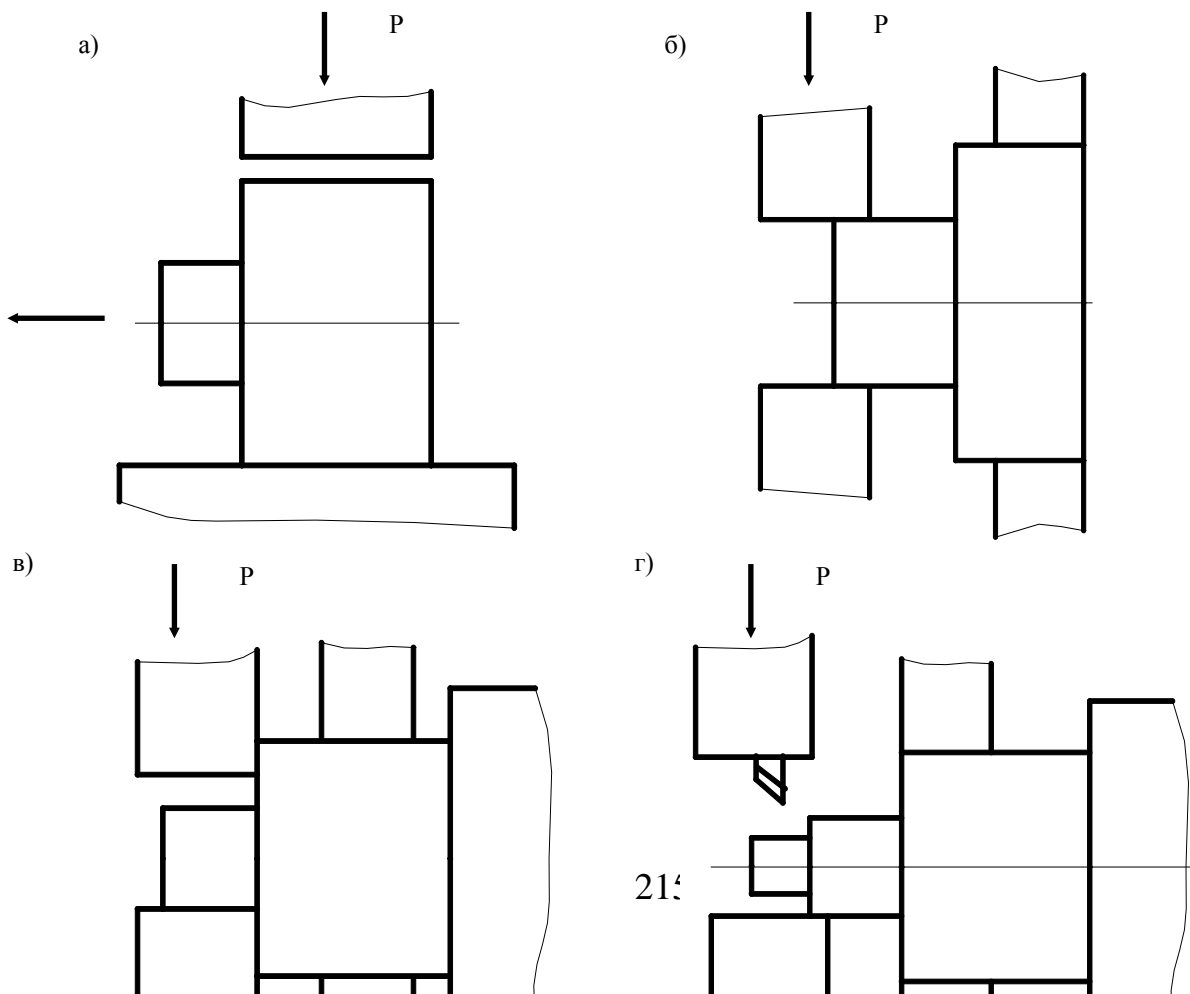


Рисунок 13 – Технологическая схема получения поковки вала

- отрезка заготовки  $\square$  150 и длиной 190 мм;
- нагрев заготовки;
- протяжка заготовки на  $\square$  128 мм (рисунок 13, а);
- пережим металла по  $\square$  128 и протяжка концов на  $\square$  87 мм (рисунок 13, б);
- подогрев заготовки;
- пережим заготовки по  $\square$  87 и протяжка концов на  $\square$  45 мм (рисунок 13, в);
- обрубка излишков металла с концов поковки (рисунок 13, г);
- правка заготовки обжатием.

1.5.4 Нагрев поковок осуществляется в пламенных печах и электрических нагревательных устройствах.

Максимально допустимая температура нагрева перед свободной ковкой для углеродистых сталей примерно на  $150...200^\circ$  ниже линии солидуса АЕ на диаграмме железо-цементит (см. предыдущую работу).

Температура конца горячей обработки для углеродистых сталей устанавливается на  $25...50^\circ$  выше линии PSE'.

Нагревать заготовку следует равномерно во избежание резкого перепада температур в наружных и внутренних ее слоях, что может привести к образованию трещин.

Время нагревания заготовок  $\tau$ , ч, в пламенных печах определяют по формуле Доброхотова:

$$\tau = KD\sqrt{D} , \quad (5)$$

где  $D$  – диаметр круглой или сторона квадратной заготовки, м;

$K$  – коэффициент, равный 10 для конструкционной углеродистой и низколегированной стали и 20 – для высоколегированной и высокоуглеродистой стали

Формула приводится без учета способа укладки заготовок, т. е. заготовки прогреваются со всех сторон одинаково и равномерно.

Охлаждение поковок послековки должно быть равномерным и не очень быстрым, иначе возможно образование трещин.

Назначим режим нагрева и обработки поковки вала (рисунок 12. б). Вал изготавливаем из стали Ст45. С помощью диаграммы состояния назначаем максимальную температуру  $t_{\text{н}}^{\circ} = 1300^{\circ}\text{C}$  и минимальную температуру  $t_{\text{к}}^{\circ} = 800^{\circ}\text{C}$ . Это значит, что перед ковкой необходимо нагреть заготовку до  $1300^{\circ}\text{C}$ . При охлаждении ее до  $800^{\circ}\text{C}$  ковку продолжать нельзя и необходим подогрев.

Определяем время нагрева заготовки:

$$\tau = 10 \cdot 0,15 \sqrt{0,15} \approx 0,5844 \quad \text{или} \approx 35 \text{ мин.}$$

1.5.5 Оборудование выбирают по массе падающих частей ковочных молотов в зависимости от размеров заготовки и операции свободнойковки (приложение А, таблица 2).

Выбор оборудования для рассматриваемого вала (рисунок 12. а) производим исходя из следующих данных:

- технологических этапов изготовления поковки;
- площади поперечного сечения заготовки и поковки.

В таблице 2 находим в столбце «вытяжка» значение диаметров  $\zeta$  140 и  $\zeta$  160. Так как диаметру заготовки  $\zeta$  140 соответствует масса падающих частей молота весом 300 кг, а диаметру  $\zeta$  160 мм – 400 кг, то массу падающих частей молота для  $\zeta$  15 мм выбираем 350 кг.

В связи с уменьшением диаметра поковки для различных этапов технологии, аналогично выбирается масса падающих частей молота для каждого этапа отдельно.

1.5.6 Цель проведения термической обработки (ТО) после свободнойковки – измельчение структуры и повышение механических свойств поковки. В качестве операции ТО можно предложить отжиг или нормализацию.

Нагрев поковки под ТО следует производить до температур на 25° выше критических точек  $A_{C3}$  (линия GS диаграммы железо-цементит). Время выдержки при данной температуре определяется из выражения

$$\tau = 0,1 \cdot D_1 \cdot k + \tau_B,$$

где  $D_1$  – минимальный размер максимального сечения, мм;

$k$  – коэффициент формы: для цилиндра – 2, для параллелепипеда – 2,5;

$\tau_B$  – время выдержки: для углеродистых сталей – 1 минута, для легированных – 2 минуты.

Охлаждение проводят: после отжига вместе с нагревательным устройством; после нормализации – на спокойном воздухе.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Вычертить деталь согласно полученного варианта (приложение Б).

2.2 Разработать чертеж поковки и вычертить поковку с учетом припусков и допусков.

2.3 Рассчитать массу и размеры исходной заготовки и вычертить ее.

2.4 Описать этапы технологии получения поковки и схематически изобразить каждый из них.

2.5 Выбрать оборудование дляковки.

2.6 Рассчитать режимы нагрева и определить температуры начала и окончанияковки.

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Чертежи: детали, поковки и исходной заготовки.

3.2 Расчет массы и размеров заготовки.

3.3 Технологическая схема этаповковки изделия.

3.4 Оборудование дляковки и режим нагрева заготовки.

3.5 Расчет времени выдержки при термической обработке.

#### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Влияние обработки металлов давлением на свойства материала.
- 2 Роль нагрева заготовок под обработку металлов давлением.
- 3 Свободная ковка.
- 4 Виды свободной ковки. Применение.
- 5 Перечислить операции свободной ковки.
- 6 Основное оборудование кузнечных цехов. Характеристика.
- 7 Вспомогательное оборудование при свободной ковке.
- 8 Схема и описание пневматического молота.
- 9 Схема и описание гидравлического пресса.
- 10 Этапы технологического процесса ковки.
- 11 Понятия: припуск, допуск и напуск.
- 12 Методика выбора припусков и допусков.
- 13 Формулы для расчета массы поковки и массы заготовки.
- 14 Формулы для расчетов диаметра и длины заготовки.
- 15 Принципы, которые следует соблюдать при разработке технологии ковки.
- 16 Нагрев заготовок.
- 17 Выбор оборудования для свободной ковки.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Чижикова Т. В., Матюшкин Б. А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов М.: КолосС, 2011
- 2 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012
- 3 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 2. "Горячая обработка": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Припуски (на две стороны) и допуски на гладкие поковки

| Длина детали,<br>мм | Припуски и допуски деталей при диаметре или размере сечения, мм |                |                |                 |                  |                  |                  |                  |  |
|---------------------|---|----------------|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--|
|                     | До 50   | Свыше 50 до 70 | Свыше 70 до 90 | Свыше 90 до 120 | Свыше 120 до 160 | Свыше 160 до 200 | Свыше 200 до 250 | Свыше 250 до 300 |  |
| До 250              | 5ш2   | 6ш2            | 7ш2            | 8ш3             | 9ш3              | -                | -                | -                |  |
| Св. 250 до 500      | 6ш2   | 7ш2            | 8ш2            | 9ш3             | 10ш3             | 11ш3             | 12ш3             | 13ш4             |  |
| Св. 500 до 800      | 7ш2   | 8ш2            | 9ш3            | 10ш3            | 11ш3             | 12ш3             | 13ш4             | 14ш4             |  |
| Св. 800 до 1200     | 8ш2   | 9ш3            | 10ш3           | 11ш3            | 12ш3             | 13ш4             | 14ш4             | 15ш4             |  |
| Св.1200 до 1700     | -   | 10ш3           | 11ш3           | 12ш4            | 13ш4             | 14ш4             | 15ш4             | 16ш5             |  |
| Св. 1700 до 2300    | -   | 11ш3           | 12ш3           | 13ш4            | 14ш4             | 15ш4             | 16ш4             | 17ш5             |  |
| Св. 2300 до 3000    | -   | -              | 13ш3           | 14ш4            | 15ш4             | 16ш5             | 17ш5             | 18ш5             |  |
| Св. 3000 до 4000    | -   | -              | -              | 15ш5            | 16ш5             | 17ш5             | 18ш5             | 19ш5             |  |
| Св. 4000 до 5000    | -   | -              | -              | 16ш5            | 17ш5             | 18ш5             | 19ш5             | 20ш6             |  |
| Св. 5000 до 6000    | -   | -              | -              | -               | 18ш5             | 19ш5             | 20ш6             | 21ш6             |  |



Таблица 2 – Данные для выбора массы падающих частей ковочных молотов

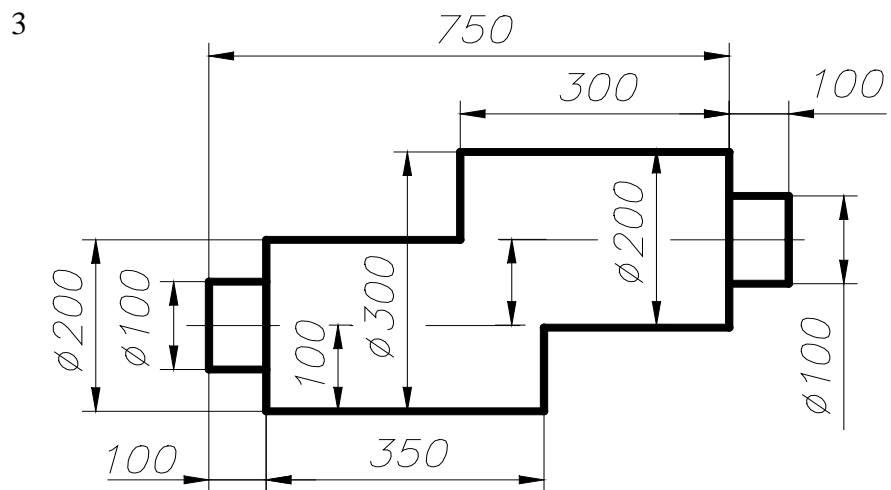
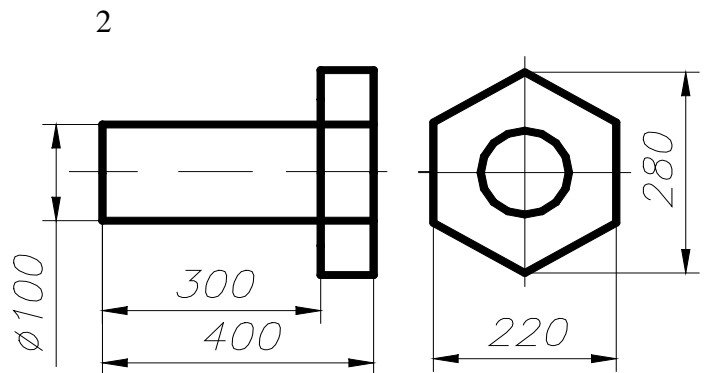
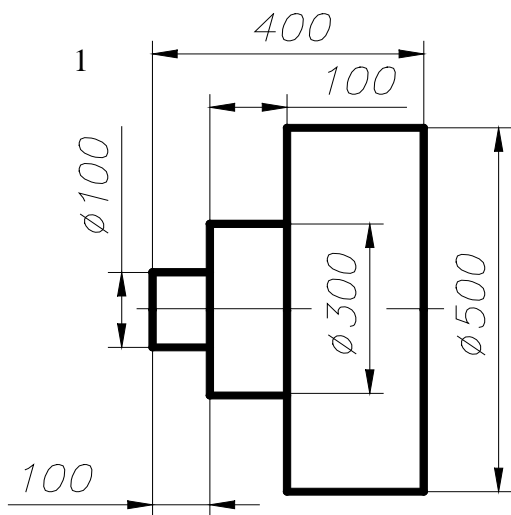
| Масса падающих частей молота, кг | Максимальное сечение заготовки – сторона квадрата или диаметр исходной заготовки, мм |         | Масса падающих частей молота, кг | Максимальное сечение заготовки – сторона квадрата или диаметр исходной заготовки, мм |         |
|----------------------------------|--|---------|----------------------------------|--|---------|
|                                  | осадка   | вытяжка |                                  | осадка   | вытяжка |
| 100                              | 50   | 90      | 750                              | 135  | 200     |
| 200                              | 70   | 120     | 1000                             | 160  | 230     |
| 300                              | 85   | 140     | 2000                             | 225  | 280     |
| 400                              | 100  | 160     | 3000                             | 270  | 330     |
| 500                              | 115  | 180     | 5000                             | 350  | 400     |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

| Варианты | Рисунок | Заготовка | Материал |
|----------|---------|-----------|----------|
| 1        | 1       | Слиток    | Ст35     |
| 2        | 2       | Прокат    | Ст35     |
| 3        | 3       | Слиток    | Ст10     |
| 4        | 4       | Прокат    | Ст10     |
| 5        | 5       | Слиток    | Ст20     |
| 6        | 6       | Прокат    | Ст40     |
| 7        | 7       | Слиток    | Ст10     |
| 8        | 1       | Прокат    | Ст40     |
| 9        | 2       | Слиток    | Ст45     |
| 10       | 3       | Прокат    | Ст20     |
| 11       | 4       | Слиток    | Ст30     |
| 12       | 5       | Прокат    | Ст10     |
| 13       | 6       | Слиток    | Ст10     |
| 14       | 7       | Прокат    | 50Х      |

|    |   |        |      |
|----|---|--------|------|
| 15 | 1 | Слиток | Ст45 |
| 16 | 2 | Прокат | Ст35 |
| 17 | 3 | Слиток | Ст10 |
| 18 | 4 | Прокат | Ст40 |
| 19 | 5 | Слиток | Ст10 |
| 20 | 6 | Прокат | Ст40 |
| 21 | 7 | Слиток | Ст20 |



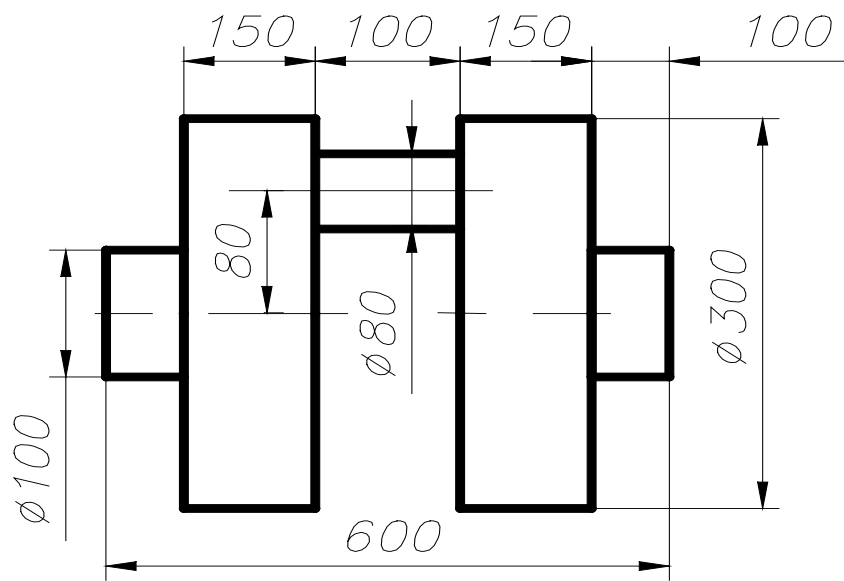
4

222

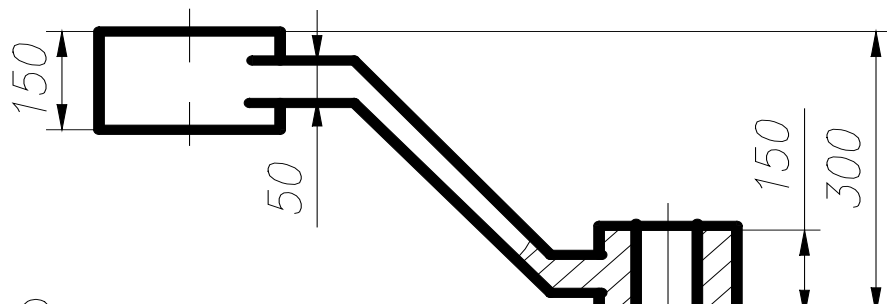
5

100, 150, 150

6



7



## **ИЗУЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ**

*Цель работы:* изучить устройство источников питания сварочной дуги, научиться производить их регулировку по сварочному току и выбирать электроды для сварки различных сталей.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* источники питания сварочной дуги различных типов; электроды для дуговой сварки; сварочный пост.

### **1 Краткие теоретические сведения**

#### 1.1 Источники питания сварочной дуги

Для питания сварочной дуги используют источники переменного и постоянного тока. К этим источникам предъявляется ряд требований:

- обеспечить легкое зажигание, устойчивое горение дуги, возможность регулирования силы сварочного тока, постоянную проплавливающую способность дуги;
- ограничить ток короткого замыкания, чтобы не допустить перегрева токоподводящих проводов и источников питания;
- величина напряжения ( $U_{XX}$ ) холостого хода должна быть не ниже 30...35 В

для источников постоянного тока и не менее 50...55 В для источников переменного тока. Однако,  $U_{\text{ХХ}}$  не должно превышать 80 В из соображений безопасности;

- время восстановления напряжения от момента короткого замыкания до значения 18...20 В (напряжения устойчивого горения дуги) не должно превышать 0,05 с.

Источники питания электрической сварочной дуги разделяются по следующим признакам:

а) по роду тока – источники постоянного тока (преобразователи, генераторы и выпрямители) и переменного тока (сварочные трансформаторы);

б) по числу одновременно подключаемых сварочных постов – однопостовые и многопостовые;

в) по назначению – источники для ручной сварки открытой дугой, автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом, сварки в защитных газах, электрошлаковой сварки, плазменной резки и т. д.;

г) по принципу действия и конструктивному выполнению:

- сварочные трансформаторы: с нормальным магнитным рассеиванием и отдельным дросселем (реактивной катушкой) на отдельном или общем сердечнике (рисунок 1. а, б), с увеличенным магнитным рассеиванием и подвижной вторичной обмоткой (рисунок 1. в);

- преобразователи;

- агрегаты-генераторы с ДВС;

- сварочные выпрямители – с селеновыми и кремниевыми вентилями.

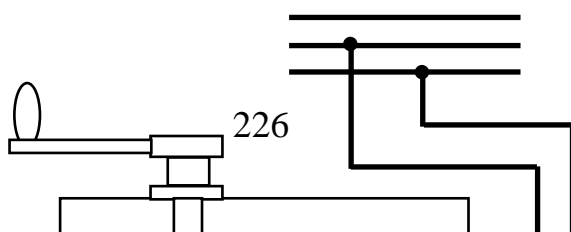
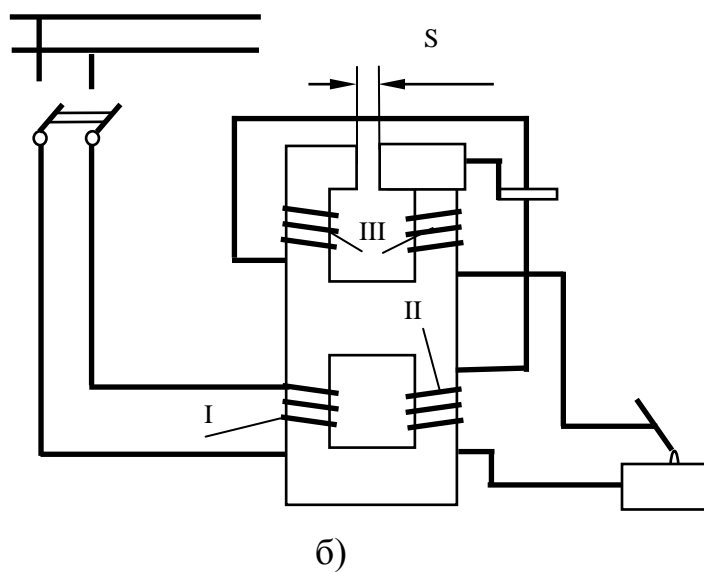
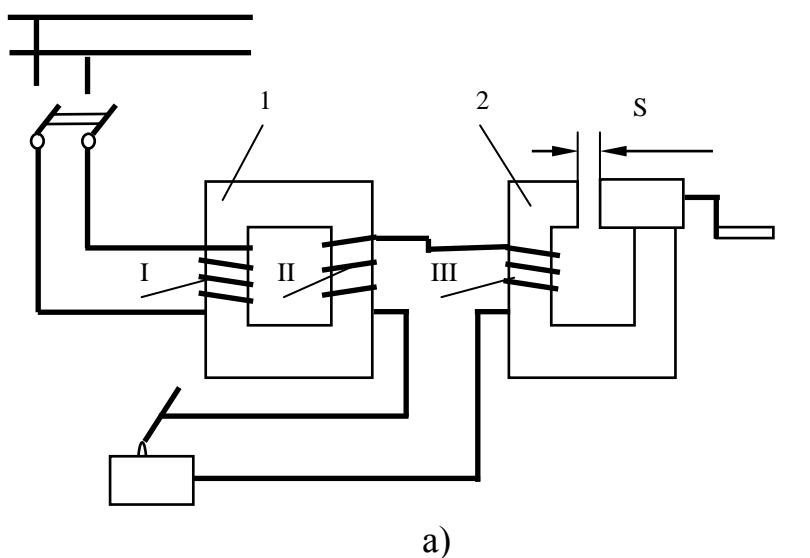
*Сварочные трансформаторы* используются для ручной дуговой, автоматической сварки под флюсом и электрошлаковой сварки.

Трансформатор снижает напряжение сети (220...380 В) до напряжения холостого хода (60...80 В), а дроссель, обладающий повышенным индуктивным сопротивлением, служит для плавного регулирования сварочного тока путем изменения воздушного зазора  $S$  в его сердечнике. Так, с увеличением зазора индуктивное сопротивление дросселя уменьшается, а сварочный ток увеличивается.

Применяют две схемы включения дроссельной обмотки с трансформаторами. В первой схеме (рисунок 1. а) первичная I и вторичная II обмотки понижающего одно-

фазного трансформатора размещены на сердечнике 1, а дроссельная обмотка III – на сердечнике 2, и представляют собой два отдельно выполненных аппарата. Во второй схеме включения (рисунок 1. б) трансформаторные (I, II) и дроссельная (III) обмотки размещены на общем сердечнике и представляют собой один аппарат. Та часть сердечника, на которой размещены обмотки I и II – это собственно трансформатор, а часть, где размещена обмотка III – дроссель.

В трансформаторах с увеличенным магнитным рассеиванием и подвижной вторичной обмоткой (типов ТС и ТД, рисунок 1. в) первичная и вторичная обмотки раздвинуты друг относительно друга, что обуславливает их повышенное индуктивное сопротивление вследствие появления магнитных потоков рассеивания. С увеличением расстояния между первичной I и вторичной II обмотками потоки рассеивания



в)

Рисунок 1 – Схемы сварочных трансформаторов увеличиваются, а ток уменьшается, и наоборот. Для увеличения потоков рассеивания, а также для регулирования силы сварочного тока в некоторых конструкциях трансформаторов этого типа на пути потоков рассеивания устанавливают стальные шунты. Изменением их положения регулируют силу сварочного тока.

У сварочных трансформаторов этого типа предусмотрено и ступенчатое регулирование тока путем секционирования. (*Секционирование* – включение в цепь или выключение дополнительных обмоток).

Для сварки трехфазной дугой используют сварочные трансформаторы трехфазного тока.

*Сварочные генераторы* (преобразователи) могут быть *однопостовые* – предназначенные для питания только одного сварочного поста, и *многопостовые* – нескольких сварочных постов. Наибольшее распространение получили однопостовые генераторы (типа ПСО, ПСГ).

Сварочные преобразователи должны иметь устройство, ограничивающее ток короткого замыкания с безопасной для машины величиной, и обеспечивать высокую стабильность горения дуги. Это достигается размагничиванием основного потока генератора магнитным потоком последовательной обмотки возбуждения или магнитным потоком обмоток якоря (реакцией якоря).

Принципиальная электрическая схема генератора, работающего по принципу

намагничивающего действия параллельной и размагничивающего действия последовательной обмоток возбуждения, показана на рисунке 2. Генератор имеет обмотку 3, присоединенную к главной щетке  $b$  и вспомогательной щетке  $c$ , и обмотку 1, которая подключается к главным щеткам  $a$  и  $b$ . Напряжение между щетками  $b$  и  $c$  при холостом ходе и всех режимах нагрузки остается постоянным. Является постоянным и магнитный поток  $\Phi_{II}$ , создаваемый обмоткой 3 (генератор с самовозбуждением).

При горении дуги сварочный ток проходит через последовательную обмотку 1. Ее магнитный поток  $\Phi_C$  направлен против магнитного потока  $\Phi_{II}$ .

Поэтому э.д.с. генератора снизится, что вызовет снижение напряжения на дуге. При коротком замыкании поток  $\Phi_C$  будет равен потоку  $\Phi_{II}$ , при этом результирующий магнитный поток и напряжение на главных щетках  $a$  и  $b$  и на дуге понизятся до нуля. Плавное регулирование сварочного тока осуществляется реостатом 2. Предусмотрено и ступенчатое регулирование тока путем секционирования.

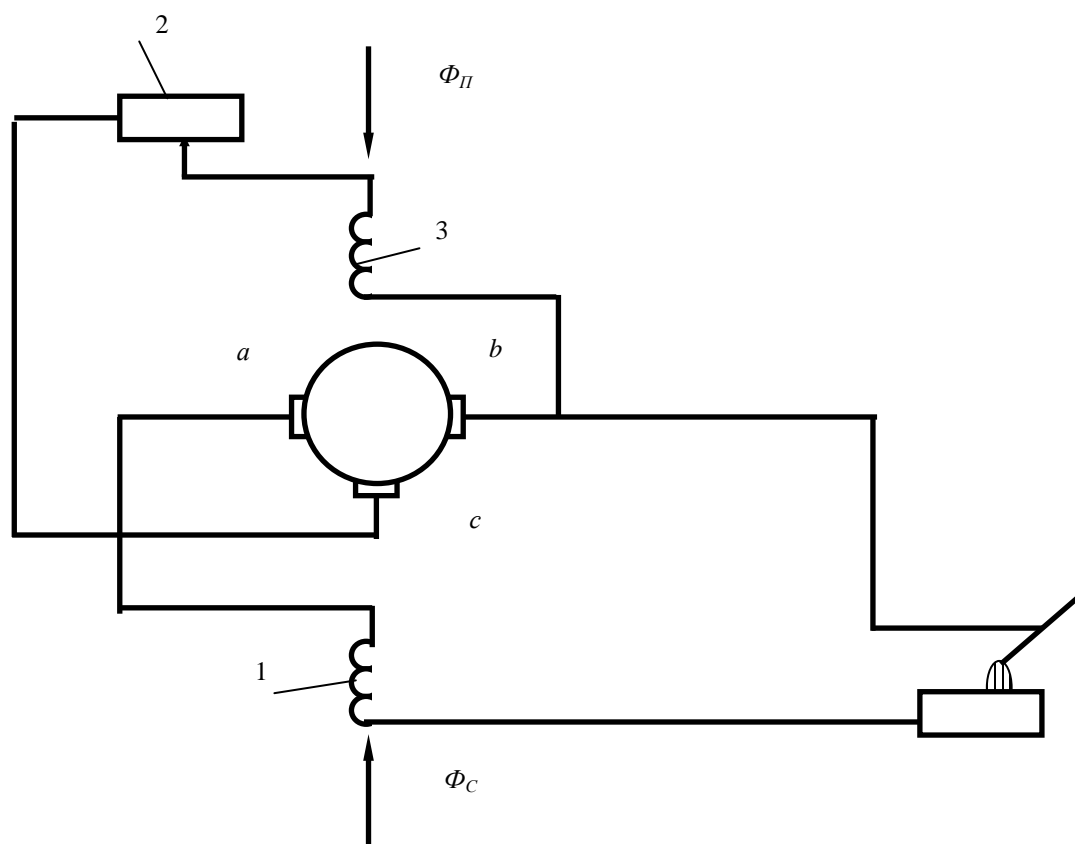


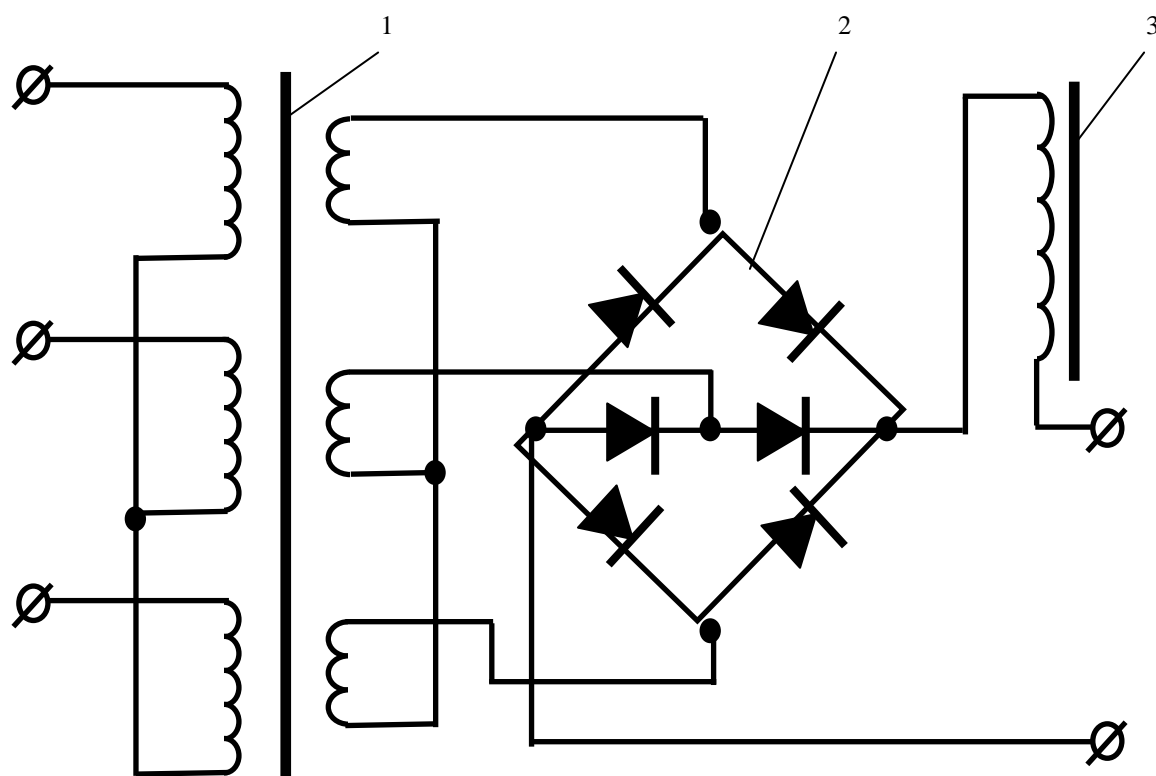
Рисунок 2 – Схема сварочного генератора постоянного тока



*Сварочные выпрямители* могут быть однофазными и трехфазными. Трехфазные выпрямители (рисунок 3) состоят из трехфазного понижающего трансформатора 1, блока селеновых или кремниевых выпрямителей 2 и дросселя 3 (типов ВСС, ВХС, ВД).

Выпрямители имеют трехфазную мостовую схему выпрямления, обеспечивающую практическое постоянство выпрямленного напряжения. Дроссель служит для получения падающей внешней характеристики. По сравнению с генераторами постоянного тока выпрямители имеют высокие динамические характеристики из-за меньшей электромагнитной инерции. Они обеспечивают высокую стабильность горения дуги, особенно на малых токах. Выпрямители просты и надежны в эксплуатации. Для нормальной работы выпрямителей требуется интенсивное охлаждение, так как происходит нагрев полупроводников, ограничивающий их мощность. Охлаждают выпрямители вентиляторами.

Плавная регулировка трансформаторов выпрямителя обеспечивается изменением расстояния между первичными и вторичными обмотками. Регулировка производится при работающем агрегате. Ступенчатое регулирование осуществляется секционированием.



### Рисунок 3 – Схема трехфазного выпрямителя

*Осцилляторы* – аппараты, которые применяют для питания сварочной дуги током высокой частоты (150...200 тыс. Гц) и высокого напряжения (2...3 тыс. В). Осцилляторы бывают параллельного и последовательного включения с трансформаторами. Ток высокой частоты и высокого напряжения облегчает зажигание сварочной дуги и повышает устойчивость ее горения.

Преимущества и недостатки источников тока дают возможность правильно выбрать тип источника для сварки в конкретных условиях производства.

Преимущества источников переменного тока: несложность в эксплуатации; долговечность; высокий к.п.д.

Однако, при сварке на малых токах покрытыми электродами и под флюсом дуга горит неустойчиво. Через каждые 0,01 с напряжение и ток дуги проходит через нулевые значения, что приводит к временной деионизации дугового промежутка.

При применении постоянного тока:

- повышается устойчивость горения дуги;
- улучшаются условия сварки в различных пространственных положениях;
- появляется возможность вести сварку на прямой и обратной полярности.

(Прямая полярность «+» на деталь, «-» на электрод. Обратная полярность «+» на электрод, «-» на деталь).

Сварка постоянным током отличается большей мобильностью – использование передвижных сварочных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания в полевых условиях.

Для электросварочного оборудования принята единая структура обозначения, которая состоит из буквенной и цифровой части.

Первая буква – тип изделия (Т – трансформатор, В – выпрямитель, Г – генератор, У – установка, П – преобразователь).

Вторая буква – тип сварки (Д – дуговая, П – плазменная).

Третья – способ сварки (Ф – под флюсом, Г – в среде защитных газов, У – уни-

версальные источники для нескольких способов сварки); отсутствие буквы – ручная сварка штучными электродами.

Четвертая – дает пояснение назначения источника: М – для многопостовой сварки; И – для импульсной сварки. Две цифры после букв обозначают номинальный сварочный ток источника (округленно в сотнях ампер). Две последующие цифры – регистрационный номер изделия (0,2). Следующие буквы и цифры – климатическое исполнение (У, Т) и категорию размещения (2, 3, 4).

Например: ВДГМ-1602У3 – выпрямитель для дуговой сварки в среде защитных газов многопостовой на ток 1600 А, регистрационный номер изделия – 0,2, климатическое исполнение – У, категория размещения – 3. Характеристики некоторых источников питания даны в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика источников питания, применяемых при электродуговой сварке

| Тип  | Ток, А      |                       | Напряжение, В |                | Потребляемая мощность<br>кВ,А | к.п.д.,<br>% |
|--|-------------|-----------------------|---------------|----------------|-------------------------------|--------------|
|  | номинальный | Пределы регулирования | номинальное   | холостого хода |                               |              |
| <b>ТРАНСФОРМАТОРЫ С НОРМАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ РАССЕЙЯНИЕМ И РЕАКТИВНОЙ КАТУШКОЙ</b>                 |             |                       |               |                |                               |              |
| ТСД-500-1  | 500         | 200-600               | 40            | 80             | 48,5                          | 85           |
| ТСД-2000-2   | 2000        | 800-2200              | 53            | 72 и 84        | 186                           | 89           |
| <b>ТРАНСФОРМАТОРЫ С УВЕЛИЧЕННЫМ МАГНИТНЫМ РАССЕЙВАНИЕМ И ПОДМАГНИЧИВАЕМЫМ МАГНИТНЫМ ШУНТОМ</b> |             |                       |               |                |                               |              |
| ТФД-1001   | 1000        | 400-1200              | 44            | 68-71          | 82                            | 87           |
| ТФД-1601   | 1600        | 600-1800              | 60            | 95-105         | 182                           | 88           |
| <b>Трансформаторы с увеличенным магнитным рассеянием и подвижными катушками</b>                |             |                       |               |                |                               |              |
| ТД-300   | 300         | 60-380                | 30            | 61-79          | 19,4                          | 86           |
| ТД-500   | 500         | 90-650                | 30            | 61-76          | 32                            | 87           |

| Выпрямители     |      |          |       |       |      |    |
|-----------------|------|----------|-------|-------|------|----|
| ВД-301          | 315  | 45-315   | 32    | 65-68 | 24   | -  |
| ВС-600          | 600  | 60-600   | 40    | 24-52 | 31   | 75 |
| ВДГ-302         | 315  | 50-315   | 16-38 | -     | 18   | 75 |
| ВСЖ-303         | 315  | 50-315   | 18-50 | 18-50 | 16   | 75 |
| ВСУ-500         | 500  | 90-550   | 20-40 | 52-68 | 63   | -  |
| ВДУ-305         | 315  | 50-315   | 16-38 | -     | 23   | -  |
| ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ |      |          |       |       |      |    |
| ПС-1000         | 1000 | 300-1000 | 44    | 50-90 | 14   | -  |
| ПД-305          | 305  | 40-350   | 32    | 85    | 10,5 | -  |
| ПСГ-500         | 500  | 60-500   | 40    | 40    | 20   | -  |
| ПСО-315         | 315  | 100-315  | 32    | 80    | 17   | -  |

## 1.2 Электроды для ручной дуговой сварки

Металлические электроды для сварки представляют собой пруток из проволоки, называемый стержнем электрода, на который нанесен слой покрытия методом опрессовки или окунания.

Электродное покрытие выполняет следующие функции:

- получение металла шва с заранее заданными свойствами (прочность, пластичность, ударная вязкость, стойкость против коррозии);
- для защиты металла сварочной ванны от воздуха (газовая защита);
- для раскисления и легирования наплавленного металла;
- для стабилизации горения дуги.

В соответствии с этим в состав любого электродного покрытия входят материалы, выполняющие вышеуказанные функции: *шлакообразующие* – марганцевая руда, гематит, гранит, мрамор, рутил; *флюсующие* (придающие шлаку текучесть) – плавиковый шпат; *газообразующие* – мрамор, магнезит, органические вещества; *раскисляющие* – ферромарганец, ферросилиций, ферротитан, феррохром, алюминий.

Некоторые материалы одновременно выполняют несколько функций. Напри-

мер, мрамор является шлакообразующим, газообразующим и стабилизирующим материалом.

Электроды диаметром 4, 5 и 6 мм имеют длину 450 мм. Электроды классифицируются по следующим признакам:

- по материалу, из которого изготовлен стержень;
- по назначению: для сварки определенных сталей;
- по толщине покрытия, нанесенного на стержень;
- по видам покрытия;
- по характеру шлака;
- по техническим свойствам металла шва;
- по допустимым пространственным положениям сварки или наплавки;
- по роду и полярности применяемого при сварке тока.

Применение электродов должно обеспечивать следующие технологические условия:

- легкое зажигание и устойчивое горение дуги;
- равномерное расплавление покрытия;
- равномерное покрытие шва шлаком;
- легкое удаление шлака после сварки;
- отсутствие непроваров, пор, трещин в металле шва.

Стальные электроды в соответствии с ГОСТ 9466-75 подразделяются по назначению на группы, в зависимости от свариваемых материалов:

- У – для сварки углеродистых и низкоуглеродистых конструкционных сталей;
- Л – для сварки легированных конструкционных сталей;
- Т – для сварки легированных теплоустойчивых сталей;
- В – для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;
- Н – для наплавки поверхностных слоев.

По толщине покрытия в зависимости от отношения и диаметра электрода ( $D$ ) к диаметру ( $d$ ) стержня электроды изготавливаются с тонким покрытием – М ( $D/d \leq 1,20$ ); средним – С ( $1,20 \leq D/d \leq 1,45$ ); с толстым покрытием – Д ( $1,45 \leq D/d \leq 1,80$ ); особо толстым – Г ( $D/d \geq 1,80$ ).

В зависимости от материалов, определяющих шлаковую основу или газовую защиту, используют электроды с покрытиями: А – кислые; Б – основные; Р – рутиловые; Ц – целлюлозные; П – прочие виды покрытий. Например, электрод с кислым покрытием марки ЦМ-7: гематит – 33 %, гранит – 32 %, ферромарганец – 30 %, крахмал – 5 %.

Наиболее широко применяемые электроды основного типа (Б) марки УОНИ-13/45 имеют следующий состав покрытия, (%): мрамор – 53, кремнезем – 9, плавиковый шпат – 18, ферромарганец – 2, ферросилиций – 3, ферротитан – 15.

Условное обозначение электродов для сварки конструкционных сталей состоит, например:

$$\frac{\text{Э46А} - \text{УОНИ} - 13/45 - 3,0 - \text{УД2}}{\text{Е432(5)} - \text{Б10}}$$

и по ГОСТу расшифровывается:

Э46А – тип электрода: Э – электрод для дуговой сварки;

46 – минимальный гарантируемый предел прочности металла шва, 460 МПа;

А – гарантируется получение повышенных пластических свойств металла шва;

УОНИ-13/45 – марка электрода;

3,0 – диаметр;

У – электрод для сварки углеродистых и низколегированных сталей;

Д2 – с толстым покрытием второй группы;

Е432(5) – установленная по ГОСТ 9467-75 группой индексов, указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва: 43 – временное сопротивление разрыву – не менее 460 МПа; 2 – относительное удлинение, не менее 22 %; 5 – имеет ударную вязкость не менее 34,3 дж/см<sup>2</sup> при температуре – 40° С;

Б – основное покрытие;

1 – для сварки во всех пространственных положениях;

0 – на постоянном токе обратной полярности.

Для сварки конструкционных и низколегированных сталей предназначены

электроды Э38, Э42, Э46, Э50, Э42А, Э46А, Э50А, Э55, Э60; для сталей повышенной прочности – Э70, Э85, Э100, Э128, Э150. Назначения ряда электродов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Типы электродов, их назначение

| Тип электродов | Для сварки (с указанием стали)   | Положение шва    |
|----------------|--|------------------|
| Э42            | Ответственных конструкций из низкоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей (БСтЗкп; ВСтЗкп; 09Г2)   | Нижнее наклонное |
|                | Ответственных металлоконструкций и деталей машин из низкоуглеродистых сталей, работающих при статических и динамических нагрузках (стали 20; 25)   | Любое            |
| Э42А           | Особо ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых, низколегированных сталей, работающих при динамических нагрузках; сосудов, работающих под давлением, а также заварки дефектов литья (ВСтЗпс; стали 10кп; 15пс; 20; 25) | Любое            |
| Э46А           | Ответственных металлоконструкций и деталей машин из низкоуглеродистых и низколегированных сталей, работающих при статических и динамических нагрузках (БСтЗпс; стали 08кп; 10; 25Л)  | Любое            |
| Э50А           | Ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей, заварки дефектов литья и монтажной сварки (стали 35Л; 35; 45; БСт5пс; ВСт5пс)  | Любое            |
| Э85            | Ответственных металлоконструкций из низколегированных сталей повышенной прочности, из сталей 40Х и 30ХГСА, подвергающихся термической обработке до высокого предела прочности (стали 20Х; 40Х)                                     | Любое            |

|      |   |        |
|------|---|--------|
| Э100 | Ответственных конструкций из среднелегированных, высокопрочных сталей (стали 18ХГТ; 30ХГСА) | Нижнее |
|------|---|--------|

## **2 Порядок выполнения работы**

2.1 Ознакомиться с теоретическими сведениями.

2.2 Ознакомиться с устройством источников питания. Научиться регулированию сварочного тока.

2.3 По заданной марке стали подобрать тип электрода (таблица 2). (Вариант задания выдается преподавателем, приложение А).

2.4 Выбрать источник питания сварочной дуги (таблица 1).

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Схемы источников питания с их кратким описанием.

3.2 Тип выбранного электрода с его расшифровкой.

3.3 Обоснованный выбор источника питания сварочной дуги.

## **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Перечислите требования, предъявляемые к источникам питания сварочной дуги.

2 Классификация источников питания по роду тока и по назначению.

3 По каким признакам классифицируются источники питания?

4 Для чего предназначен дроссель?

5 Устройство трансформаторов с дросселем на отдельном сердечнике.

6 Устройство трансформаторов с дросселем на общем сердечнике.

7 Устройство трансформаторов с подвижной вторичной обмоткой.

8 Принцип действия сварочного генератора.

9 Устройство выпрямителя.

10 Как регулируется сила сварочного тока у выпрямителей?

11 Назначение осциллятора.

12 Преимущества и недостатки источников переменного тока.

13 Преимущества источников постоянного тока.



14 Структура обозначения электросварочного оборудования.

15 Признаки классификации электродов.

16 Условия, предъявляемые к электродам.

17 Функции, выполняемые электродным покрытием.

18 Составляющие электродного покрытия.

19 Классификация электродов.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012

2 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 2. "Горячая обработка": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Варианты заданий

| № варианта | Марка стали | Толщина свариваемой детали, мм |
|------------|-------------|--------------------------------|
| 1          | 30ХГСА      | 1,5                            |
| 2          | 18ХГТ       | 2                              |
| 3          | Вст5сп      | 3                              |
| 4          | Вст3кп      | 4                              |
| 5          | 40Х         | 5                              |
| 6          | 20Х         | 6                              |
| 7          | 35Л         | 7                              |
| 8          | 20          | 8                              |
| 9          | 09Г2        | 9                              |
| 10         | 20Л         | 10                             |
| 11         | 45          | 12                             |
| 12         | 35          | 14                             |

|    |        |    |
|----|--------|----|
| 13 | 25     | 16 |
| 14 | Вст5пс | 8  |
| 15 | 25     | 7  |

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ**

*Цель работы:* научиться рассчитывать и выбирать оптимальный режим ручной электродуговой сварки, настраивать сварочное оборудование на выбранные параметры режима и определять технологические коэффициенты сварки.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* сварочный трансформатор; сварочный стол; электроды различных диаметров; стальные пластины; весы с ценой деления 0,5 г; секундомер или часы с секундным отсчетом; штангенциркуль.

### **1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

*Режимом сварки* называют совокупность параметров, позволяющих получать качественные сварные соединения. Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются:

- диаметр электрода –  $d_{\text{Э}}$ , мм;
- сила сварочного тока –  $I_{\text{СВ}}$ , А;

- напряжение на дуге –  $U_d$ , В;
- скорость сварки –  $v_{CB}$ , м/ч;
- полярность сварочного тока – прямая, обратная. Прямая (+ на деталь, – на электрод), обратная (+ на электрод, – на деталь). Полярность как параметр режима имеет место в случае сварки постоянным током.

Диаметр электрода перед сваркой выбирается, исходя из толщины свариваемых изделий. Формула для расчета диаметра имеет следующий вид

$$d_{\text{Э}} = \frac{S}{2} + 1, \quad (1)$$

где  $S$  – толщина пластин, мм.

Однако накопленный опыт сварки позволяет рекомендовать более конкретные данные (таблица 1).

Таблица 1 - Связь толщины свариваемого изделия с диаметром электрода

|                                 |     |   |         |        |          |
|---------------------------------|-----|---|---------|--------|----------|
| Толщина свариваемых изделий, мм | 1,5 | 2 | 2...5   | 5...10 | Свыше 10 |
| Диаметр электрода, мм           | 1,6 | 2 | 2,5...4 | 4...6  | 4...8    |

Сила сварочного тока является основным параметром режима сварки. Ток выбирается в зависимости от принятого диаметра и типа электрода, т.е. с учетом электродного материала

$$I_{CB} = k \cdot d_{\text{Э}}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент плотности тока, А/мм ( $k = 40 \dots 60$  А/мм – для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали;  $k = 35 \dots 40$  А/мм – для электродов со стержнем из высоколегированной стали).

Применительно к низкоуглеродистым сталям для определения силы тока рекомендуется применять эмпирическую формулу академика К.К. Хренова.

$$v_{CB} = (20 + 6 \cdot d_{\text{Э}}) \cdot d_{\text{Э}}. \quad (3)$$

В случае толщины свариваемого материала меньше  $1,5d_3$  рекомендуется уменьшить силу тока на 10...15 %, а при толщине металла более  $3d_3$  увеличить на 10...15 % по сравнению с расчетным значением.

При сварке в вертикальной плоскости силу тока уменьшают на 10...15 %, в потолочном положении – на 15...20 % с целью уменьшения стекания металла из расплавленной ванночки.

*Напряжение* на дуге складывается из суммы падения напряжения на электродах и падения напряжения на длине столба дуги

$$U_d = U_{AK} + U_{DM} \cdot L_d, \quad (4)$$

где  $U_{AK}$  – падение напряжения в анодной и катодной областях дуги, В; ( $U_{AK} = 10...12$  В);

$U_{DM}$  – падение напряжения на 1 мм длины дуги, В/мм; ( $U_{DM} = 2...3$  В/мм);

$L_d$  – длина дуги, мм.

*Длина дуги* определяется из выражения:

$$L_d = 0,5 \cdot (d_3 + 2). \quad (5)$$

*Скорость сварки* – это отношение длины шва ко времени, необходимому для получения шва определенной ширины, м/ч.

$$V_{CB} = \frac{L_{ш}}{t_0}, \quad (6)$$

где  $L_{ш}$  – длина шва, м;

$t_0$  – время горения дуги, ч.

Процесс ручной дуговой сварки характеризуется рядом показателей, к ним относятся:

1 *технологические коэффициенты:*

а) коэффициент расплавления –  $K_P$ , г/А, ч;

б) коэффициент наплавки –  $K_H$ , г/А, ч;

в) коэффициент потерь –  $K_{П}$ , %;

2 *производительность сварки* –  $T_{п}$ , ч;

3 *расход электрической энергии* –  $P$ , кВт, ч;

4 расход электродов –  $\Pi_{\text{Э}}$ , г.

*Коэффициент расплавления* характеризует расплавление, разбрызгивание и наплавку присадочного (электродного) металла, г/А,ч

$$K_P = \frac{Q_P}{I_{\text{СВ}} \cdot t_0}, \quad (7)$$

где  $Q_P$  – масса расплавленного электродного металла (г) за время горения дуги.

Если режим сварки выбран правильно, то значение  $K_P$  должно соответствовать следующему выражению

$$K_P = (1,2 \dots 1,3) K_H.$$

*Коэффициент наплавки* характеризует процесс наплавки и зависит от рода и полярности тока, типа покрытия, состава металлического стержня электрода, а также от пространственного положения, в котором выполняют сварку, г/А,ч

$$K_H = \frac{Q_H}{I_{\text{СВ}} \cdot t_0}, \quad (8)$$

где  $Q_H$  - масса металла, наплавленного за время горения дуги, г.

При этом коэффициент наплавки должен составлять для:

- качественных электродов  $K_H = 10 \dots 12$  г/А,ч;
- стабилизирующих электродов  $K_H = 8$  г/А,ч.

*Коэффициент потерь* характеризует потери металла электрода на разбрызгивание, испарение и окисление в процентах

$$K_{\Pi} = \frac{Q_P - Q_H}{Q_P} \cdot 100 \% . \quad (9)$$

*Производительность сварки* зависит от затрачиваемого времени и диаметра электрода, ч

$$T_{\Pi} = \frac{t_0}{K_3}, \quad (10)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки сварщика,  $K_3 = 0,4 \dots 0,8$  – в зависимости от

вида производства и характера выполняемой работы.

Расход электрической энергии (кВт, ч) при сварке определяют из выражения:

$$P = \frac{U_D \cdot I_{CB} \cdot t_0}{r \cdot 100} + M_{XX} \cdot (T - t_0), \quad (11)$$

где  $r$  – к.п.д. источника питания.  $r = 0,8 \dots 0,85$  – для трансформаторов;  $r = 0,3 \dots 0,4$  – для генераторов;

$M_{XX}$  – мощность холостого хода источника питания дуги, кВт;  $M_{XX} = 0,2 \dots 0,4$  кВт – для трансформаторов;  $M_{XX} = 2 \dots 3$  кВт для генераторов;

$T$  – общее время работы источника питания, ч.

Расход электродов находят по формуле

$$Q_{\Theta} = (1,2 \dots 1,3) \cdot Q_H \quad (12)$$

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Измерить толщину свариваемых деталей (пластин).

2.2 Определить расчетным методом параметры режима сварки по формулам (1; 2; 3; 4).

2.3 Настроить источник питания дуги на рассчитанный режим методом опытных сварок на пробных пластинах.

2.4 Взвесить пластины и электрод на весах с точностью до 0,5 г (взвешивание электрода и пластин производить отдельно).

2.5 Сварить пластины и наплавить валики на них, расплавив при этом не менее  $\frac{3}{4}$  длины электрода. В период сварки записать значения силы тока (А); напряжения (В) с приборов, с учетом их колебаний; времени работы источника питания (Т) и времени сварки ( $t_0$ ). Сварку проводить, не прерывая горения дуги.

2.6 Взвесить отдельно остаток электрода, очищенную от окалины пластину с наваренными валиками и записать в таблицу 2.

2.7 Рассчитать количество расплавленного и наплавленного металла, г

$$Q_P = m_{\text{Э}} - m_{\text{ЭС}},$$

где  $m_{\text{Э}}$  – масса электрода до сварки, г;  
 $m_{\text{ЭС}}$  – масса электрода после сварки, г.

$$Q_H = m_{\text{ПС}} - m_{\text{П}},$$

где  $m_{\text{ПС}}$  – масса пластины после сварки г;  
 $m_{\text{П}}$  – масса пластины до сварки, г.

2.8 Определить по формулам (6; 7; 8; 9; 10; 11; 12) скорость сварки  $V_{\text{СВ}}$ , технологические коэффициенты  $K_P$ ,  $K_H$ ,  $K_{\text{П}}$ , производительность сварки  $T_{\text{П}}$ , расход электрической энергии  $P$ , расход электродов  $Q_{\text{Э}}$ .

2.9 Расчетные данные свести в таблицу 2.

2.10 В случае некачественной сварки произвести уточнение параметров и повторить. Данные свести в таблицу 2.

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Расчет оптимального режима сварки.

3.2 Расчет технологических коэффициентов.

3.3 Таблица 2 с расчетными и опытными данными.

Таблица 2 – Основные параметры процесса ручной сварки

|                | $d_{\text{Э}}$ , мм | $I_{\text{СВ}}$ , А | $U_{\text{Д}}$ , В | $t_0$ , ч | $T_0$ , ч | $V_{\text{СВ}}$ , м/ч | $m_{\text{П}}$ , Г | $m_{\text{ПС}}$ , Г | $m_{\text{ЭС}}$ , Г | $Q_{\text{H}}$ , Г | $Q_{\text{P}}$ , Г | $K_{\text{P}}$ , Г/А·ч | $K_{\text{H}}$ , Г/А·ч | $K_{\text{П}}$ , % | $T_{\text{П}}$ , ч | $P$ , кВт | $Q_{\text{Э}}$ , Г |
|----------------|---------------------|---------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|-----------|--------------------|
| Расчетные      |                     |                     |                    |           |           |                       |                    |                     |                     |                    |                    |                        |                        |                    |                    |           |                    |
| Действительные |                     |                     |                    |           |           |                       |                    |                     |                     |                    |                    |                        |                        |                    |                    |           |                    |

3.4 Выводы о правильности выбранного режима сварки.

3.5 Дать описание эффективности ручной дуговой сварки, указать достоинства и недостатки.

#### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Какие параметры относятся к режиму ручной дуговой сварки?
- 2 Что является определяющим при выборе диаметра электрода?
- 3 Почему при сварке на вертикальной плоскости и в потолочном положении рекомендуется снижать силу сварочного тока?
- 4 Из каких условий выбирается сила сварочного тока? Привести известные формулы.
- 5 Что такое прямая и обратная полярность?
- 6 От какого параметра зависит длина дуги? Привести выражение для определения длины дуги.
- 7 Какими факторами определяется напряжение дуги?
- 8 Что понимается под скоростью сварки?
- 9 Назовите показатели, характеризующие процесс сварки.
- 10 Назовите технологические коэффициенты процесса сварки.
- 11 Что характеризует коэффициент расплавления? Как он определяется?
- 12 Что характеризует коэффициент наплавки? Как он определяется?
- 13 Что характеризует коэффициент потерь? Как он определяется?
- 14 Как определить, что рассчитанные Вами параметры режима сварки обеспечивают достаточное качество сварки и ее экономическую эффективность?
- 15 Что может являться критерием производительности сварки?

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1 Чижикова Т. В., Матюшкин Б. А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов М.: КолосС, 2011
- 2 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012
- 3 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 2. "Горячая обработка": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008



## **ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРОЧНОЙ ДУГИ И ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ЕЕ ПИТАНИЯ**

*Цель работы:* ознакомиться с внешними (вольт-амперными) характеристиками источников питания и статической характеристикой дуги; освоить методику снятия внешней характеристики источника сварочного тока и характеристики дуги.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* источник питания сварочной дуги любой марки (может быть переменного и постоянного тока); электроды для дуговой сварки; амперметр и вольтметр, включенные в сварочную электрическую цепь. (Работа выполняется на сварочном посту).

### **1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

*Сварочная дуга* – мощный стабильный электрический разряд в ионизированной атмосфере газов и паров металла. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. Дуга, горящая между катодом 1 и анодом 2, имеет катодную область 3, столб 4 и анодную

область 5 (рисунок 1). Длина катодной и анодной областей очень мала (часто эти области называют пятнами), большую часть дуги составляет столб. К основным параметрам, характеризующим свойства дуги, относятся *напряжение* ( $U_{д}$ ), *ток* ( $I_{св}$ ) и *длина дуги* ( $L_{д}$ ).

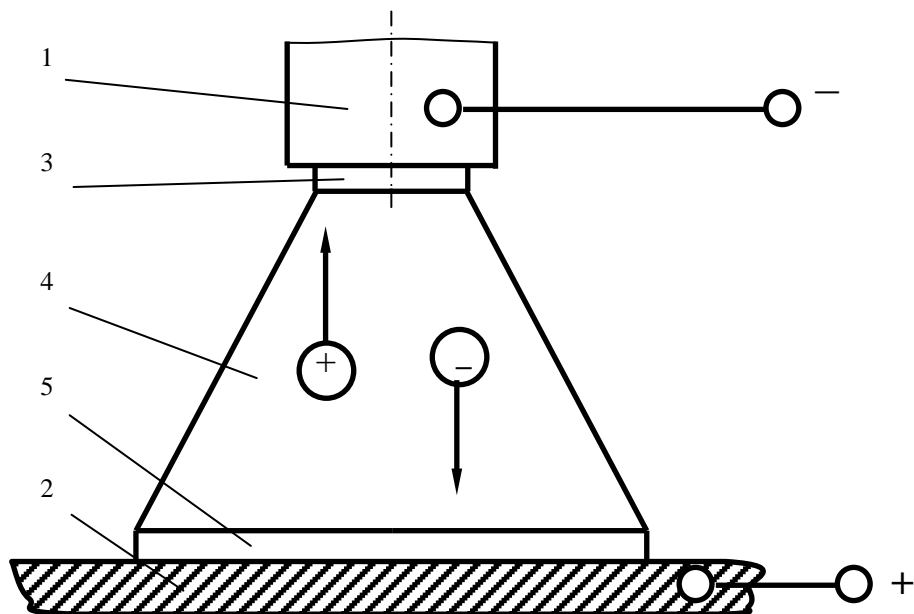


Рисунок 1 – Сварочная дуга постоянного тока.

Напряжение дуги ( $U_{д}$ ) зависит от нескольких факторов: длины дуги ( $L_{д}$ ), силы сварочного тока ( $I_{св}$ ), материала и размера электродов, состава и давления плазмы столба дуги.

В общем виде напряжение дуги можно выразить следующей формулой

$$U_{д} = a + b \cdot L_{д}, \quad (1)$$

где  $a$  – сумма падения напряжения в катодной и анодной областях дуги;

$b$  – напряженность столба дуги.

Формула (1) показывает, что для поддержания  $U_{д}$  постоянным необходимо, чтобы  $L_{д}$  также было постоянно.

Процесс зажигания дуги включает следующие этапы (рисунок 2):

1) короткое замыкание электрода на заготовку;

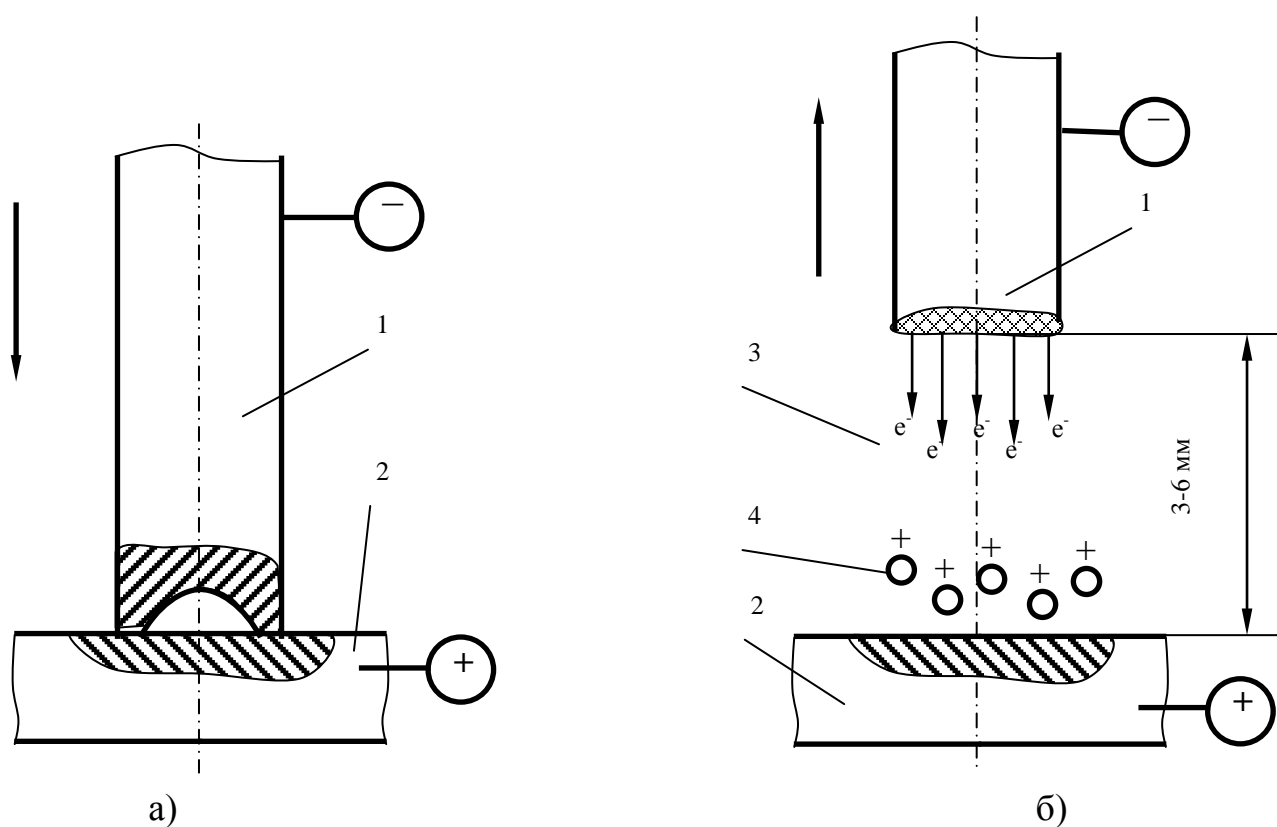
2) отвод электрода на расстояние 3...6 мм;

3) возникновение устойчивого дугового разряда.

Короткое замыкание (рисунок 2. а) выполняется для разогрева торца электрода (катода) и заготовки (анода) в зоне ее контакта с электродом. После отвода электрода (рисунок 2. б) с его разогретого торца под действием электрического поля начинается термоэлектронная эмиссия электронов. Столкновение быстро движущихся от катода к аноду электронов с молекулами газов и паров металла приводит к их ионизации. По мере разогрева столба дуги и повышения кинетической энергии атомов и молекул происходит дополнительная их ионизация. В результате – дуговой промежуток становится электропроводным.

Процесс зажигания дуги заканчивается возникновением устойчивого дугового разряда в столбе дуги (рисунок 2. в).

При выборе источника питания главное значение имеет характер зависимости между напряжением и током дуги в состоянии ее устойчивого горения.



в)

Рисунок 2 – Схема процесса зажигания дуги

Графическое изображение зависимости напряжения дуги от тока  $U_d = f(I_{св})$  называют *статической вольт – амперной характеристикой дуги* (рисунок 3).

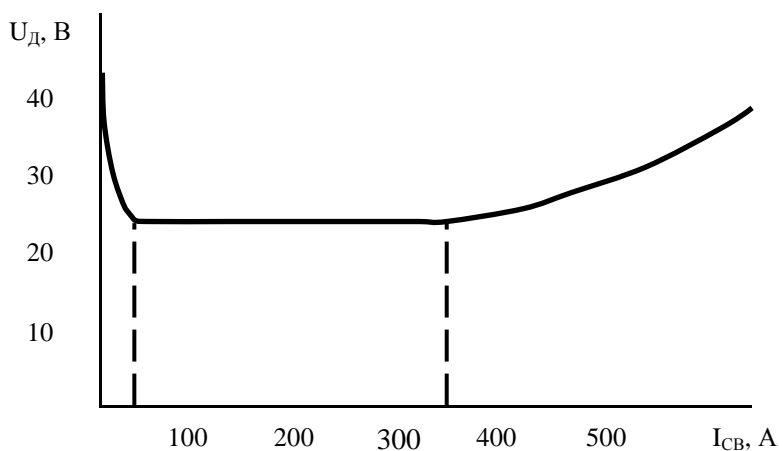


Рисунок 3 – Статическая характеристика сварочной дуги

При постоянных диаметре электрода и длине дуги характеристика состоит из трех участков: *падающего I, жесткого II, возрастающего III*. В зависимости от условий существования сварочной дуги ей соответствует тот или иной участок статической характеристики. Так, при ручной сварке – характеристика падающая с переходом к жесткой; при механизированной сварке – характеристика жесткая с переходом к возрастающей.

Электрические свойства источника при работе в статическом режиме выражаются его *внешней вольт-амперной характеристикой*. Внешней характеристикой источника называется зависимость напряжения на его выходных клеммах от силы тока в электрической сварочной цепи при нагрузке. Характеристики могут быть следующих основных видов: крутопадающая (*а*), пологопадающая (*б*), жесткая (*в*), возрастающая (*г*) (рисунок 4).

Наиболее важными параметрами источника питания являются его напряжение холостого хода  $U_0$ , ток короткого замыкания  $I_K$ , номинальное напряжение  $U_H$  и ток  $I_H$  (рисунок 5).

Для устойчивого горения дуги при ручной сварке источник питания сварочного тока должен отвечать следующим требованиям:

1) обеспечить напряжение холостого хода ( $U_0$ ) в 2,5...3 раза больше, чем рабочее напряжение  $U_P$ ; при сварке постоянным током металлическим электродом:  $U_0 = 40...60$  В; угольным электродом:  $U_0 = 50...80$  В; переменным током металлическим электродом:  $U_0 = 50...70$  В;

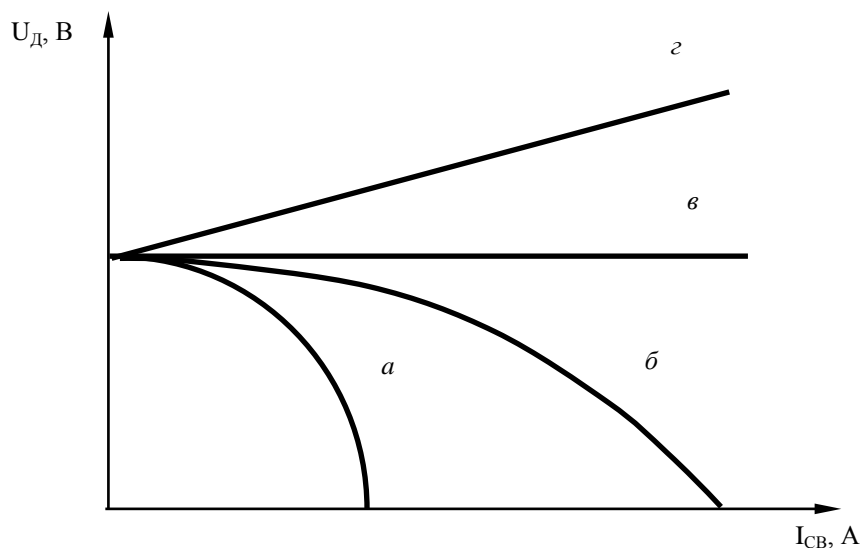
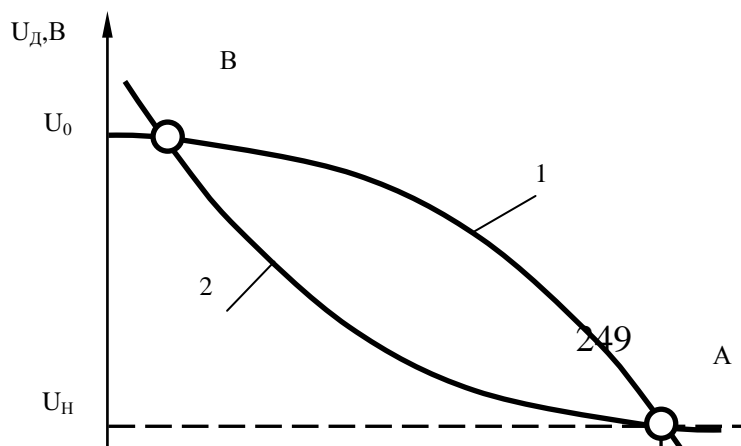


Рисунок 4 – Внешние характеристики источников питания



## Рисунок 5 – Работа источника под нагрузкой

2) ток короткого замыкания ( $I_K$ ) должен быть не больше удвоенного значения силы рабочего тока ( $I_H$ )

$$D = \frac{I_K}{I_H}, \quad (2)$$

где  $D$  – коэффициент добротности источника питания,  $1 < D < 2$ ;

3) быстро реагировать на все изменения режима в дуге и сети;

4) должен обладать крутопадающей внешней (вольт-амперной) характеристикой и обеспечивать регулирование режима сварки ( $U$  и  $I$ ).

Устойчивое горение дуги обеспечивается правильным выбором внешней характеристики источника питания (рисунок 5). При падающей статической характеристике 2 дуги источник питания должен иметь еще более крутопадающую внешнюю характеристику 1. Как видно из рисунка 5, равенство токов и напряжений дуги и источника в этом случае имеет место в точках А и В. Из них только точка А соответствует устойчивому горению дуги. Если по какой-то причине ток снизится, то напряжение источника станет больше напряжения дуги, и этот избыток приведет к увеличению тока, т.е. возврату в точку А. Если же ток увеличится, то напряжение источника станет меньше напряжения дуги, поэтому ток уменьшится, и режим горения восстановится. Тем самым поддерживается постоянный режим сварки и устойчивое горение дуги.

В точке В дуга устойчиво гореть не будет, так как всякое случайное изменение тока развивается вплоть до обрыва дуги или до тех пор, пока ток не достигнет значения, соответствующего точке устойчивого горения дуги А. Таким образом, устойчивое горение дуги поддерживается только в той точке, где внешняя ха-

характеристика источника питания является более крутопадающей, чем статическая характеристика дуги.

При жесткой статической характеристике дуги внешняя характеристика источника питания может быть и круто- и пологопадающей. При возрастающей статической характеристике дуги применяют источники с жесткими внешними характеристиками.

При ручной сварке покрытыми электродами используют источники питания с крутопадающими характеристиками (рисунок 5). Благодаря повышенному напряжению холостого хода обеспечивается надежное первоначальное и повторное возбуждение дуги. Сочетание крутопадающей характеристики источника с пологопадающей или жесткой характеристикой дуги позволяет выполнить условие устойчивости дуги. Поскольку на рабочем участке (около точки А) характеристика источника близка к вертикальной, то при увеличении длины дуги и ее напряжения (формула 1) сварочный ток фактически не изменится. Следовательно, такой источник обеспечивает высокую устойчивость горения дуги при колебаниях ее длины. Это же явление гарантирует стабильность режима сварки, поскольку на постоянном уровне поддерживается сила тока. Наличие крутопадающей характеристики обуславливает минимальное разбрызгивание электродного металла вследствие сравнительно небольших значений тока короткого замыкания.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Построить внешнюю характеристику источника питания сварочной дуги.

2.2 Установить значение силы тока на источнике питания  $I = 100$  А. Электрод диаметром 3 мм (в зависимости от диаметра электрода сила тока может изменяться).

2.3 Снять показания приборов при холостом ходе источника  $I_0$  и  $U_0$ .

2.4 Замкнуть электрод на деталь и определить  $U_K$  и  $I_K$ .

2.5 Произвести наварку валика, при этом длина дуги должна оставаться постоянной. Определить  $U_H$  и  $I_H$ .

2.6 Изменить сварочный ток с интервалом 40 А. Для каждого значения тока повторить опыты согласно пунктам 1.2, 1.3, 1.4. Полученные данные занести в таблицу 1 приложения А.

2.7 По данным таблицы 1 построить внешние вольт-амперные характеристики источника питания и статическую характеристику дуги (рисунок 1, приложение А). При построении использовать рисунок 5.

2.8 Для всех опытов рассчитать коэффициент добротности.

### **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Опытные данные для построения вольт-амперной характеристики.

3.2 Графики внешней характеристики источника питания и статической характеристики дуги.

3.3 Расчет коэффициента добротности.

3.4 Заключение о правильности выбора режима сварки.

### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Строение сварочной дуги.

2 От каких факторов зависит напряжение дуги?

3 Формула для определения напряжения дуги.

4 Этапы процесса зажигания дуги.

5 Цель короткого замыкания электрода на заготовку.

6 Что влияет на ионизацию дуги?

7 Понятие статической вольт-амперной характеристики дуги. Графическое изображение этой характеристики.

8 Дать описание участкам статической характеристики дуги.

9 Внешняя вольт-амперная характеристика источника питания дуги.

10 Виды внешних характеристик, их графическое изображение.

11 Параметры источников питания.

12 Требования к источникам питания.

13 Объясните, при какой характеристике источника питания будет поддерживаться



постоянный режим сварки и устойчивое горение дуги.

14 С какой характеристикой следует применять источник питания, если имеет место возрастающая характеристика дуги?

### ЛИТЕРАТУРА

1 Чижикова Т. В., Матюшкин Б. А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов М.: КолосС, 2011

2 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012

Михальченко А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 2. "Горячая обработка": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1

| N | $U_0$ | $I_0$ | $U_K$ | $I_K$ | $U_H$ | $I_H$ | D |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| 1 | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8 |
|   |       |       |       |       |       |       |   |
|   |       |       |       |       |       |       |   |
|   |       |       |       |       |       |       |   |
|   |       |       |       |       |       |       |   |



## **ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ**

*Цель работы:* изучить оборудование для газовой сварки, его работу; научиться подбирать присадочный материал и наконечник горелки.

*Применяемое оборудование, материалы, инструмент:* кислородный баллон; ацетиленовый генератор с водяным затвором (марка АСИ-1,25-6); редукторы (кислородный и ацетиленовый); газовые горелки, наконечники различных номеров; шланги; присадочная проволока; стальные пластины.

### **1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ**

*Газовой сваркой* называют процесс получения неразъемного соединения, заключающийся в нагреве и расплавлении газокислородным пламенем кромок свариваемых деталей и присадочного прутка, применяемого для заполнения разделки и получения необходимого сечения шва.

Газовую сварку применяют при изготовлении тонкостенных конструкций из

углеродистых сталей, сварке цветных металлов и чугунных деталей; прокладке и монтаже труб.

Оборудование для газовой сварки включает: ацетиленовый генератор или баллон с горючим газом; кислородный баллон; сварочную горелку с набором сменных наконечников; водяной затвор; редукторы.

Наиболее часто газовую сварку производят ацетилено-кислородным пламенем. Ацетилен ( $C_2H_2$ ) получают на месте сварки в ацетиленовых генераторах или поставляют в баллонах под давлением (баллоны окрашены в белый цвет). При использовании баллонов для снижения и поддержания постоянного давления применяют редукторы.

*Ацетиленовый генератор* – аппарат, предназначенный для получения ацетилена при взаимодействии карбида кальция  $CaC_2$  с водой. Генераторы классифицируются по следующим признакам:

1) *по давлению получаемого ацетилена*: низкого давления – до 0,01 МПа; среднего давления – 0,01...0,15 МПа; высокого давления – свыше 0,15 МПа.

Широкое применение получили генераторы низкого и среднего давления, генераторы высокого давления – взрывоопасны;

2) *по производительности* – от 1,25 до 640 м<sup>3</sup>/ч;

3) *по способу установки* – передвижные и стационарные;

4) *по принципу действия*: «карбид в воду»; «вода на карбид», а также контактного действия – «погружения» и «вытеснения»; комбинированные – «вода на карбид» и «вытеснения»; «сухие».

В генераторах системы КВ («карбид в воду») разложение  $CaC_2$  осуществляется при подаче определенного количества карбида кальция в воду, находящуюся в реакционном пространстве.

В генераторах системы ВК («вода на карбид»)  $CaC_2$  загружают в одну или две реторты, в которые из отдельного резервуара подается вода.

Генераторы контактной системы «погружением» или «вытеснением» характеризуется тем, что в зависимости от давления контакт  $CaC_2$  с водой осуществляется периодически.

Все ацетиленовые генераторы, независимо от их системы, имеют следующие ос-

новные части: газообразователь, газосборник, предохранительный затвор, автоматическую регулировку вырабатываемого ацетилена в зависимости от его потребления.

На корпусе генератора прикрепляется табличка со следующими данными: марка, заводской номер и год выпуска генератора; производительность, м<sup>3</sup>/ч; рабочее давление, МПа; разовая загрузка СаС<sub>2</sub>, кг; пределы температур, в которых может работать генератор.

*Основные требования к ацетиленовым генераторам:*

1) температура работы: стационарных – от +5 до +35° С, передвижных – от –25° С до +40° С;

2) по расходу ацетилена должна определяться производительность генератора и автоматически регулироваться разложение СаС<sub>2</sub>;

3) наличие изделий из сплавов, содержащих более 70 % меди, и устройств, способных вызвать при работе образование искр, не допускается;

4) коэффициент использования карбида кальция (КПИ) – не менее 0,85;

5) генератор должен быть герметичен; иметь минимальный вес и габариты; обеспечить хорошее охлаждение в зоне реакции (температура воды и гашеной извести не более 80° С, ацетилена – 115° С);

6) перед работой нужно обеспечить продувку всех объемов с целью удаления воздуха; во избежание выброса С<sub>2</sub>Н<sub>2</sub> при прекращении отбора газа необходимо иметь газосборник;

7) генератор должен быть рассчитан на работу с определенной грануляцией карбида кальция.

Одним из наиболее распространенных генераторов является переносной ацетиленовый генератор АСП-1,25-6 с производительностью 1,25 м<sup>3</sup>/ч, рабочим давлением 0,01-0,07 МПа, работающий по системе ВВ («вода на карбид» и «вытеснения»).

Генератор (рисунок 1) представляет собой вертикальный цилиндрический сосуд.

Корпус 5 состоит из трех частей: верхней (газообразователь), средней (вытеснитель) и нижней (промыватель). Воду заливают в газообразователь через горловину. При достижении уровня переливной трубки 3 вода по трубке переливается в

промыватель, который заполняется до уровня контрольной трубки 2. Карбид кальция загружают в корзину 8. Уплотнение между крышкой 12 и горловиной обеспечивается мембраной 11, усилием, создаваемым винтом 13 через траверсу 14. Ацетилен, который образуется в газообразователе, по трубке 3 поступает в промыватель, барботируя через слой воды, где он охлаждается и промывается. Наконечник трубки 3 предотвращает унос воды в промыватель. Из промывателя ацетилен через вентиль предохранительного клапана 4 и по шлангу 15 поступает в предохранительный затвор 7 и далее к горелке.

По мере повышения давления в газообразователе пружина 10 сжимается, в результате чего корзина перемещается вверх, а вода вытесняется в вытеснитель. В результате уровень замочки карбида уменьшается, и повышение давления прекращается. Давление ацетилена контролируют манометром 9. Из газообразователя сливают через штуцеры 6 и 1 соответственно. Предохранительный клапан 4 служит для сброса избыточного давления ацетилена в случае его повышения.

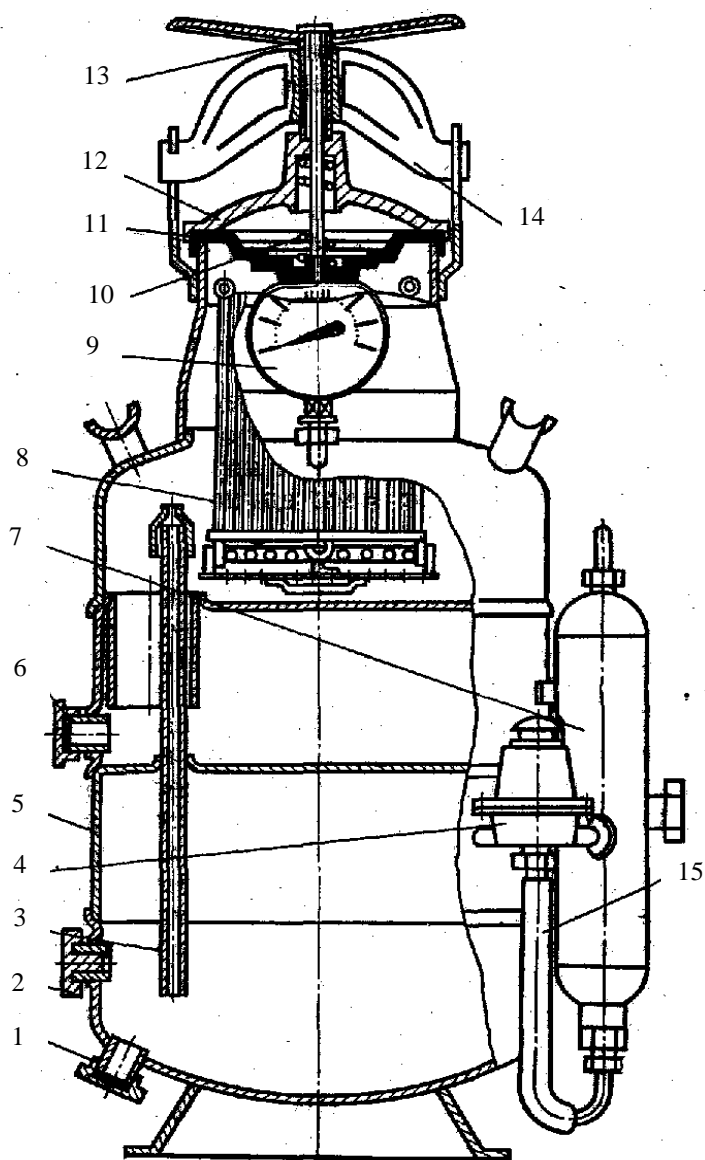


Рисунок 1 – Ацетиленовый генератор АСП-1,25-6: 1, 6 – штуцеры; 2 – контрольная пробка; 3 – переливная трубка; 4 – предохранительный клапан; 5 – корпус генератора; 7 – предохранительный затвор; 8 – корзина; 9 – манометр; 10 – пружина; 11 – мембрана; 12 – крышка; 13 – винт; 14 – траверса; 15 – шланг

Технические характеристики передвижных ацетиленовых генераторов приведены в таблице 1.

*Подготовка генератора к работе:*

- залить водой предохранительный затвор 7 до уровня контрольного крана;
- залить воду в корпус генератора до уровня контрольного крана;
- загрузить корзину 8 карбидом кальция грануляции 25x80 мм не более 3,5 кг, вставить в реторту, плотно закрывая крышкой 12;
- открыть вентиль и продуть ацетиленом шланги и сварочную горелку или резак в течение минуты.

Таблица 1 – Технические характеристики передвижных ацетиленовых генераторов

| Марка | Система генератора | Производительность,<br>м <sup>3</sup> /ч | Рабочее<br>давление, МПа | Единовременная<br>загрузка карбида<br>кальция, кг | Размер кусков, мм | Масса генератора<br>без воды и CaC <sub>2</sub> , кг |
|-------|--------------------|--|--------------------------|---|-------------------|--|
|-------|--------------------|--|--------------------------|---|-------------------|--|

|             |         |      |               |     |       |    |
|-------------|---------|------|---------------|-----|-------|----|
| ГНВ-1,25    | ВК и ВВ | 1,25 | 0,0025-0,008  | 4   | 25x80 | 42 |
| АНВ-1,25-73 | ВК и ВВ | 1,25 | 0,0015-0,0025 | 4   | 25x80 | 42 |
| АСМ-1,25-3  | ВВ      | 1,25 | 0,01-0,07     | 2,2 | 25x80 | 18 |
| АСМ-1-66    | ВВ      | 1,25 | 0,01-0,07     | 2   | 25x80 | 37 |
| АСВ-1,25    | ВВ      | 1,25 | 0,01-0,07     | 3   | 25x80 | 19 |
| ГВР-1,25М   | ВК и ВВ | 1,25 | 0,08-0,015    | 4   | 25x80 | 50 |
| АСП-1,25-6  | ВВ      | 1,25 | 0,01-0,07     | 3,5 | 25x80 | 21 |
| АМВ-1,25    | ВВ      | 1,25 | 0,01-0,07     | 3,5 | 25x80 | 21 |

После полного разложения карбида кальция, находящегося в корзине, необходимо произвести перезарядку. После каждой перезарядки и после каждого обратного удара необходимо проверять уровень жидкости в предохранительном затворе, при необходимости – пополнять его водой, зимой – антифризом. Предохранительный клапан регулируют каждые шесть месяцев. *Предохранительные затворы* – это устройства, предохраняющие ацетиленовые генераторы и газопроводы от попадания в них взрывной волны при обратных ударах пламени из сварочной горелки или резака.

*Обратным ударом* называется воспламенение горячей смеси в каналах горелки или резака и распространение пламени навстречу потоку горючей смеси. Обратный удар характеризуется резким хлопком и гашением пламени. Горящая смесь газов устремляется в шланг, а при отсутствии предохранительного затвора – в генератор, что может привести к взрыву. Обратный удар может произойти:

- если скорость истечения горючей смеси меньше скорости ее сгорания;
- от перегрева и засорения канала мундштука горелки.

Предохранительные затворы бывают жидкостные (заполняют водой) и сухие (заполняют мелкопористой металлокерамической массой). Наиболее распространены водные затворы.

Затворы делятся:

- по предельному давлению (низкого – 0,02 МПа, среднего – 0,07 МПа, высокого – 0,15 МПа);

- открытого (устанавливаются на генераторах низкого давления) и закрытого (высокого и среднего) типа;
- мембранные и безмембранные;
- по пропускной способности – 0,8; 1,25; 2,0; 3,2 м<sup>3</sup>/ч.

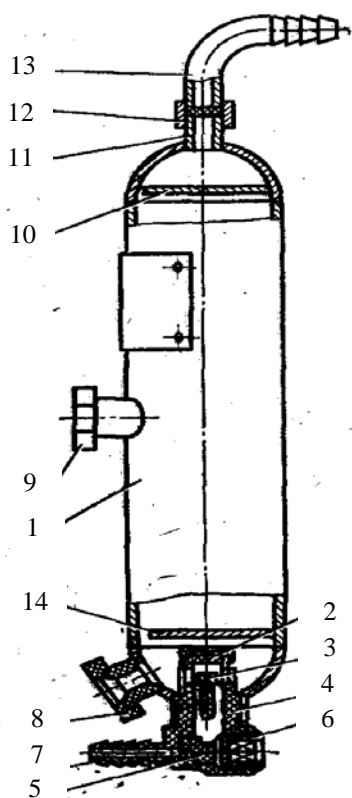


Рисунок 2 – Предохранительный затвор ЗСГ-1,25

Водяной предохранительный затвор ЗСГ-1,25 (рисунок 2) относится к затворам среднего давления – 0,15 МПа, пропускная способность – 1,25 м<sup>3</sup>/ч, масса – 2,5 кг.

Затвор состоит из цилиндрического корпуса 1 с верхним и нижним сферическими днищами. В нижней ввернут обратный клапан, состоящий из корпуса 4, клапана 3 и колпачка 2, ограничивающего подъем клапана. Обратный клапан имеет отверстие для слива воды, закрытое трубкой 6, и ниппель 7 для ввода ацетилена в затвор.

Сетка 5 предназначена для задержания частиц карбидного ила, окалины и других твердых частиц. В верхней части затвора расположен пламяпреградитель 10 и штуцер 11, а в нижней – рассекатель 14.

Пробка 8 предназначена для слива воды. Вода в затвор заливается до уровня контрольной пробки 9 при вывернутой накидной гайке 12 и снятом ниппеле 13.

Ацетилен поступает в затвор по газоподводящей трубке, приподняв клапан 3, в шланги горелки или резака. При обратном ударе клапан 3 прижимается давлением воды к седлу и препятствует проникновению ацетилена из генератора в затвор, а пламя гасится столбом воды.

*Кислородные баллоны* (рисунок 3) предназначены для хранения и транспортировки кислорода. Они представляют собой сосуды 3, имеющие на выпуклом днище 1 в нижней части башмак 2, придающий устойчивость баллону, а в верхней - горловину со специальными вентилями 4, 5. Конструкция вентиляей кислородных ацетиле-



новых баллонов различна, что исключает ошибочную установку кислородного редуктора на ацетиленовый баллон и наоборот. На горловину для защиты вентиля навертывается предохранительный колпак 6.

На сварочном посту кислородный баллон устанавливают в вертикальном положении и закрепляют цепью или хомутом.

*Подготовка к работе:* отвертывают колпак, заглушку штуцера; осматривают вентиль, чтобы установить отсутствие жира и масла; осторожно открывают вентиль и продувают его штуцер, после чего перекрывают вентиль; присоединяют редуктор к вентилю баллона; устанавливают рабочее давление кислорода регулировочным винтом редуктора. Остаточное давление в баллоне – не менее 0,05...0,1 МПа.

Питание постов газовой сварки и резки возможно от ацетиленовых баллонов. Они имеют те же размеры, что и кислородный, окрашены в белый цвет, заполнены пористой массой из активированного древесного угля, пропитанной ацетиленом.

*Кислородные редукторы* (рисунок 4) предназначены для снижения высокого давления кислорода, находящегося в баллоне или трубопроводе до рабочего 0,2...0,4 МПа при сварке и до 1,2...1,4 МПа при резке, для поддержания его постоянной величины в процессе сварки или резки.

Кислородный редуктор имеет манометр высокого давления со шкалой 0-2500 МПа, манометр низкого давления со шкалой 0...250 МПа и предохранительный клапан. Редуктор крепится к баллону накидной гайкой.

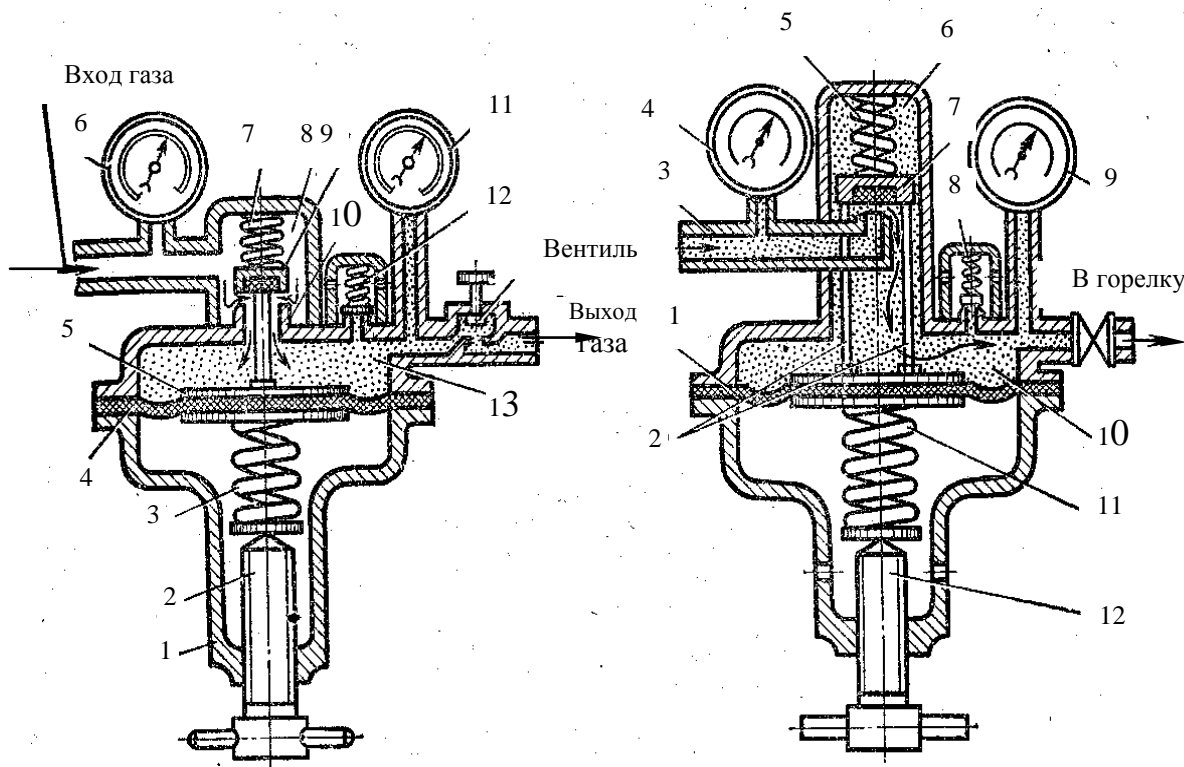


Рисунок 4 – Схема кислородного редуктора: 1 – крышка, 2 – регулирующий винт; 3 – нажимная пружина; 4 – резиновая мембрана; 5 – шток; 6 – манометр; 7 – обратная пружина; 8 – камера высокого давления; 9 – клапан; 10 – седло клапана; 11 – манометр; 12 – предохранительный клапан; 13 – камера низкого давления

Кислородные редукторы имеют предохранительный клапан, защищающий мембрану от разрыва, если давление кислорода в камере будет выше допустимого.

*Сварочной горелкой* называется устройство, служащее для смешивания горючего газа или паров горючей жидкости с кислородом и получения сварочного пламени. Горелка имеет устройство, позволяющее регулировать мощность, состав и форму сварочного пламени.

*Сварочные горелки подразделяются:*

- по способу подачи горючего газа и кислорода в смесительную камеру: инжекторные, безинжекторные;
- по роду применяемого горючего газа;
- по назначению: универсальные (сварка, резка, пайка, наплавка), специализированные;
- по числу пламени: однопламенные, многопламенные;
- по мощности пламени:
- по способу применения: ручные, машинные.

Наиболее распространены инжекторные горелки.

*Инжекторные горелки* – подача горючего газа в смесительную камеру осуществляется за счет подсоса его струей кислорода, вытекающего с большой скоростью из сопла.

Для нормальной работы этих горелок давление кислорода должно быть 0,15...0,5 МПа, а давление ацетилена значительно ниже – 0,001...0,12 МПа.

Горелки Г-2-02 малой мощности и Г-3-02 средней мощности предназначены для ручной сварки и пайки черных и цветных металлов.

Горелка состоит из корпуса 12 (рисунок 5), ацетиленового и кислородного вентиля 13.

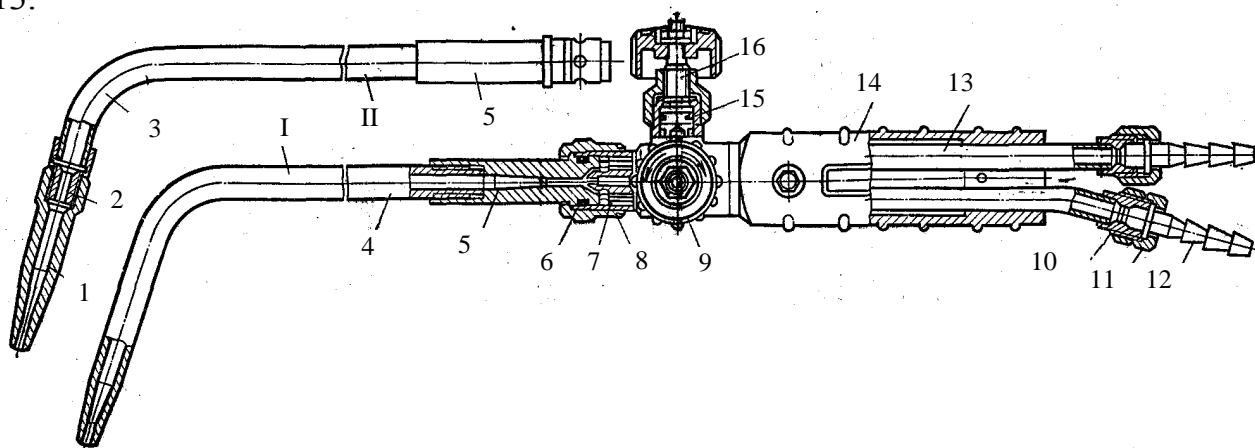


Рисунок 5 – Горелка сварочная типа ГС-3: 1 - мундштук; 2 – ниппель мундштука; 3 – трубка горючей смеси; 4 – трубчатый мундштук; 5 – камера смешительная; 6 – кольцо резиновое уплотнительное; 7 – инжектор; 8 – гайка накидная; 9 – вентиль ацетиленовый; 10 – штуцер; – гайки накидные; 12 – ниппель шланговый; 13 – трубка; 14 – рукоятка; 15 – сальниковая набивка вентиля; 16 – вентиль кислородный

Кислород подается через ниппель 8 и трубку 6. Ниппель 8 накидной гайкой 7 крепится к корпусу горелки. Ацетилен подается через ниппель 9, штуцер 10 и трубку 11. К корпусу горелки накидной гайкой прикрепляется наконечник 15, состоящий из смешительной камеры 4 с инжектором 5, трубки 3, ниппеля 2 и мундштука 1. Кислород подается через ниппель 8, вентиль 13 и далее через инжектор в смешительную камеру. При прохождении кислорода через узкий канал, инжектор создает разрежение, что способствует засасыванию в смешительную камеру ацетилена, поступающего через ниппель 9 и штуцер 10. В трубке наконечника ацетилен смешивается с кислородом. Образовавшаяся горючая смесь поступает в выходной канал мундштука. Горелки комплектуются различными наконечниками для сварки стальных изделий толщиной от 0,5 до 30 мм (таблица 2).

Таблица 2 – Параметры горелок Г-2-0,4, Г-3-0,3

| Наименование параметров       | Параметры наконечников горелок (№) |         |       |     |      |       |       |
|-------------------------------|------------------------------------|---------|-------|-----|------|-------|-------|
|                               | 1                                  | 2       | 3     | 4   | 5    | 6     | 7     |
| Голщина свариваемой стали, мм | 0,5-1,5                            | 1,0-2,5 | 2,5-4 | 4-7 | 7-11 | 10-18 | 17-30 |
| Расход кислорода,             |                                    |         |       |     |      |       |       |

|  |           |         |         |            |          |           |           |
|--|-----------|---------|---------|------------|----------|-----------|-----------|
| л/ч  | 50-125    | 120-240 | 230-430 | 400-700    | 600-1100 | 1030-1750 | 17-2800   |
| Расход ацетилена, л/ч                      | 55-135    | 130-260 | 250-440 | 430-750    | 740-1200 | 1150-1950 | 1900-3100 |
| Давление на входе в горелку кислорода, кПа | 100-400   | 150-400 | 200-400 | 200-400    | 200-400  | 200-400   | 200-400   |
| Давление на входе в горелку ацетилена, кПа | Не ниже 1 |         |         | Не ниже 10 |          |           |           |

### 1.1 Технология газовой сварки

Для получения сварного соединения высокого качества необходимо: подготовить свариваемые кромки; установить горелку в соответствующее положение; выбрать способ сварки; установить необходимую мощность горелки; определить диаметр присадочной проволоки.

Кромки изделия перед сваркой тщательно очищают от масла, окалины. Наиболее часто при газовой сварке применяют стыковые соединения. Производится прихватка кромок свариваемых деталей во избежание изменения их положения и зазора между кромками.

При сварке тонкого металла и коротких швов длина прихваток – 5...7 мм, а расстояние между ними – 70...10 мм. При сварке толстого металла соответственно: 20...30 мм и 300...500 мм.

Различают два основных способа газовой сварки: правый и левый.

*Правый способ* применяют при сварке металла толщиной более 5 мм; при этом сварку ведут слева направо, горелка перемещается впереди присадочного прутка, пламя направлено на формирующийся шов. Диаметр присадочной проволоки ( $d$ , мм) определяют по формуле:

$$d = \frac{S}{2}, \quad (1)$$

где  $S$  – толщина металла, мм.

При *левом способе* сварку ведут справа налево, горелка перемещается над при-

садочной проволокой, пламя направляется на несваренные кромки и подогревает их, подготовляя к сварке. Диаметр сварочной проволоки  $d$  при этом способе определяют по формуле:

$$d = \frac{S}{2} + 1 . \quad (2)$$

К сварочной проволоке предъявляются следующие требования:

- поверхность присадочной проволоки должна быть ровной и чистой, без загрязнений, плавление осуществляется при температуре не выше температуры плавления основного металла;
- присадочный материал должен содержать минимальное количество вредных примесей и плавиться спокойно, без разбрызгивания, обеспечивая металл шва по свойствам близкий к основному.

Все марки сварочной проволоки в зависимости от состава разделяются на три группы:

- 1) углеродистая – Св-08; Св-08А; Св-08АА; Св-08ГА; Св-10ГА; Св-10Г2;
- 2) легированная – Св-08ГС; Св-12ГС; Св-0872С; Св-18ХМА; Св-10Х5М;
- 3) высоколегированная – Св-06Х19Н9Т; Св-07Х19Н10В; Св-07Х25Н13; Св-13Х25Н18; Св-07Х18Н9ГЮ.

Например: 4Св-08АА – 4 обозначается диаметр проволоки, мм; Св – соответствует слову «сварочная»; 08 – содержание углерода в проволоке в сотых долях процента; АА – указывает на пониженное содержание серы и фосфора по сравнению с проволокой, в обозначении которой одна буква А. Буквы с последующей цифрой – содержание различных элементов в процентах (Б – ниобий, Ю – алюминий, Г – марганец).

Промышленность выпускает сварочную проволоку диаметром, мм: 0,3; 0,5; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 12.

Необходимую тепловую мощность пламени, определяемую расходом ацетилена (л/ч), подбирают в зависимости от толщины свариваемого металла и способа сварки по эмпирической формуле:

$$P = A \cdot S , \quad (3)$$

где  $A$  – коэффициент пропорциональности: для углеродистых сталей – 100...120 при левом способе и 120...180 при правом способе сварки; для нержавеющей стали – 75...100; меди – 150...200 и алюминия – 150.

По выбранной мощности пламени подбирают соответствующий номер наконечника сварочной горелки.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.

2.2 По составу заданной марки стали подобрать марку присадочной проволоки так, чтобы состав проволоки был близок к составу свариваемого изделия (приложение А). Определить диаметр проволоки по формулам 1 и 2.

2.3 По толщине свариваемой детали рассчитать мощность сварочного пламени (расход ацетилена). По таблице 2 определить расход кислорода, номер наконечника горелки.

2.4 Сварить пластины по выбранному режиму и оценить качество шва.

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Схемы ацетиленового генератора, кислородного редуктора, водяного затвора, газовой горелки.

3.2 Марка выбранной проволоки, расход ацетилена и кислорода, номер наконечника.

3.3 Вывод о качестве шва.

## **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Что называют газовой сваркой? Область применения
- 2 Оборудование для газовой сварки.
- 3 Классификация ацетиленовых генераторов.
- 4 Основные части ацетиленовых генераторов.
- 5 Устройство генератора, работающего по системе ВВ.
- 6 Назначение предохранительного клапана?
- 7 Подготовка генератора к работе.

- 8 Устройство и работа предохранительного затвора.
- 9 Обратный удар.
- 10 Назначение и устройство кислородного баллона. Подготовка к работе.
- 11 Назначение кислородного редуктора.
- 12 Устройство и принцип действия кислородного редуктора.
- 13 Назначение сварочной горелки.
- 14 Классификация сварочных горелок.
- 15 Принцип работы и устройство инжекторной горелки.
- 16 Технология газовой сварки.
- 17 Способы газовой сварки.
- 18 Расчет диаметра присадочной проволоки?
- 19 Классификация присадочных материалов.
- 20 Тепловая мощность пламени.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Чижикова Т. В., Матюшкин Б. А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов М.: КолосС, 2011
- 2 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012
- 3 Михальченков А. М., Тюрева А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 2. "Горячая обработка": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

| № варианта | Марка стали | Толщина свариваемой детали, мм | Способ сварки |
|------------|-------------|--------------------------------|---------------|
| 1          | 10Г2        | 5                              | левый         |
| 2          | 12Г0        | 7                              | правый        |
| 3          | 18Х2Н4      | 6                              | правый        |
| 4          | 15          | 3                              | левый         |

|    |           |    |        |
|----|-----------|----|--------|
| 5  | 10X19H10Б | 4  | левый  |
| 6  | 10ХМ      | 2  | левый  |
| 7  | 5Х1ВН9Ю   | 1  | левый  |
| 8  | 25        | 14 | правый |
| 9  | 13Х25     | 2  | левый  |
| 10 | 08Х12Н9Т  | 8  | правый |
| 11 | 06А       | 10 | правый |
| 12 | 10кп      | 15 | правый |
| 13 | ВСт5сп    | 10 | правый |
| 14 | БСт4      | 12 | правый |
| 15 | 30ХГСА    | 6  | правый |

## **ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ**

*Цель работы:* установление посредством замера твердости влияния сварочных температур на изменение свойств металла шва и зоны термического влияния.

*Применяемые оборудование, материалы, инструмент:* макрошлиф сварного соединения, выполненного дуговой сваркой; прибор для измерения твердости по Роквеллу; масштабная линейка.



# 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

## 1.1 Структура и свойства металла шва и зоны термического влияния

Сварные соединения, выполненные сваркой плавлением можно разделить на несколько зон, отличающихся макро- и микроструктурой, химическим составом, механическими свойствами: *сварной шов*; *зона сплавления*; *зона термического влияния* и *основной металл*. Характерные признаки зон связаны с фазовыми и структурными превращениями, которые претерпевает металл при сварке в каждой зоне. Строение сварного шва, выполненного сваркой плавлением, после затвердевания (малоуглеродистая сталь) показано на рисунке 1.

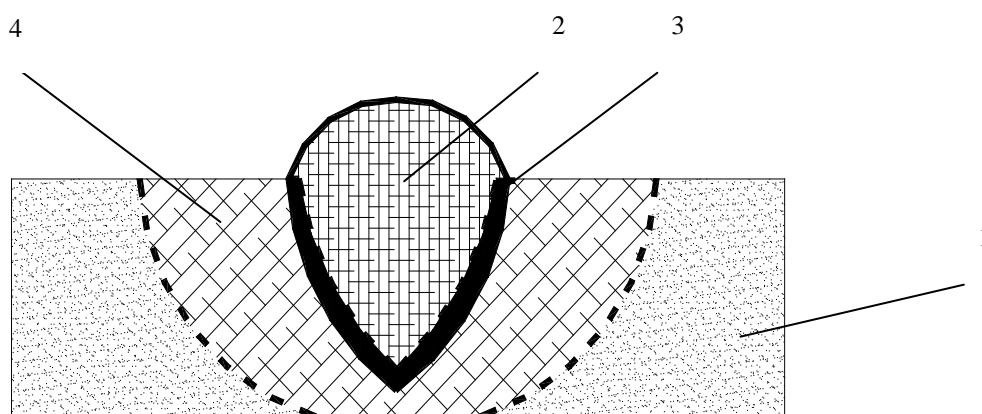


Рисунок 1 – Строение сварочного шва. 1 – основной металл; 2 – сварной шов (наплавленный металл); 3 – зона сплавления; 4 – зона термического влияния

Сварной шов (2) получается в результате перевода присадочного и частично основного металлов в жидкое состояние, образования жидкой сварной ванны и последующего затвердевания, в процессе которого расплавленный металл соединяется с основным (1). В узкой зоне сплавления (3) кристаллизуются зерна, принадлежащие основному и наплавленному металлу. Во всяком сварном шве образуется зона термического влияния (4), которая располагается в толще основного металла.

*Сварной шов* характеризуется литой макроструктурой металла. Свойства металла в зоне шва определяются условиями плавления, металлургической обработки основного и присадочного металлов и кристаллизации металла шва при охлажде-

нии. Во время плавления основной и присадочный металлы сильно перегреваются до температур, близких к температуре кипения. Это приводит к испарению металла и изменению химического состава. Наличие газовой атмосферы вокруг плавящегося металла приводит в ряде случаев к окислению, взаимодействию металла с азотом и растворению в металле газов. Все это изменяет химический состав наплавленного металла, создает в нем окислы и другие неметаллические включения, поры и трещины. Чем чище наплавленный металл, тем выше механические свойства сварного шва. С целью повышения качества наплавленного металла вокруг жидкого металла создают специальную газовую атмосферу, защищающую его от воздействия воздуха, раскисляют и закрывают сварочную ванну специальными шлаками.

Структура сварного шва заданного химического состава определяется условиями охлаждения, влияющими на процессы вторичной кристаллизации и на диффузные процессы. Так, например, сварной шов, выполненный тонкопокрытым электродом, имеет мелкозернистую структуру, состоящую из феррита и небольшого количества перлита (углерод, как и другие легирующие примеси выгорает). При сварке толстопокрытым электродом в связи с меньшей скоростью охлаждения металл шва имеет более крупнозернистую столбчатую структуру, состоящую из зерен феррита и перлита.

*Зона термического влияния* (ЗТВ, рисунок 2) – участок основного металла, примыкающий к сварному шву, в пределах которого вследствие теплового воздействия сварочного источника нагрева протекают фазовые и структурные превращения в твердом металле. ЗТВ имеет отличные от основного металла величину зерна и микроструктуру. Непосредственно около сварного шва располагается *околошовная зона* (ОШЗ), которая включает в себя несколько рядов крупных зерен, в том числе оплавленных. Металл шва, имеющий литую макроструктуру, и зона термического влияния в основном металле, имеющая макроструктуру проката или рекристаллизованную макроструктуру литой или ковальной заготовки, разделяются друг от друга *зоной (поверхностью) сплавления* (ЗС), которую легко заметить на поверхности макрошлифа сварного соединения, подвергнутого травлению, при небольшом увеличении как линию сплавления. Зона сплавления – зона сварного соединения, где проис-

ходит сплавление наплавленного и основного металла. ЗС имеет существенно отличающийся от металла шва и ЗТВ химический состав, микроструктуру и свойства. В нее входят узкий участок сварного шва, расположенный непосредственно у линии сплавления, а также оплавленный участок ОШЗ.

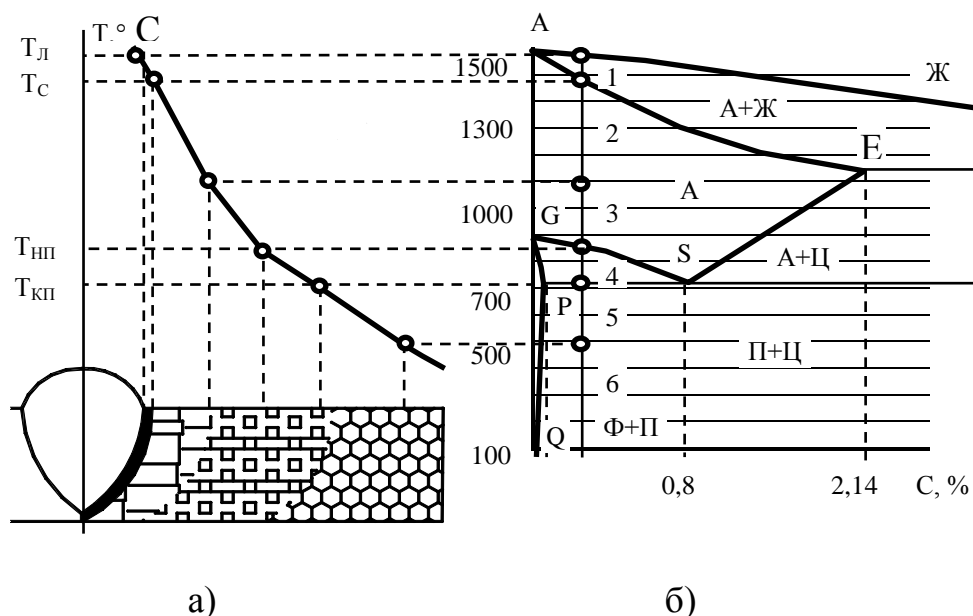


Рисунок 2 – Схема изменения структур ЗТВ однопроходного шва: а) температурные границы участков ЗТВ; б) связь их структур с диаграммой Fe-C.  $T_{л}$  – температура ликвидуса;  $T_{с}$  – температура солидуса;  $T_{нп}$ ,  $T_{кп}$  – температуры начала и конца полиморфных превращений. Участки: 1 – неполного расплавления; 2 – перегрева; 3 – нормализации; 4 – неполной перекристаллизации; 5 – рекристаллизации; 6 – синеломкости

Свойства сварного соединения в целом определяются характером теплового воздействия на металл в ЗТВ. Часто величина ЗТВ определяет качество сварного соединения.

Величина ЗТВ зависит от свойств материала, его толщины, способа и режима сварки, характера источников сварочной теплоты, а также температуры окружающей среды. Так, при ручной дуговой сварке тонкопокрытыми электродами ее протяженность составляет 2...2,5 мм, а при газовой сварке – 20...25 мм. При сварке некоторых конструкционных (легированных и высокоуглеродистых) сталей в ЗТВ возможно образование закалочных структур, которые резко снижают пластические свойства свар-

ного соединения и часто являются причиной образования трещин.

Структурные изменения в ЗТВ легко проследить на однопроходном стыковом сварном соединении. Над сечением сварного шва расположена кривая распределения максимальных температур, рядом (в том же масштабе) размещена часть диаграммы состояния сплава железо-углерод. Проецируя с диаграммы Fe-C на сварное соединение границы участков одинаковой микроструктуры, можно определить в сварном соединении границы отдельных участков зоны термического влияния (рисунок 2).

В зависимости от температуры нагрева и, следовательно, структурных и физико-механических изменений в зоне термического влияния различают следующие участки:

- 1 неполного расплавления;
- 2 перегрева;
- 3 нормализации;
- 4 неполной перекристаллизации;
- 5 рекристаллизации;
- 6 синеломкости.

*Участок неполного расплавления* (переходная зона) – является переходным от наплавленного металла к основному; он представляет собой узкую полосу основного металла, которая при сварке находится при температурах ниже линии ликвидуса, но выше линии солидуса. Вследствие воздействия температур металл находится в твердожидком состоянии, что способствует протеканию диффузии некоторых элементов между твердой и жидкой фазой переходной зоны; поэтому переходная зона отличается по своему химическому составу как от основного, так и от наплавленного металла.

Ширина участка неполного расплавления зависит от характера источника нагрева и состава металла и изменяется от 0,1 до 0,4 мм. Свойства этого участка оказывают подчас решающее влияние на работоспособность сварной конструкции.

*Участок перегрева.* Ограничивается температурными границами: со стороны шва - температурой участка неполного расплавления, а со стороны основного металла - температурой примерно 1100° С. На этом участке металл при сварочном

нагреве претерпевает полиморфное превращение из  $\delta$ - в  $\gamma$ -железо, и, так как он нагревается выше точки  $A_{C3}$  (линия GS), наблюдается перегрев и рост аустенитного зерна. В процессе остывания структура на этом участке зависит от состава металла и термического цикла сварки. В некоторых случаях при перегреве (стали с повышенным содержанием углерода; при электрошлаковой сварке) образуется крупнозернистая грубоигольчатая видманшtedтовaя структура, незначительно влияющая на прочность металла, но заметно снижающая пластичность и ударную вязкость (на 25 %). Ширина этого участка 1...3 мм.

*Участок нормализации.* В этой зоне температура металла не превышает 1100° С, но выше критической точки  $A_{C3}$ . Здесь наблюдается структура нормализованной стали с мелкозернистым строением. Механические свойства этого участка обычно выше свойств основного металла, не подвергшегося нагреву при сварке. Ширина участка (в зависимости от способа и режима сварки) 1,2...4 мм.

*Участок неполной перекристаллизации.* На этом участке происходит неполная перекристаллизация металла, нагретого до температур, лежащих между точками  $A_{C1}$  (линия PS) и  $A_{C3}$  (для низкоуглеродистой стали от 725° С до 850° С). Металл на этом участке подвергается частичной перекристаллизации. Поэтому здесь наряду с крупными зepнами основного металла, не изменившимися при нагреве, присутствуют мелкие зepна феррита и перлита, образовавшиеся при перекристаллизации. Металл этой зоны также обладает более высокими механическими свойствами, чем основной металл.

*Участок рекристаллизации.* Если свариваемая сталь предварительно была подвергнута пластической деформации, то при сварке наблюдается участок рекристаллизации. На нем при температурах от 450° С до 700° С из обломков зepен зарождаются и растут новые равноосные зepна. В литых сплавах подобного участка нет.

*Участок синеломкости* – охватывает интервал температур от 200° С до 400° С, при котором на поверхности появляются синии цвета побежалости. Сталь на этом участке не претерпевает структурных изменений, однако, при сварке низкоуглеродистых сталей на нем наблюдается резкое падение ударной вязкости (синеломкость).

*Основной металл* располагается за пределами ЗТВ и не претерпевает измене-

ний при сварке.

Однако, свойства металла и превращения в ЗТВ могут изменяться в зависимости от способа первичной обработки металла (прокат, литье, ковка, деформирование в холодном состоянии) и последующей термообработки.

Изменение структуры в сварном соединении приводит к изменению механических свойств по его сечению. Изучение же ЗТВ сводится, как правило, к рассмотрению структур. Учитывая сложность строения названной зоны, фактически трудно дать оценку ее механическим свойствам по фазовым составляющим. Определение же механических свойств известными методами затруднительно.

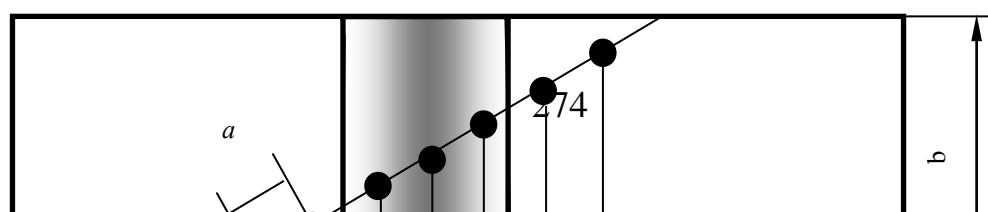
Наиболее приемлемым методом является измерение твердости по поперечному срезу сварного соединения вследствие его простоты и доступности. Кроме того, критерий твердости является комплексным показателем механических свойств. Методом измерения твердости обычно выявляют изменение механических свойств металла в поперечном сечении шва, устанавливают размеры околошовной зоны и место возможного разрушения металла.

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Макрошлиф сварного соединения, необходимый для измерения твердости, подготавливают следующим образом: сваренные части металла разрезают перпендикулярно шву на полосы заданной ширины  $b$ ; продольные концы шлифуют до металлического блеска.

2.2 Подготовленный макрошлиф сварного соединения устанавливают на прибор для измерения твердости по методу Роквелла (шкала С). Середина шва должна находиться под острием индентора.

Отпечатки наносят по схеме (рисунок 3), начиная от центра шва через каждые  $a = 4$  мм, и записывают твердость для каждого измерения в таблицу (приложение А). Измерение продолжают до тех пор, пока твердость не будет соответствовать твердости основного металла, то есть значения твердости будут оставаться постоянными.



### Рисунок 3 – Схема нанесения отпечатков

2.3 Строят график изменения твердости по сечению сварного шва в зависимости от расстояния от центра шва (приложение Б). За начало отсчета принимают точку измерения твердости в середине шва. Расстояния  $l_1 - l_6$  определяют из условия  $l_1 = a \cos\alpha$ .

2.4 Устанавливают максимальную и минимальную твердость и те участки сварного соединения, где эти точки расположены.

2.5 По диаграмме состояния сплавов железо–углерод (рисунок 2) определяют (приблизительно) температуру нагрева металла в этих точках и зоны (участки) сварного соединения.

2.6 По результатам исследований делают заключение о месте возможного разрушения металла.

## 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Краткая характеристика основных зон сварного соединения.

3.2 Протокол испытаний.

3.3 Выводы.

## 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Основные зоны сварного соединения.

2 Образование сварного шва, выполненного сваркой плавлением.

3 Чем обусловлено характерное строение сварного шва?

- 4 Образование зоны сплавления.
- 5 Распределение температур по сечению сварного шва.
- 6 Зона термического влияния. Основные участки; их размеры, в зависимости от способа сварки.
- 7 Структурные изменения в зоне термического влияния.
- 8 Какие участки ЗТВ имеют решающее значение при оценке работоспособности сварной конструкции?
- 9 Методы определения свойств металла в сварном соединении.
- 10 Причины изменения твердости по сечению сварного соединения

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Чижикова Т. В., Матюшкин Б. А. Технология конструкционных материалов: учеб. пособие для вузов М.: КолосС, 2011
- 2 Некрасов С. С. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению: учеб. пособие для вузов СПб.: Регион, 2012
- Михальченко А. М., Тюрёва А. А., Козарез И. В. Практикум по материаловедению и технологии конструкционных материалов. Ч. 2. "Горячая обработка": учеб. пособие - Брянск: БГСХА, 2008

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

| № отпечатка                  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Расстояние от оси шва,<br>мм |   |   |   |   |   |   |   |
| Твердость,<br>НРС            |   |   |   |   |   |   |   |



Распределение твердости по сечению сварного шва

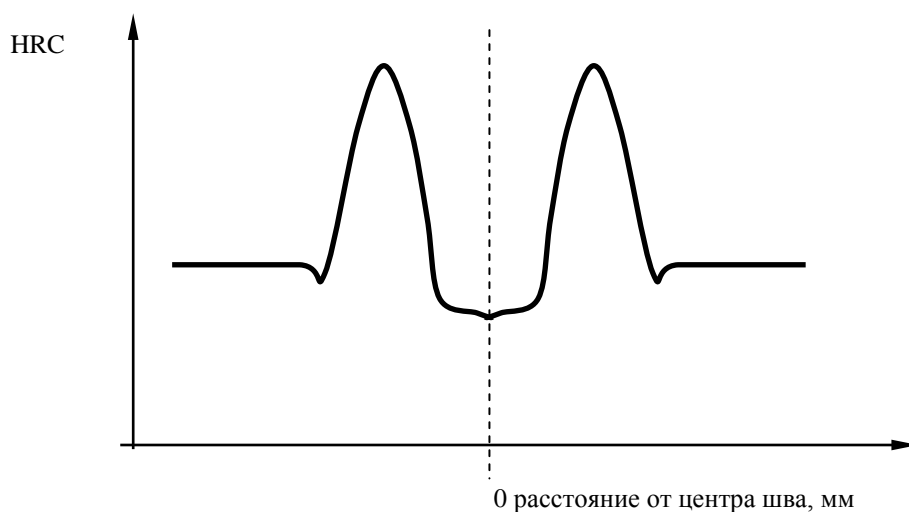


Рисунок 1 – Распределение твердости по сечению сварного шва

## ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

### ТОКАРНЫЕ РЕЗЦЫ

*Цель работы:* Изучить виды токарных резцов, уметь производить измерения их геометрических параметров.

*Применяемые измерительные инструменты и резцы:* универсальный и настольный угломеры, штангенциркуль, измерительная линейка, радиусомер, токарные резцы.

# 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

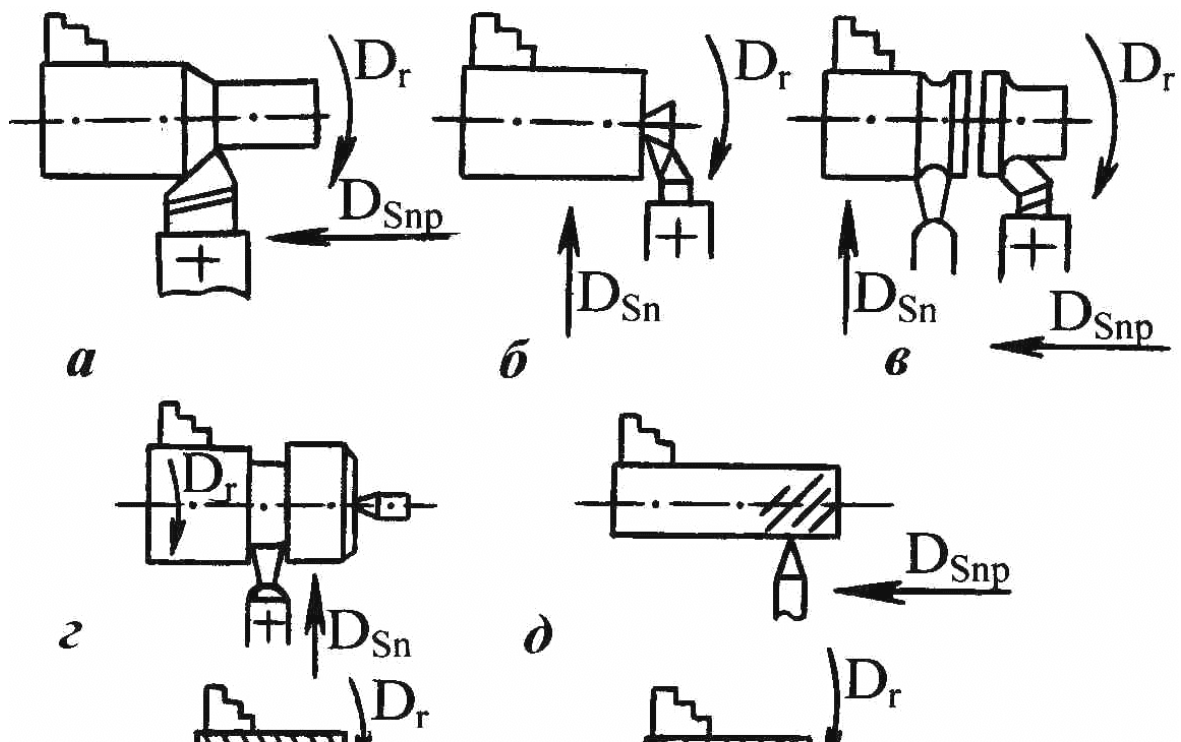
*Резцы* – наиболее распространенный вид режущего инструмента. *Резец* – однолезвийный инструмент для обработки с поступательным или вращательным движением резания и возможностью подачи в любом направлении (ГОСТ 25761-83).

Резцы отличаются большим многообразием. Применяются на токарных, долбежных, строгальных, расточных станках (соответственно этому резцы делятся на токарные, строгальные, расточные и долбежные) при обточке, расточке, подрезке, отрезке, строгании, долблении, резьбонарезании и комбинированной обработке.

Токарные резцы подразделяются по технологическому признаку, характеру обработки, форме головки, направлению подачи, способу изготовления, роду материала, сечению стержня.

По технологическому признаку различают следующие разновидности резцов. Проходные (рисунок 1. а) резцы используют для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей. Резцу задается продольное движение подачи ( $D_{Snp}$ ).

Подрезные (рисунок 1. б) резцы предназначены для обтачивания плоских торцовых поверхностей, имеют поперечную подачу ( $D_{Sn}$ ). Обработку поверхностей сложной конфигурации проводят фасонными резцами (рисунок 1. в) с  $D_{Sn}$  либо  $D_{Snp}$ .



### Рисунок 3 – Схемы установок токарных резцов

Прорезные резцы (рисунок 1. г) служат для протачивания канавок. Длина главной режущей кромки резца может быть равной ширине канавки; резцу сообщается поперечная подача. Резьбовыми резцами (рисунок 1. д) проводят нарезание резьбы на наружных и внутренних поверхностях при продольной подаче. Расточными резцами осуществляют обработку внутренних поверхностей. Расточку ведут проходными резцами сквозных (рисунок 1. е) и упорными резцами глухих (рисунок 1. ж) отверстий при продольной подаче. Отрезные резцы (рисунок 1. з; 1. и) служат для деления заготовок на части и отделения готовой детали от заготовки. Прямая главная режущая кромка (рисунок 1. з) приводит к разрушению шейки в конце резки, поэтому торец требует дополнительного прохода. Наклонная кромка

(рисунок 1. и) оставляет после себя чистый торец. Резцу при отрезке сообщают поперечную подачу.

*По характеру обработки* резцы подразделяются на черновые, получистовые и чистовые. Черновые или обдирочные резцы используют для предварительной обточки и подрезания деталей, во время которых снимается большая часть припуска. Чистовые резцы применяются для окончательной отделки деталей. Припуски, которые снимают в данном случае, очень невелики.

*По направлению подачи* резцы разделяют на левые и правые. Левые работают с продольной подачей слева направо, правые – наоборот.

*По форме головки* они могут быть прямые, отогнутые, оттянутые и изогнутые.

*По способу изготовления* резцы различают цельные, с приваренной встык рабочей частью, с приваренной или припаянной пластинкой из инструментального материала, со сменными пластинками (рисунок 1. л) (механическое крепление пластинок).

*По роду материала* резцы разделяют: на резцы из быстрорежущей стали, с пластинками из твердого сплава, с пластинками из металлокерамики и с кристаллами алмазов. Наиболее часто применяют резцы с пластинками из твердого сплава.

*По сечению стержня* резцы разделяют на прямоугольные, квадратные и круглые.

Резцы также различают по установке относительно обрабатываемой заготовки – радиальные и тангенциальные.

Радиальные резцы получили наибольшее применение за счет простоты крепления и выбора геометрических параметров режущей части. Тангенциальные резцы применяют на токарных автоматах и полуавтоматах в тех случаях, когда основным требованием является шероховатость обрабатываемой поверхности.

Основные виды стандартизованных и выпускаемых промышленностью резцов приведены в приложении 1.

Геометрические элементы токарного проходного резца представлены на рисунке 2.

Резец состоит из режущей части I (рисунок 2) и присоединительной части II, которая предназначена для закрепления резца в резцедержателе.

Лезвие токарного резца состоит из следующих элементов. Передняя поверх-

ность лезвия ( $A_\gamma$ ) 1 – поверхность лезвия инструмента, контактирующая со срезаемым слоем и стружкой. Задняя поверхность лезвия ( $A_\alpha$ ) – поверхность лезвия инструмента, контактирующая в процессе резания с поверхностями заготовки. Главная задняя поверхность ( $A_\alpha$ ) 2 – задняя поверхность лезвия инструмента, примыкающая к главной режущей кромке. Вспомогательная задняя поверхность ( $A_\alpha'$ ) 5 – задняя поверхность лезвия инструмента, примыкающая к вспомогательной режущей кромке

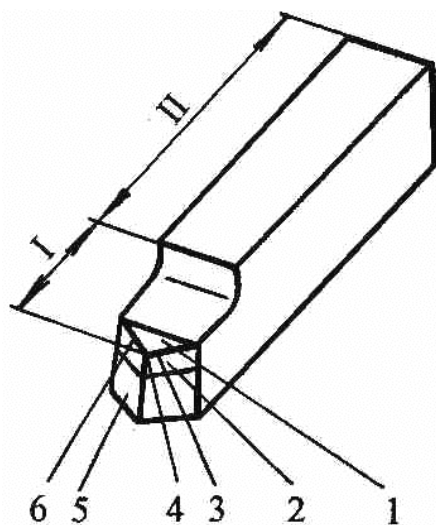


Рисунок 4 – Геометрические элементы токарного проходного резца

Главная режущая кромка ( $K$ ) 3 – часть режущей кромки, формирующая большую сторону сечения срезаемого слоя. Вспомогательная режущая кромка ( $K'$ ) 6 – часть режущей кромки, формирующая меньшую сторону срезаемого слоя. Вершина лезвия 4 – участок лезвия в месте пересечения главной и вспомогательной режущей кромок (у токарного резца); участок лезвия, формирующий внутреннюю поверхность (у резьбового резца).

При определении углов резца пользуются понятиями: основной плоскости, плоскости резания, главной секущей плоскости, вспомогательной секущей плоскости (рисунок 3).

Для приближенного расчета углов лезвия в процессе резания для учета изменения этих углов после установки инструмента на станке применяется статическая система координат.

Статической системой координат называется прямоугольная система координат с началом в рассматриваемой точке режущей кромки, ориентированная относительно направления скорости главного движения резания (ГОСТ 25762-83, с. 6).

Следовательно, все рассматриваемые плоскости, использованные для определения углов, рассматриваются также в статической системе координат.

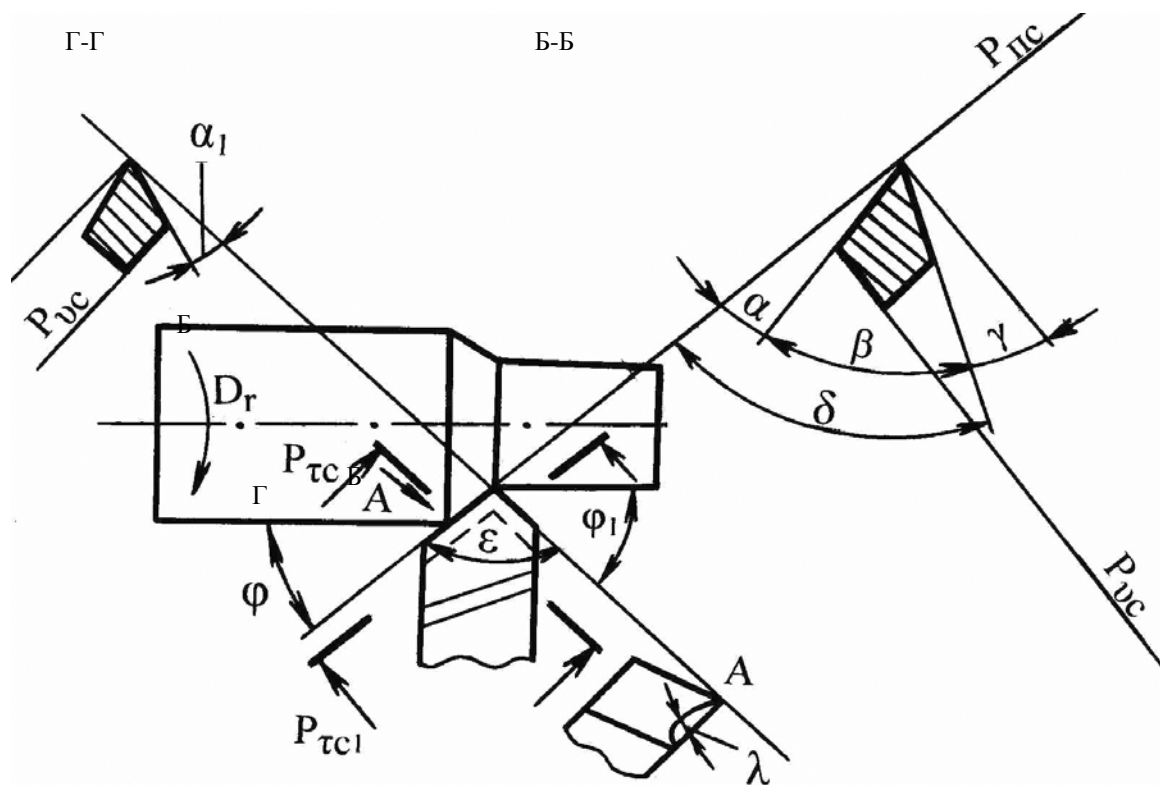


Рисунок 5 – Углы токарного резца в статике

*Основная плоскость* ( $P_v$ ) – координатная плоскость, проведенная через рассматриваемую точку главной режущей кромки перпендикулярно направлению скорости главного или результирующего движения резания в этой точке. *Плоскость резания* ( $P_n$ ) – координатная плоскость, касательная к режущей кромке в рассматриваемой точке и перпендикулярная основной плоскости. *Главная секущая плоскость* ( $P_\tau$ ) – координатная плоскость, перпендикулярная линии пересечения основной плоскости и плоскости резания. *Вспомогательная секущая плоскость* ( $P_{\tau 1}$ ) – координатная плоскость, перпендикулярная к проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость.

В главной статической секущей плоскости ( $P_{\tau c}$ ) рассматривают следующие

углы: *главный задний угол* ( $\alpha$ ) – угол между главной задней поверхностью лезвия и плоскостью резания; *угол заострения* ( $\beta$ ) – угол между передней и главной задней поверхностью лезвия; *главный передний угол* ( $\gamma$ ) – угол между передней поверхностью лезвия и основной плоскостью; *угол резания* ( $\delta$ ) – угол между передней поверхностью лезвия и плоскостью резания. Сумма углов  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ . Сумма углов  $\alpha + \beta = \delta$ . Условно считается, что угол  $\gamma$  может быть положительным и отрицательным. Отрицательный передний угол имеет место при угле резания  $\delta > 90^\circ$ ; в этом случае выдерживается алгебраическое равенство  $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$ .

Во вспомогательной секущей плоскости ( $P_{\tau 1}$ ) рассматривается только один вспомогательный *задний угол* ( $\alpha_1$ ), равный по величине главному заднему углу ( $\alpha$ ).

При рассмотрении сверху (в плане) проходного резца, установленного на суппорте токарного станка, видны следующие углы резца (см. рисунок 3): *главный угол в плане* ( $\varphi$ ) – угол в основной плоскости между плоскостью резания и рабочей плоскостью (угол между проекцией главной режущей кромки резца на основную плоскость и направлением продольной подачи); *вспомогательный угол в плане* ( $\varphi_1$ ) – угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи; *угол при вершине* ( $\varepsilon$ ) – угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость. Сумма углов  $\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ$ .

*Угол наклона главной режущей кромки* ( $\lambda$ ) – угол в статической плоскости резания между главной режущей кромкой и основной плоскостью (рисунок 4).

Углы режущей части резца влияют на процесс резания. Задние углы  $\alpha$  и  $\alpha_1$  уменьшают трение между задними поверхностями инструмента и поверхностью обрабатываемой заготовки, что снижает силы резания, и уменьшает износ резца. Чрезмерное увеличение заднего угла приводит к ослаблению режущей кромки. Рекомендуется при обработке стальных и чугунных деталей задние углы выполнять в пределах  $6 \dots 12^\circ$ .

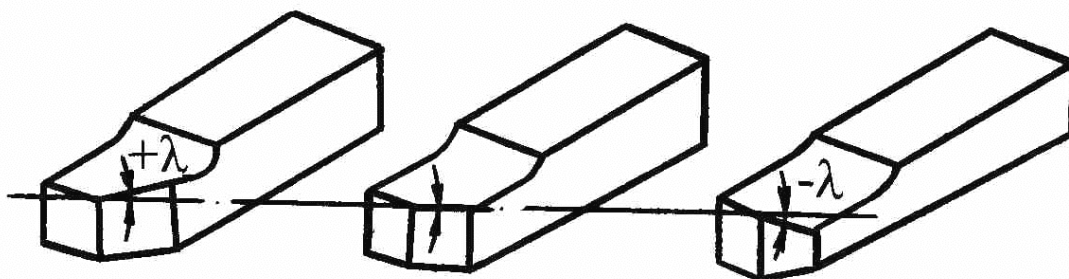


Рисунок 6 – Угол наклона главной режущей кромки резца

С увеличением переднего угла  $\gamma$  уменьшается работа резания и шероховатость обработанной поверхности. При обработке легких сталей  $\gamma = 8...20^\circ$ , а при обработке твердых сталей делают даже отрицательный угол, то есть  $\gamma = -(5...10^\circ)$ .

Главный угол в плане  $\varphi$  определяет соотношение между радиальной и осевой силами резания. В зависимости от условий работы принимают  $\varphi = 10...90^\circ$ . Наиболее распространенное значение угла  $\varphi$  резца в плане при обработке на универсальных токарных станках равно  $45^\circ$ . Вспомогательный угол в плане  $\varphi_1 = 0...45^\circ$ , наиболее распространен  $\varphi_1 = 12...15^\circ$ .

Угол наклона главной режущей кромки  $\lambda$  определяет направление схода стружки. При положительном угле  $\lambda$  стружка имеет направление на обработанную поверхность, при отрицательном угле  $\lambda$  - на обрабатываемую поверхность. Угол  $\lambda$  часто принимают равным  $0^\circ$ . При чистовой обработке принимать угол  $\lambda$  положительным не рекомендуется, так как сходящая стружка увеличивает шероховатость обработанной поверхности.

## **2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1 По приложению А определить вид токарного резца (резец выдается преподавателем).

2.2 Вычертить схему обработки детали изучаемым резцом. На схеме указать обрабатываемую и обработанную поверхности, поверхность резания; указать стрелками (см. рисунок 1) направление главного движения резания  $D_r$  – прямолинейное поступательное или вращательное движение заготовки или режущего инструмента, происходящее с наибольшей скоростью в процессе резания; движение подачи  $D_s$  – прямолинейное поступательное или вращательное движение режущего инструмента или заготовки, скорость которого меньше скорости главного движения резания,



предназначенное для того, чтобы распространить отделение слоя металла на всю обрабатываемую поверхность. В зависимости от направления движения подачи различают следующие подачи: продольное ( $D_{\text{спр}}$ ), поперечное ( $D_{\text{сп}}$ ).

2.3 Изобразить заготовку и резец (рисунок 3) с указанием и определением всех плоскостей и углов, указать стрелками направление главного движения резания, подачи. Привести формулы для определения углов резца. Указать влияние величины каждого угла на эффективность токарной обработки и средние их численные значения.

2.4 Измерить измерительной линейкой или штангенциркулем основные размеры резца (длину резца  $L$ , длину его головки  $l_1$ , длину стержня  $l_2$ , длину главной режущей кромки  $l_3$ , сечение тела резца  $B \times H$ , высоту  $h$  (рисунок 1. м). Результаты занести в таблицу 1 (приложение Б).

2.5 Измерить радиусомером радиус закругления вершины резца.

2.6 Измерить углы резца, используя универсальный угломер, настольный угломер. Результаты измерений занести в таблицу 2 (приложение Б).

*Универсальным угломером* замерить углы в плане: главный  $\varphi$  и вспомогательный  $\varphi_1$ . Измерительную линейку угломера  $b$  приложить к боковой стороне стержня резца, измерительную линейку  $a$  подвести к главной режущей кромке и на шкале угломера получить значение угла  $\varphi$  (рисунок 5). Аналогично измерить вспомогательный угол в плане  $\varphi_1$ . Подсчитать угол при вершине по формуле  $\varepsilon = 180^\circ - (\varphi + \varphi_1)$ .

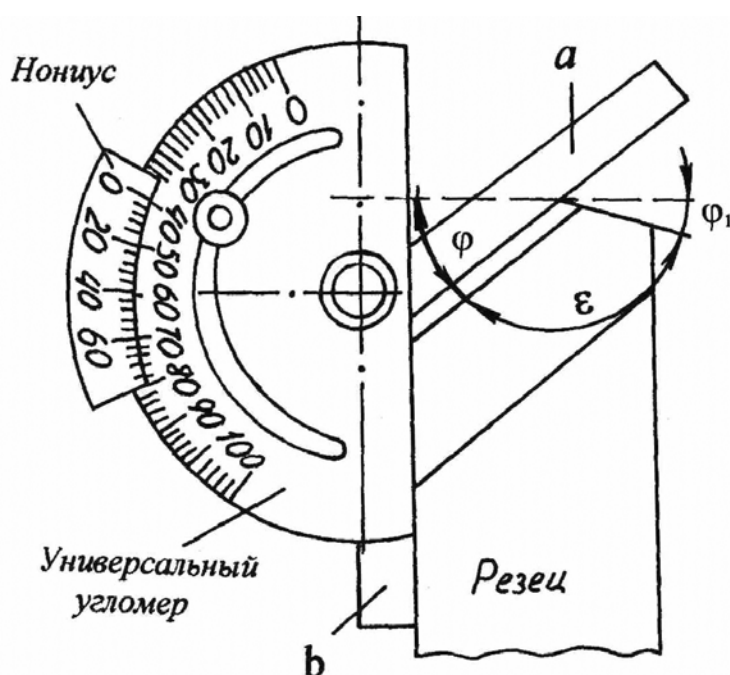


Рисунок 7 – Измерение главного угла в плане универсальным угломером

*Настольным угломером* измерить передние и задние углы (главные и вспомогательные) и угол наклона главной режущей кромки. Для измерения главных – переднего и заднего углов измеритель с линейкой *a* и *в* (рисунок 6, 7) визуально установить в главной секущей плоскости (перпендикулярно проекции главной режущей кромки на плоскость основания). При измерении заднего главного угла  $\alpha$  измерительную линейку *a* прижать к главной задней поверхности резца (рисунок 6) и на шкале угломера *C* прочитать значение угла  $\alpha$ . При измерении главного переднего угла  $\gamma$  измерительную линейку *в* совместить с главной передней поверхностью лезвия резца и на шкале *C* прочитать значение угла  $\gamma$  (рисунок 7).

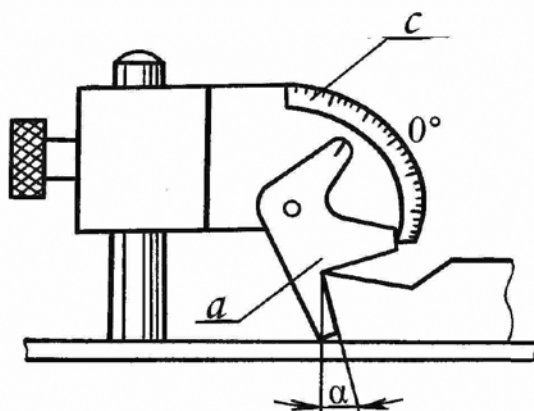


Рисунок 8 – Схема измерения главного заднего угла на настольном угломере

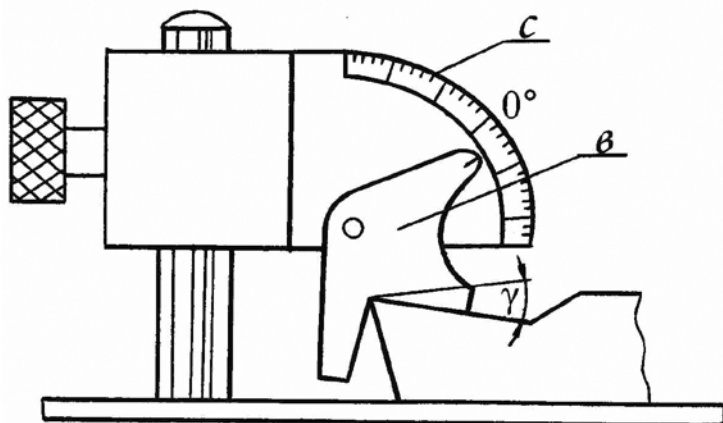


Рисунок 9 – Схема измерения главного переднего угла на настольном угломере

Вспомогательные углы ( $\alpha_1$  и  $\gamma_1$ ) измерить аналогично. В этом случае измеритель установить во вспомогательной секущей плоскости.

При измерении угла наклона главной режущей кромки  $\lambda$  линейку  $b$  измерителя совместить с главной режущей кромкой (рисунок 8) и на шкале  $C$  прочесть значение угла.

Угол резания  $\delta$  и угол заострения  $\beta$  определить соответственно по формулам  $\delta = 90^\circ - \gamma$  и  $\beta = 90^\circ - (\alpha + \gamma)$ .

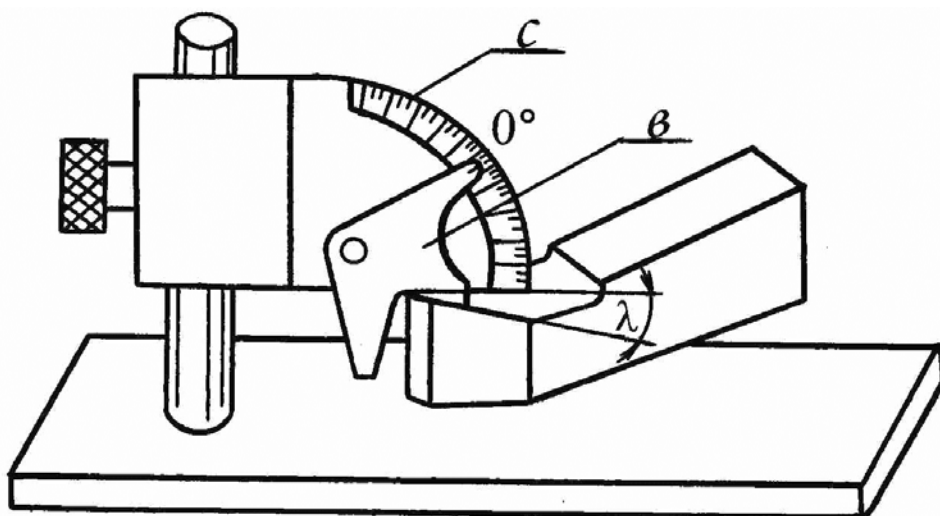


Рисунок 10 – Схема измерения угла наклона главной режущей кромки на настольном угломере

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Характеристика резца (наименование, марка материала режущей части, форма передней поверхности).

3.2 Эскиз резца.

3.3 Схема установки резца.

3.4 Результаты измерений и расчетов основных параметров резца.

### 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1 Обрабатываемая, обработанная поверхности и поверхность резания.

2. Главное движение резания и движение подачи.

- 3 Назовите плоскости для определения углов резца.
- 4 Что называется основной плоскостью?
- 5 Что называется плоскостью резания?
- 6 Угол заострения, главный угол в плане, угол наклона главной режущей кромки, главная задняя поверхность, вершина резца. Определения и обозначения.
- 7 Главный угол, вспомогательный угол в плане, угол резания, вспомогательная задняя поверхность, главная режущая кромка. Определения и обозначения.
- 8 Как влияет на процесс резания увеличение углов  $\alpha$ ,  $\alpha_1$  и  $\gamma$ ?
- 9 Определение переднего угла и угла резания.
- 10 Что определяет угол наклона главной режущей кромки?

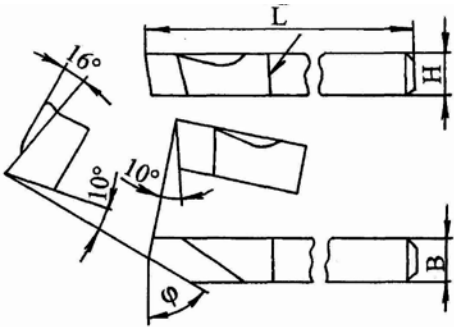
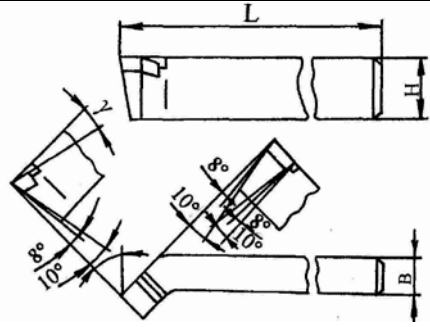
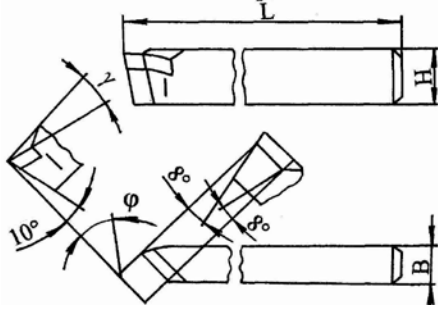
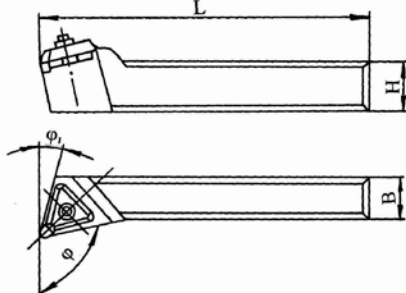
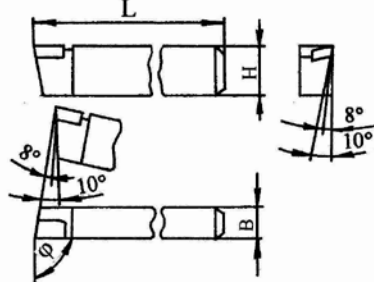
### ЛИТЕРАТУРА

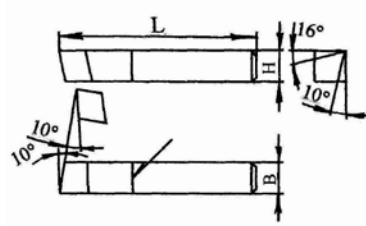
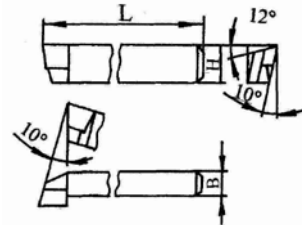
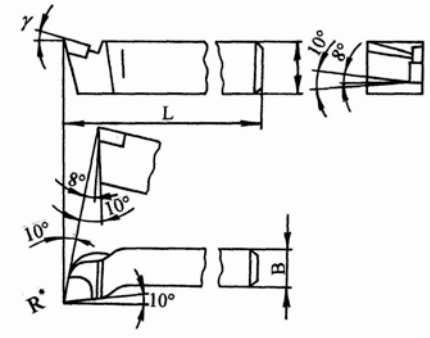
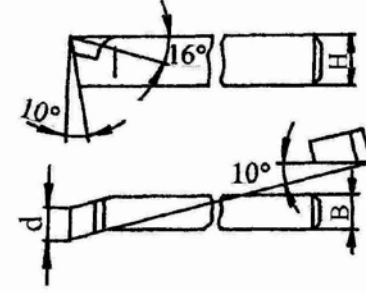
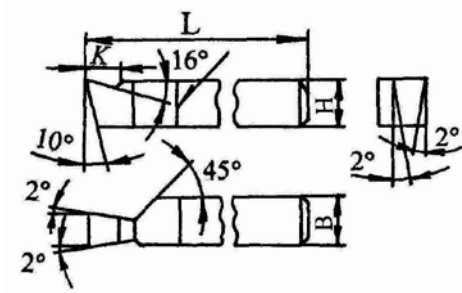
1. Ефремов В. Д., Горохов В. А., Схиртладзе А. Г. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2014
2. Ящерицына П. И. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011
3. Багдасарова Т. А. Основы резания металлов: учеб. Пособие - М.: Академия, 2012
4. А. М. Михальченков, Л. С. Киселева, И. В. Козарез, А. А. Тюрева Практикум по технологии конструкционных материалов. Ч. 2. : Обработка металлов резанием - Брянская ГСХА, 2002
5. Барботько А. И., Масленников А. В. Резание материалов: учеб. пособие для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011
6. ГОСТ 25762-83. Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий. /Введ. 01.07.84. – М.: Изд-во стандартов, 2013

### ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Типы токарных резцов

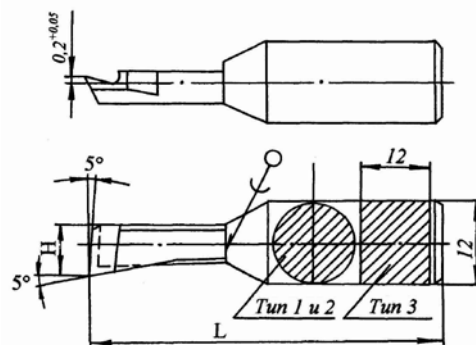
| Наименование резцов,<br>особенности конструкции | Э с к и з |
|---|-----------|
|   |           |

|  |  |
|--|--|
| <p>Резцы токарные проходные прямые для обточки по наружному диаметру (ГОСТ 18869-73)<br/> <math>\varphi = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ</math></p>  |    |
| <p>Резцы токарные проходные отогнутые с <math>\varphi = 45^\circ</math> для обтачивания по наружному диаметру, подрезки торцов, расточки коротких отверстий больших диаметров;<br/> <math>\gamma = 0^\circ</math> или <math>10^\circ</math><br/> (ГОСТ 18877-73)</p> |    |
| <p>Резцы токарные проходные отогнутые для обточки и растачивания отверстий (коротких) большого диаметра (ГОСТ 18868-73)<br/> <math>\gamma = 12^\circ</math> - для обработки хрупких и <math>\gamma = 0^\circ</math> - для обработки вязких материалов</p>            |  |
| <p>Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением пластин ромбической формы.<br/> Точение без удара, подрезка торцов (резцы с <math>\varphi = 95^\circ</math>) на заготовках из закаленных сталей</p>  |  |
| <p>Резцы токарные проходные упорные для обтачивания ступенчатых деталей, подрезки торцов, буртиков;<br/> <math>\gamma = 0^\circ</math> или <math>10^\circ</math><br/> (ГОСТ 18879-73)</p>  |  |

|   |   |
|---|---|
| <p>Резцы токарные проходные упорные для обточки ступенчатых заготовок, подрезки буртиков и торцов (ГОСТ 18870-73)</p> <p><math>\gamma = 12^\circ</math> - для обработки вязких и <math>\gamma = 0^\circ</math> – для обработки хрупких материалов</p> | <p>Тип 1</p>  <p>Тип 2</p>  |
| <p>Резцы токарные подрезные отогнутые для обтачивания ступенчатых деталей с большим отношением длины к диаметру, подрезки торцов, буртиков (ГОСТ 18880-73)</p> <p><math>\gamma = 0^\circ</math> или <math>10^\circ</math></p>                         |    |
| <p>Резцы токарные подрезные торцевые для обработки на проход торцевых поверхностей</p>  |   |
| <p>Резцы токарные прорезные и отрезные (ГОСТ 18874-73)</p> <p>Резцы отрезные – для отрезки заготовок диаметром 10-60 мм</p>   |   |

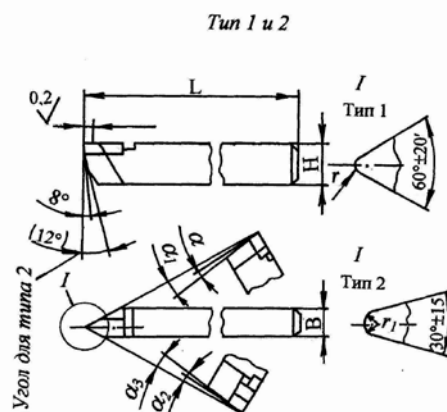
Резцы расточные цельные из твердого сплава со стальным хвостовиком для глухих отверстий (ГОСТ18063-72)

Тип 1 – для координатно-расточных, типы 2 и 3 – для токарных и револьверных станков



Резцы токарные резьбовые (ГОСТ 18885-73)

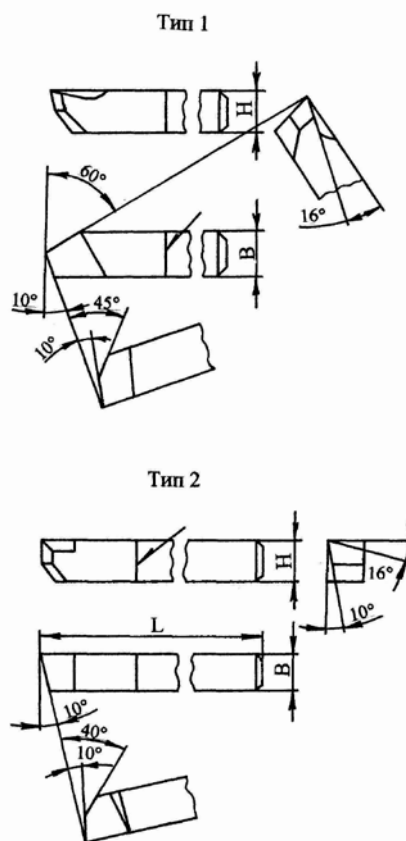
Тип 1 и 2 для нарезания наружных резьб: метрических с шагом 0,5 – 6 мм – тип 1, трапецеидальных с шагом 2 – 24 мм – тип 2



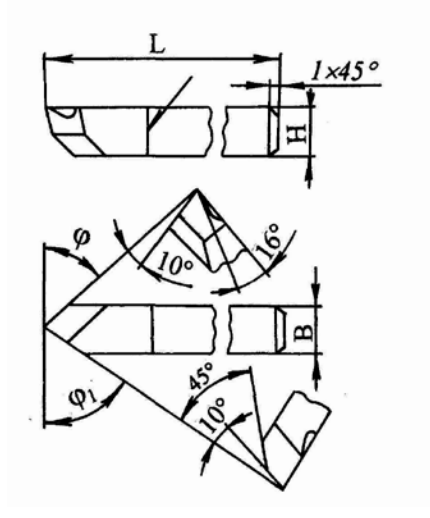
Резцы расточные державочные из быстрорежущей стали (ГОСТ 10044-73).

Тип 1 – проходные прямого крепления для расточки сквозных отверстий,

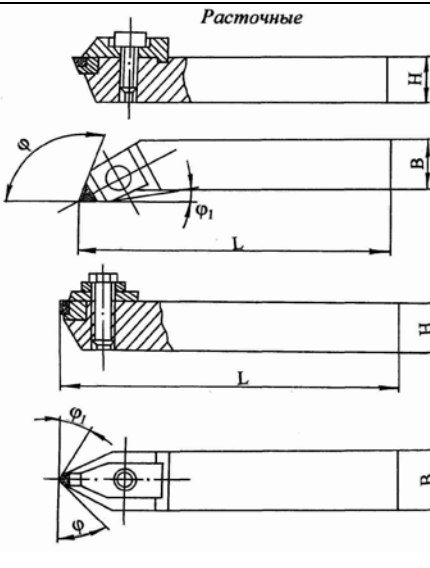
тип 2 – упорные – для расточки прямых и глухих отверстий.



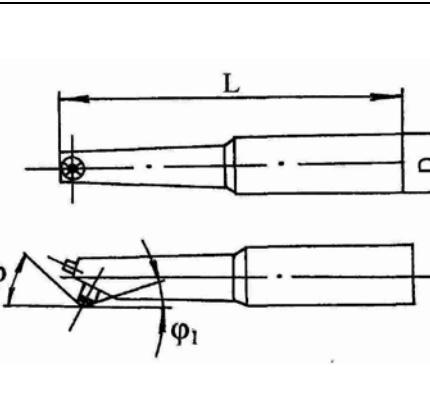
тип 3 ( $\varphi_1 = 5$ )  
 Резцы проходные для косо­го креп­ления под углом  $45^\circ - 5^\circ$ , под уг­лом  $60^\circ$  - тип 4 ( $\varphi_1 = 40^\circ$ )



Резцы токарные сборные проходные ( $\varphi = 45^\circ$ ) или подрезные ( $\varphi = 90^\circ$ ) с механическим креплением перетачиваемой цилиндрической вставки с режущими элементами из компози­тов 01 или 10



Резцы токарные сборные расточные для сквозных отверстий с механиче­ским креплением перетачиваемой цилиндрической вставки с режущими элементами из компози­тов 01 или 10 ( $\varphi = 45^\circ$ )



Резцы токарные перетачиваемые, оснащенные композитами -1 или 10 ( $\varphi = 15; 30; 45; \text{или } 60^\circ$ ). Обточка за­готовок из закаленных сталей и чу­гунов без литейной корки

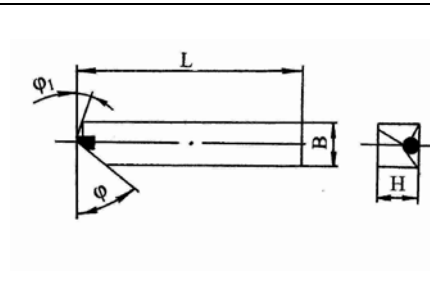




Таблица 1 – Основные размеры резца

| Наименование резца | Длина главной режущей кромки резца $l_3$ , мм | Длина резца $L$ , мм | Длина головки резца $l_1$ , мм | Длина стержня резца $l_2$ , мм | Сечение тела резца $B \times H$ , мм | Высота $h$ , мм |
|--------------------|---|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
|                    |   |                      |                                |                                |                                      |                 |
|                    |   |                      |                                |                                |                                      |                 |
|                    |   |                      |                                |                                |                                      |                 |

Таблица 2 – Результаты измерений углов резца в градусах

| Наименование резца | Углы главной секущей плоскости |         |          |          | Угол вспомогательной секущей плоскости, $\alpha_1$ | Углы в плане |          |            | Угол наклона главной режущей кромки, $\lambda$ |
|--------------------|--------------------------------|---------|----------|----------|--|--------------|----------|------------|--|
|                    | $\alpha$                       | $\beta$ | $\gamma$ | $\delta$ |  | $\phi$       | $\phi_1$ | $\epsilon$ |  |
|                    |                                |         |          |          |  |              |          |            |  |
|                    |                                |         |          |          |  |              |          |            |  |
|                    |                                |         |          |          |  |              |          |            |  |

# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ГЛАВНУЮ СОСТАВЛЯЮЩУЮ СИЛУ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

*Цель работы:* Ознакомиться с методикой измерения составляющей силы резания при точении и применяемыми приборами; исследовать влияние глубины резания и подачи на величину касательной составляющей силы резания; обработать результаты измерений и вывести формулу для определения касательной составляющей силы резания (в зависимости от глубины резания и подачи); сравнить полученную формулу с формулой (формулами), имеющейся в справочной литературе.

*Применяемое оборудование, приборы, детали:* токарно-винторезный станок 1А62 (16К20), однокомпонентный динамометр ДК-1, специальное приспособление для тарировки, резец проходной из быстрорежущей стали Р18, заготовка диаметром 70...100 мм из стали Ст.3, стали 45 или серого чугуна.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Силы резания при точении.* Знание сил резания необходимо для определения мощности резания, расчета на прочность инструмента, узлов станка, приспособлений и расчета на жесткость технологической системы СПИД.

Система сил, действующих при точении на резец, может быть приведена к одной силе  $R$  (рисунок 1), называемой *равнодействующей силой резания*. Силу  $R$  можно разложить на три составляющие:  $P_z$  – *главную* (или касательную) составляющую силы резания (собственно силу резания), действующую в направлении главного движения по касательной к поверхности резания;  $P_y$  – *радиальную* составляющую силы резания, направленную в горизонтальной плоскости по радиусу обрабатываемой детали;  $P_x$  – *силу подачи* (или осевую силу), направленную в сторону, обратную направлению подачи. Указанные силы находятся примерно в таком соотношении:  $P_z : P_y : P_x = 1 : (0,55...0,4) : (0,45...0,25)$ .

От силы  $P_z$  зависит мощность, затрачиваемая на процесс резания; по максимальной величине этой силы рассчитывают на прочность детали и сборочные единицы коробки скоростей станка, а также прочность резца.

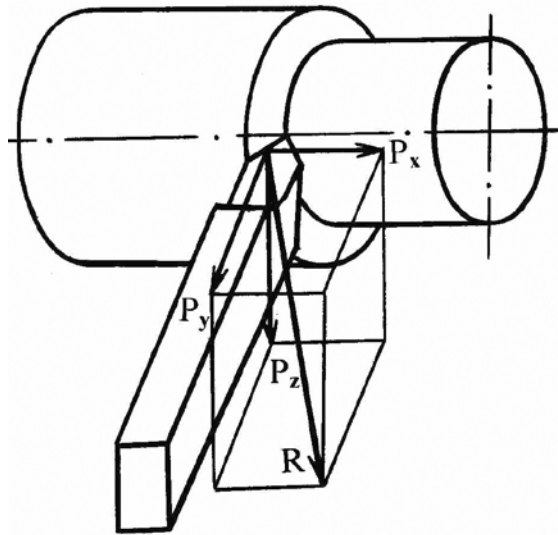


Рисунок 1 – Составляющие силы резания при точении

Сила  $P_y$  вызывает изгиб обрабатываемой детали и способствует появлению вибрации; по максимальной величине этой силы рассчитывают на прочность механизм поперечной подачи, а также проводят расчет технической системы на жесткость.

Сила  $P_x$  действует на механизм подачи токарного станка; по максимальной величине этой силы рассчитывают на прочность механизм продольной подачи.

Равнодействующая сила  $\bar{R}$  представляет собой геометрическую сумму трех составляющих сил:  $\bar{R} = \bar{P}_z + \bar{P}_y + \bar{P}_x$ , модуль  $|\bar{R}| = \sqrt{P_z^2 + P_y^2 + P_x^2}$  или  $R \cong 1,1 P_z$ .

При наружном точении и растачивании резцами из быстрорежущей стали значение силы  $P_z$ ,  $H$  определяют по формуле:

$$P_z = 10 C_p t s^{0,75},$$

где  $C_p$  – коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала и условия обработки. При обработке стали ( $\sigma_b = 750$  МПа)  $C_p = 200$ . Ковкого чугуна (НВ 1500)  $C_p = 100$ , серого чугуна (НВ 1900)  $C_p = 114$  (при  $\gamma = 20^\circ$  и  $\varphi = 45^\circ$ )

1.1 *Приборы для определения сил резания.* Для измерения составляющих сил резания и изучения влияния на них различных факторов применяют специальные приборы – динамометры. Динамометры в зависимости от количества измеряемых составляющих бывают одно - (например, для силы  $P_z$ ), двух- и трехкомпонентные ( $P_z$ ,  $P_x$ ,  $P_y$ ). По принципу действия динамометры подразделяют на механические, электрические и гидравлические.

*Однокомпонентные динамометры*, предназначены для определения касательной составляющей силы резания  $P_z$  (в пределах до 6000 Н) при точении. Динамометр ДК-1 состоит из корпуса 3, от которого отходят два упругих торсионных бруска 2, переходящих в люльку 1, к которой двумя болтами крепится резец. К люльке 1 одним концом приварена длинная планка 4, второй конец которой упирается в промежуточный стержень 5 демпфирующего устройства. Измерительный штифт индикатора 6 упирается в промежуточный стержень 5. Индикатор 6 защищен от стружки корпусом 7. Динамометр устанавливают на верхних салазках суппорта токарного станка, предварительно сняв резцедержатель, и закрепляют болтом, проходящим через отверстие А в корпусе 3 динамометра.

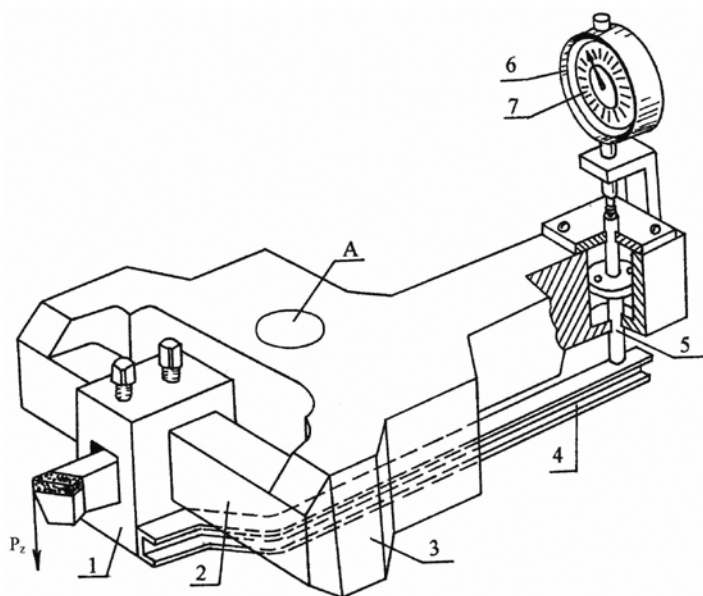


Рисунок 2 – Схема однокомпонентного динамометра ДК-1

При точении под воздействием касательной составляющей силы резания  $P_z$ , действующей на вершину резца, торсионные бруски 2 упруго деформируются (закручиваются), вследствие чего свободный конец стержня 4 поднимается вверх, вызывая, через промежуточный стержень 5, перемещение штифта индикатора. Предварительно динамометр тарируют, т.е. устанавливают зависимость между силой  $P_z$  и показаниями индикатора 6. Для устранения появления возможных колебаний конца планки 4 в динамометре предусмотрено демпфирующее (сглаживающее) устройство, состоящее из поршня с двумя малыми отверстиями, насаженного на стержень 5 и расположенного в закрытом цилиндре корпуса. Цилиндр заполнен вязким маслом.

1.2 *Обработка измерений.* Большинство основных формул теории резания металлов, полученных математической обработкой экспериментальных данных, имеют вид степенных зависимостей. Зависимость можно получить графическим методом или аналитически, с использованием способа наименьших квадратов. Графический метод более прост, но менее точен, чем аналитический.

При графическом методе данные экспериментов откладывают в логарифмической системе координат и по углу наклона прямых к оси абсцисс и отрезку, отсекаемому на оси ординат, находят степенную функцию. Например, требуется установить зависимость силы  $P_Z$  от глубины резания  $t$  и подачи  $s$  при обработке стали. Для этого проводят три серии опытов по измерению силы резания; в первой серии изменяют глубину резания  $t$  при постоянной подаче  $s$  и скорости  $v$ , во второй – изменяют подачу  $s$  при постоянной глубине  $t$  и скорости  $v$ , в третьей – изменяют скорость при постоянной глубине  $t$  и подаче  $s$ . Все серии опытов проводят резцами одинаковой геометрии при других одинаковых условиях.

Зависимости силы  $P_Z$  от  $t$ ,  $s$  и  $v$  в логарифмических осях координат подчиняются уравнению прямой линии, не проходящей через начало координат (рисунок 3).

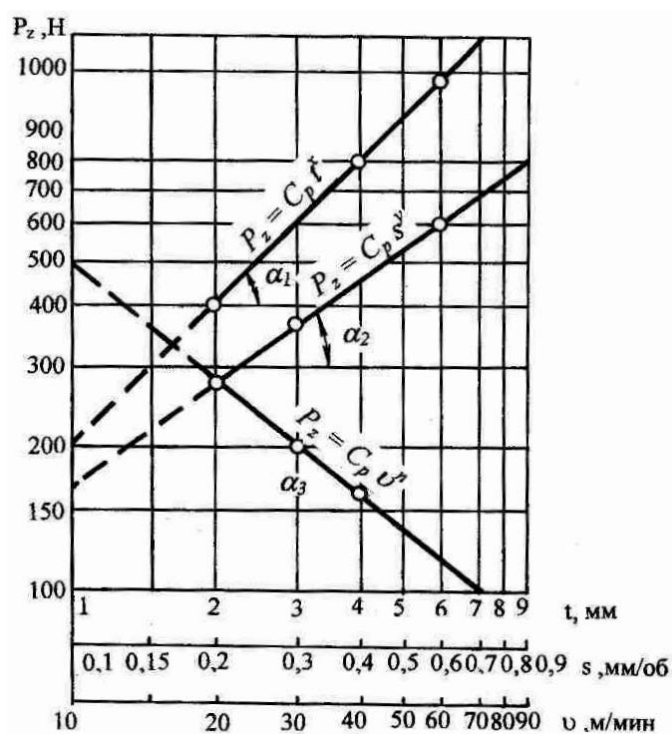


Рисунок 3 – Зависимость главной составляющей силы резания от глубины резания, подачи и скорости в логарифмических координатах

$$\lg P_z = \lg C_{p1} + x \lg t$$

$$\lg P_z = \lg C_{p2} + y \lg s,$$

$$\lg P_z = \lg C_{p3} + n \lg v,$$

где  $x, y, n$  – тангенсы углов наклона прямых к осям  $t, s$  и  $v$ ;

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = x; \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = y, \quad \operatorname{tg} \alpha_3 = n.$$

Из логарифмических уравнений следует, что  $P_z = C_{p1} t^x$ ,

$$P_z = C_{p2} s^y, P_z = C_{p3} v^n.$$

Коэффициенты  $C_{p1}, C_{p2}, C_{p3}$  соответственно равны силе  $P_z$  при аргументе  $t = 1, s = 1, v = 1$ .

В общем, виде

$$P_z = C_p t^x s^y v^n,$$

где  $C_p$  – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и условий обработки;

$x, y, n$  – показатели степени.

Значение коэффициента  $C_p$  может быть найдено решением  $n$  уравнения

$$C_p = P_z / (t^x s^y v^n).$$

В этом уравнении величины  $x, y, n$  определены ранее, а значения  $P_z$  берут из экспериментальных данных, полученных при заданных значениях  $t, s, v$ . Коэффициент является среднеарифметическим значением величины  $C_p', C_p'', C_p''', \dots, C_p^n$ , то есть:

$$C_p = (C_p' + C_p'' + C_p''' + \dots + C_p^n) / n.$$

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 Установить на токарно-винторезном станке динамометр ДК-1 и протарировать его.

Динамометр 4 тарируют (рисунок 4) специальным приспособлением 1 (установленным в трехкулачковом патроне и пиноли задней бабки) и контрольной скобой 2 с индикатором 7, цена деления которого заранее известна. В люльке 8 динамометра ДК-1 устанавливают специальную державку 3, имитирующую резец (имеет размеры поперечного сечения, одинаковые с резцом; на расстоянии, равным вылету резца, в державке сделано сферическое углубление под шарик диаметром 8 мм). Державку 3 через тарировочную скобу 2 нагружают силой, создаваемой завинчиванием болта 6 в приспособлении 1.

По отклонению стрелок индикаторов динамометра 5 и тарировочной скобы 2 определяют масштаб шкалы индикатора динамометра, что дает возможность по показаниям индикатора динамометра определить величину силы  $P_z$ .

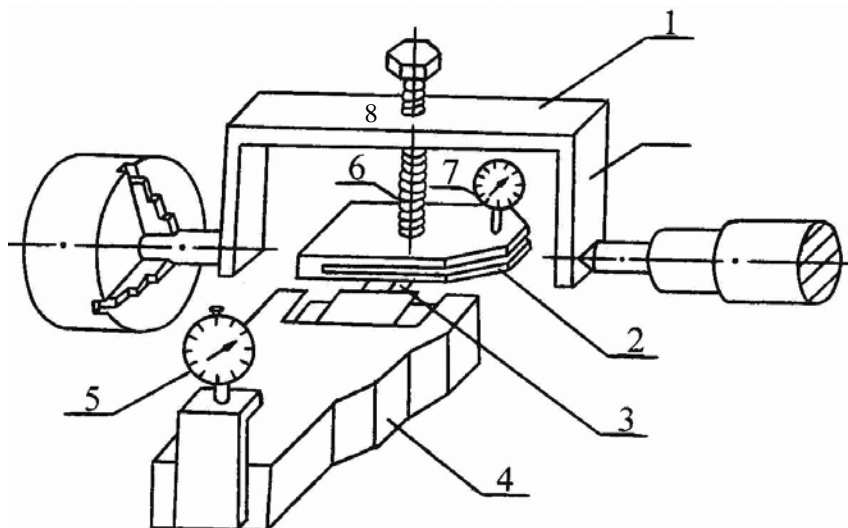


Рисунок 4 – Схема тарирования динамометра ДК-1

2.2 Снять тарировочное приспособление со станка (или тарировку динамометра вести на одном токарном станке, а на другом станке – исследование) и установить в патроне и поджать центром задней бабки цилиндрическую заготовку диаметром 70...100 мм из стали Ст.3, стали 45 или серого чугуна.

2.3 Установить резец в динамометр ДК-1 с вылетом, равным расстоянию от точки приложения силы при тарировании динамометра до торца люльки. Проходной резец из быстрорежущей стали P18 может иметь следующую геометрию:  $\alpha = 10^\circ$ ,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 15^\circ$ ,  $\lambda = 0$ ,  $r = 2$  мм

2.4 Обточить заготовку при различных режимах резания и определить соответ-

ствующие значения главной составляющей силы резания  $P_Z$ :

а) При определении влияния глубины резания на силу  $P_Z$  заготовку точить при постоянных подаче  $s = 0,3$  мм/об,  $v = 12$  м/мин и переменной глубине резания  $t = 1; 1,5; 2,5$  мм;

б) для выявления влияния подачи  $s$  на силу  $P_Z$  заготовку точить при постоянной глубине резания  $t = 1$  мм, скорости  $v = 12$  м/мин и переменной подаче  $s = 0,1; 0,3; 0,6; 1$  мм/об.;

в) для выявления влияния скорости  $v$  резания на  $P_Z$  заготовку точить при постоянной глубине  $t = 1$  мм, подаче  $s = 0,6$  мм/об и переменной скорости  $v = 12; 20; 42$  м/мин.

2.5 Результаты экспериментов занести в протокол наблюдений (протокол имеет форму приложения 1). Подсчитать среднее давление (удельную силу) по формуле:

$$P_{cp} = P_z / f = P_z / (t s),$$

где  $f$  – площадь среза, мм.<sup>2</sup>

2.6 Построить в логарифмической системе координат графики зависимостей силы  $P_Z$  от глубины резания  $t$ , от подачи  $s$  и от скорости  $v$ .

На основании ранее изложенного метода обработки экспериментальных данных определить значение коэффициента  $C_p$ . Тангенсы углов  $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3$  определить из графиков.

При отсутствии динамометра исходные данные для вывода формулы  $P_z = 9,81 C_p t^x s^y v^n$ ,  $N$  и определения коэффициента  $C_p$  задаются по вариантам преподавателем

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

В содержании отчета необходимо включить протокол измерений; графики зависимости главной составляющей силы резания  $P_Z$  при точении от глубины  $t$ , подачи  $s$  и скорости  $v$  (в логарифмических координатах); расчеты и формулу  $P_z = 9,81 C_p t^x s^y v^n$ , значения  $C_p$ .



#### 4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Перечислить силы резания при точении и изобразить направления их действия.
- 2 Что зависит от силы  $P_Z$  и какие расчеты производят с помощью этой силы?
- 3 Что вызывает сила  $P_Y$  и какие расчеты производят с помощью этой силы?
- 4 На что действует сила  $P_X$  и какие расчеты производят с помощью этой силы?
- 5 Дать краткое описание динамометра ДК-1; его назначение и принцип действия.
- 6 Расскажите последовательность тарировки динамометра ДК-1.
- 7 Графический метод обработки экспериментальных данных при измерении силы  $P_Z$ .
- 8 Напишите формулу для определения силы резания  $P_Z$  и назовите параметры, входящие в нее.
- 9 Какие три серии опытов надо провести, чтобы найти зависимость силы  $P_Z$  от глубины, подачи и скорости?
- 10 Как определить, пользуясь построенным графиком, показатели степени  $x$ ,  $y$  и  $n$ ?
- 11 Для чего при графическом методе обработки экспериментальных данных применяются логарифмические координаты? Какой вид имеет большинство формул теории резания?

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов В. Д., Горохов В. А., Схиртладзе А. Г. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2014
2. Ящерицына П. И. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011
3. Багдасарова Т. А. Основы резания металлов: учеб. Пособие - М.: Академия, 2012
4. А. М. Михальченков, Л. С. Киселева, И. В. Козарез, А. А. Тюрева Практикум по технологии конструкционных материалов. Ч. 2. : Обработка металлов резанием - Брянская ГСХА, 2002
5. Барботько А. И., Масленников А. В. Резание материалов: учеб. пособие для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

| № варианта | $t$ , мм | $s$ , мм/об | $v$ , м/мин | $P_z$ , Н |
|------------|----------|-------------|-------------|-----------|
| 1          | 0,1      | 0,2         | 90          | 300       |
|            | 0,2      | 0,2         | 90          | 400       |
|            | 0,5      | 0,2         | 90          | 600       |
|            | 0,1      | 0,2         | 90          | 300       |
|            | 0,1      | 0,3         | 90          | 400       |
|            | 0,1      | 0,5         | 90          | 600       |
|            | 0,1      | 0,2         | 10          | 400       |
|            | 0,1      | 0,2         | 30          | 350       |
|            | 0,1      | 0,2         | 90          | 300       |
| 2          | 0,1      | 0,15        | 90          | 200       |
|            | 0,2      | 0,15        | 90          | 250       |
|            | 0,3      | 0,15        | 90          | 300       |
|            | 0,1      | 0,15        | 90          | 200       |
|            | 0,1      | 0,25        | 90          | 250       |
|            | 0,1      | 0,5         | 90          | 300       |
|            | 0,1      | 0,15        | 10          | 300       |
|            | 0,1      | 0,15        | 25          | 250       |
|            | 0,1      | 0,15        | 90          | 200       |
| 3          | 0,1      | 0,1         | 40          | 350       |
|            | 0,2      | 0,1         | 40          | 480       |
|            | 0,5      | 0,1         | 40          | 700       |
|            | 0,1      | 0,1         | 40          | 350       |
|            | 0,1      | 0,14        | 40          | 400       |
|            | 0,1      | 0,18        | 40          | 450       |
|            | 0,1      | 0,1         | 10          | 475       |
|            | 0,1      | 0,1         | 20          | 400       |
|            | 0,1      | 0,1         | 40          | 350       |
| 4          | 0,1      | 0,1         | 10          | 180       |
|            | 0,2      | 0,1         | 10          | 200       |
|            | 0,7      | 0,1         | 10          | 250       |
|            | 0,1      | 0,1         | 10          | 180       |
|            | 0,1      | 0,25        | 10          | 250       |
|            | 0,1      | 0,5         | 10          | 300       |
|            | 0,1      | 0,1         | 10          | 180       |
|            | 0,1      | 0,1         | 20          | 160       |
|            | 0,1      | 0,1         | 45          | 140       |
| 5          | 0,1      | 0,2         | 20          | 400       |
|            | 0,3      | 0,2         | 20          | 500       |
|            | 0,5      | 0,2         | 20          | 535       |
|            | 0,1      | 0,2         | 20          | 400       |
|            | 0,1      | 0,35        | 20          | 450       |
|            | 0,1      | 0,6         | 20          | 500       |
|            | 0,1      | 0,2         | 20          | 400       |
|            | 0,1      | 0,2         | 45          | 360       |
|            | 0,1      | 0,2         | 50          | 350       |

|    |      |      |    |     |
|----|------|------|----|-----|
| 6  | 0,12 | 0,22 | 92 | 310 |
|    | 0,22 | 0,22 | 92 | 410 |
|    | 0,52 | 0,22 | 92 | 610 |
|    | 0,12 | 0,22 | 92 | 310 |
|    | 0,12 | 0,32 | 92 | 410 |
|    | 0,12 | 0,52 | 92 | 610 |
|    | 0,12 | 0,22 | 12 | 410 |
|    | 0,12 | 0,22 | 52 | 360 |
|    | 0,12 | 0,22 | 92 | 310 |
| 7  | 0,12 | 0,17 | 92 | 210 |
|    | 0,2  | 0,17 | 92 | 260 |
|    | 0,3  | 0,17 | 92 | 310 |
|    | 0,12 | 0,17 | 92 | 210 |
|    | 0,12 | 0,27 | 92 | 240 |
|    | 0,12 | 0,52 | 92 | 310 |
|    | 0,12 | 0,17 | 12 | 310 |
|    | 0,12 | 0,17 | 27 | 260 |
|    | 0,12 | 0,17 | 92 | 210 |
| 8  | 0,11 | 0,11 | 42 | 360 |
|    | 0,21 | 0,11 | 42 | 490 |
|    | 0,56 | 0,11 | 42 | 710 |
|    | 0,11 | 0,11 | 42 | 360 |
|    | 0,11 | 0,15 | 42 | 410 |
|    | 0,11 | 0,19 | 42 | 460 |
|    | 0,11 | 0,11 | 12 | 485 |
|    | 0,11 | 0,11 | 20 | 410 |
|    | 0,11 | 0,11 | 42 | 360 |
| 9  | 0,13 | 0,13 | 13 | 190 |
|    | 0,23 | 0,13 | 13 | 210 |
|    | 0,73 | 0,13 | 13 | 260 |
|    | 0,13 | 0,13 | 13 | 190 |
|    | 0,13 | 0,28 | 13 | 250 |
|    | 0,13 | 0,53 | 13 | 310 |
|    | 0,13 | 0,13 | 13 | 190 |
|    | 0,13 | 0,13 | 23 | 170 |
|    | 0,13 | 0,13 | 48 | 150 |
| 10 | 0,11 | 0,21 | 22 | 410 |
|    | 0,31 | 0,21 | 22 | 510 |
|    | 0,51 | 0,21 | 22 | 545 |
|    | 0,11 | 0,21 | 22 | 410 |
|    | 0,11 | 0,36 | 22 | 460 |
|    | 0,11 | 0,61 | 22 | 510 |
|    | 0,11 | 0,21 | 22 | 410 |
|    | 0,11 | 0,21 | 47 | 370 |
|    | 0,11 | 0,21 | 52 | 360 |

|    |      |      |    |     |
|----|------|------|----|-----|
| 11 | 0,12 | 0,22 | 21 | 415 |
|    | 0,32 | 0,22 | 21 | 490 |
|    | 0,52 | 0,22 | 21 | 550 |
|    | 0,12 | 0,22 | 21 | 415 |
|    | 0,12 | 0,37 | 21 | 465 |
|    | 0,12 | 0,62 | 21 | 515 |
|    | 0,12 | 0,22 | 21 | 415 |
|    | 0,12 | 0,22 | 46 | 375 |
|    | 0,12 | 0,22 | 51 | 365 |
| 12 | 0,1  | 0,1  | 10 | 500 |
|    | 0,25 | 0,1  | 10 | 600 |
|    | 0,5  | 0,1  | 10 | 700 |
|    | 0,1  | 0,1  | 10 | 500 |
|    | 0,1  | 0,2  | 10 | 570 |
|    | 0,1  | 0,6  | 10 | 900 |
|    | 0,1  | 0,1  | 10 | 500 |
|    | 0,1  | 0,1  | 20 | 425 |
|    | 0,1  | 0,1  | 60 | 300 |
| 13 | 0,1  | 0,2  | 35 | 385 |
|    | 0,3  | 0,2  | 35 | 520 |
|    | 0,5  | 0,2  | 35 | 600 |
|    | 0,1  | 0,2  | 35 | 385 |
|    | 0,1  | 0,25 | 35 | 430 |
|    | 0,1  | 0,55 | 35 | 675 |
|    | 0,1  | 0,2  | 35 | 385 |
|    | 0,1  | 0,2  | 40 | 320 |
|    | 0,1  | 0,2  | 50 | 235 |
| 14 | 0,12 | 0,22 | 45 | 635 |
|    | 0,22 | 0,22 | 45 | 550 |
|    | 0,52 | 0,22 | 45 | 910 |
|    | 0,12 | 0,22 | 45 | 635 |
|    | 0,12 | 0,32 | 45 | 550 |
|    | 0,12 | 0,52 | 45 | 910 |
|    | 0,12 | 0,22 | 15 | 350 |
|    | 0,12 | 0,22 | 25 | 485 |
|    | 0,12 | 0,22 | 45 | 235 |
| 15 | 0,11 | 0,17 | 92 | 310 |
|    | 0,2  | 0,17 | 92 | 380 |
|    | 0,3  | 0,17 | 92 | 410 |
|    | 0,11 | 0,17 | 92 | 310 |
|    | 0,11 | 0,27 | 92 | 360 |
|    | 0,11 | 0,52 | 92 | 410 |
|    | 0,11 | 0,17 | 12 | 375 |
|    | 0,11 | 0,17 | 27 | 360 |
|    | 0,11 | 0,17 | 92 | 310 |

# УСТРОЙСТВО И КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА

*Цель работы:* Ознакомиться с общим видом токарно-винторезного станка. Изучить назначение всех кнопок и рукояток управления. Изучить назначение и действие всех механизмов станка: механизма подачи, блокировочных устройств, множительного механизма, механизма перебора, механизмов фартука, звена увеличения шага нарезаемой резьбы, гитары сменных зубчатых колес, механизма крепления и перемещения задней бабки, устройств смазки. Научиться составлять кинематические цепи для получения различных частот вращения шпинделя и уравнений кинематического баланса при нарезании различных резьб.

*Применяемое оборудование, приспособления, инструмент, наглядные пособия:* Универсальный токарно-винторезный станок. Комплект гаечных ключей. Приспособления и инструмент. Плакат «Кинематическая схема токарно-винторезного станка».

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Токарно-винторезный станок модели 16K20* предназначен для обработки наружных, внутренних, цилиндрических, конических, фасонных и торцевых поверхностей, для нарезания различных резьб: метрических, дюймовых, модульных и специальных.

*Основные части станка* (рисунок 1 ): ОС – основание; СТ – станина; КП – коробка подач; КС – коробка скоростей; ЭШ – электросилового шкафа; ЛТ – люнет; СП – суппорт; ЗБ – задняя бабка.

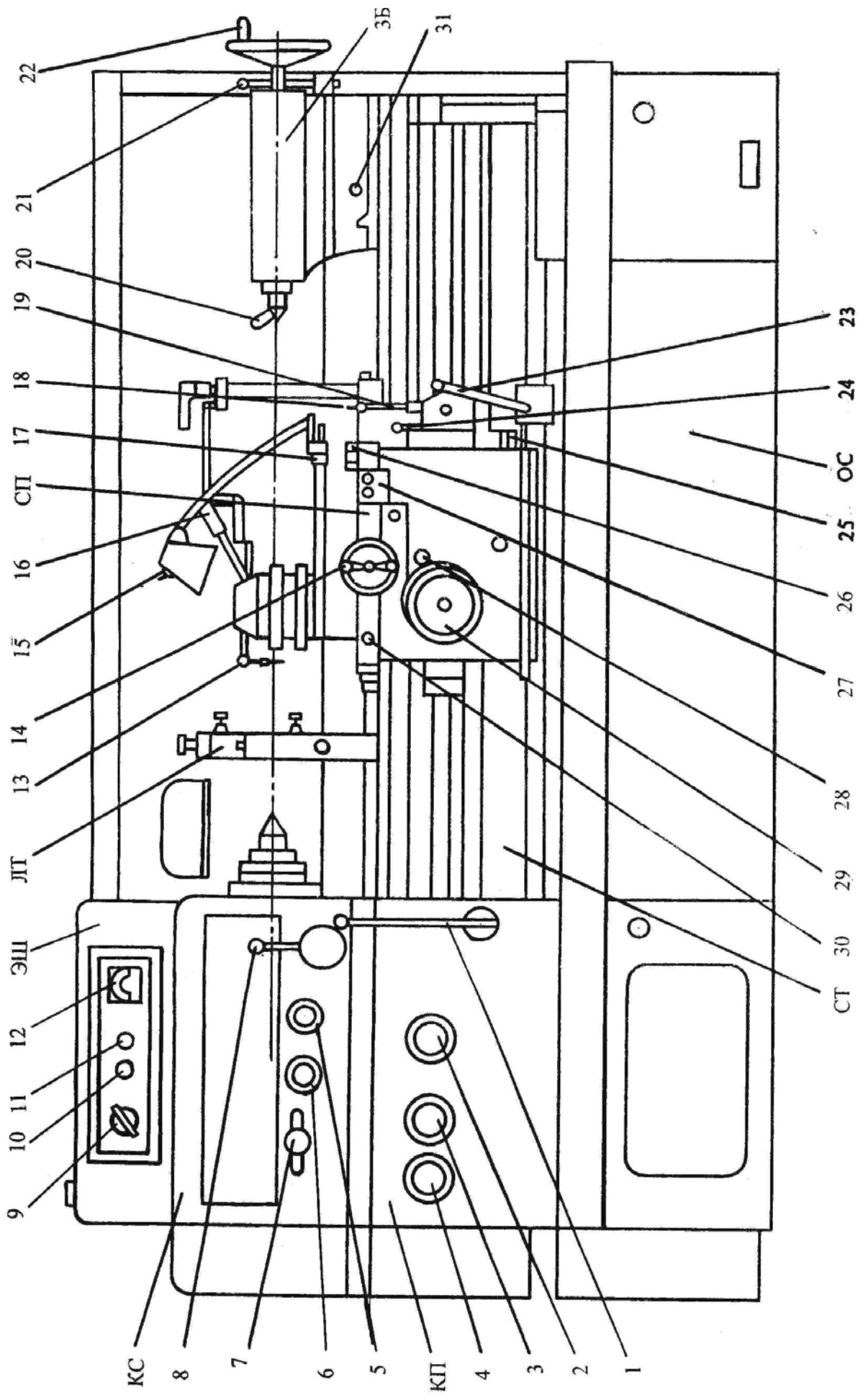


Рисунок 1 – Основные части и органы управления токарно-винторезного станка модели

*Органы управления:*

- 1 – рукоятка управления фрикционной муфтой главного привода (сблокирована с рукояткой 23);
- 2 – рукоятка для соединения гитары и ходового винта напрямую;
- 3 – рукоятка установки вида работ: подач и типа нарезаемой резьбы;
- 4 – рукоятка установки размера подачи и шага резьбы;
- 5 – рукоятка установки правой и левой резьбы;
- 6 – рукоятка установки нормального, увеличенного шага резьбы и положения при делении многозаходных резьб;
- 7 – рукоятка установки частоты вращения шпинделя;
- 8 – рукоятка установки диапазона частоты вращения шпинделя;
- 9 – вводный автоматический выключатель;
- 10 – сигнальная лампа;
- 11 – выключатель электронасоса подачи охлаждающей жидкости;
- 12 – указатель нагрузки станка;
- 13 – регулируемое сопло подачи охлаждающей жидкости;
- 14 – рукоятка ручного перемещения поперечных салазок суппорта;
- 15 – выключатель лампы местного освещения;
- 16 – рукоятка поворота и закрепления индексируемой резцовых салазок суппорта;
- 17 – рукоятка ручного перемещения резцовых салазок суппорта;
- 18 – кнопка выключения электродвигателя привода быстрых ходов каретки и поперечных салазок суппорта;
- 19 – рукоятка управления механическими перемещениями каретки и поперечных салазок суппорта;
- 20 – рукоятка зажима пиноли задней бабки;
- 21 – рукоятка крепления задней бабки к станине;
- 22 – маховик перемещения пиноли задней бабки;
- 23 – рукоятка управления фрикционной муфтой главного привода (сблокирована с рукояткой 1);
- 24 – рукоятка включения и выключения маточной гайки ходового винта;
- 25 – рукоятка включения подачи;
- 26 – болт закрепления каретки на станине;
- 27 – кнопочная станция включения и выключения электродвигателя главного привода;
- 28 – рукоятка включения и выключения реечной шестерни;
- 29 – маховик ручного перемещения каретки;
- 30 – кнопка золотника смазки направляющих каретки и поперечных салазок суппорта;
- 31 – винты перемещения корпуса задней бабки в поперечном направлении.

*Техническая характеристика токарно-винторезного  
станка модели 16К20:*

|  |             |
|--|-------------|
| Наибольший диаметр заготовки, устанавливаемой над станиной, мм ..... | 400         |
| Расстояние между центрами, мм.....                                   | 710, 1000   |
| .....  | 1400, 2000  |
| Наибольший диаметр обрабатываемого прутка, мм ....                   | 50          |
| Пределы частот вращения шпинделя, об/мин.....                        | 12,5...1600 |
| Число продольных и поперечных подач .....                            | 24          |
| Пределы подач, мм/об:  |             |
| метрических, мм .....  | (0,5..112)π |
| дюймовых, ниток на 1" .....  | 56...0,5    |
| модульных, мм .....  | (0,5..112)π |
| питчевых, питч .....   | 56...0,5    |

Кинематическая схема токарно-винторезного станка представлена на рисунке 2.

*Главное движение.* Конечные звенья: вал электродвигателя М1 мощностью  $N = 10$  кВт и частотой вращения  $n_{эл} = 1460$  об/мин – шпиндель с заготовкой ( $n_{эл} \rightarrow n_{шп}$ ) без перебора.

$$1460 \frac{148}{268} 0,985 \frac{56}{34} \left( \text{или} \frac{51}{39} \right) \frac{29}{47} \left( \text{или} \frac{21}{55}, \text{или} \frac{38}{38} \right)$$

$$\frac{60}{48} \left( \text{или} \frac{30}{60} \right) = n_{шп}$$

$$z_1 = 2 \cdot 3 \cdot 2 = 12,$$

где  $z_1$  – число ступеней частоты вращения шпинделя;

с перебором

$$1460 \frac{148}{268} 0,985 \frac{56}{34} \left( \text{или} \frac{51}{39} \right) \frac{29}{47} \left( \text{или} \frac{21}{55}, \text{или} \frac{38}{38} \right)$$

$$\frac{45}{45} \left( \text{или} \frac{15}{60} \right) \frac{18}{72} \frac{30}{60} = n_{шп}$$

$$z_2 = 2 \cdot 3 \cdot 2 = 12,$$

$$z_{общ} = z_1 + z_2 = 12 + 12 = 24, z_{раб} = z_{общ} - 2 = 22.$$



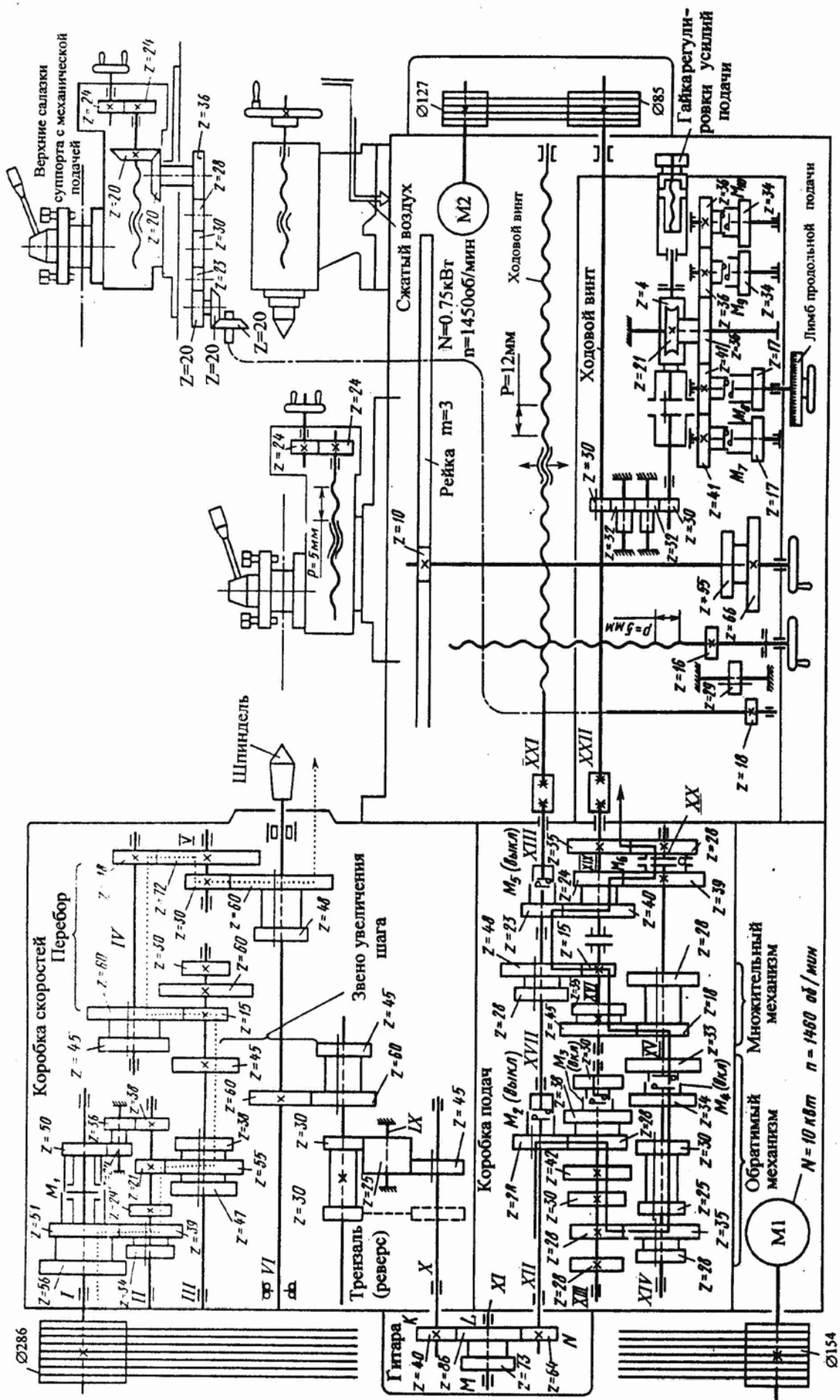


Рисунок 2 - Кинематическая схема токарно-винторезного станка модели

Две ступени совпадают:  $n_{ин} = 500$  и  $n_{ин} = 630$  об/мин, т. е могут быть получены двумя кинематическими цепями.

*Перебор* – устройство, которое уменьшает частоту вращения шпинделя.

Передаточные отношения перебора определяют:

если двойной блок на шпинделе передвинуть:

влево, то 
$$i_{1пер} = \frac{30}{60} = \frac{1}{2},$$

вправо 
$$i_{2пер} = \frac{45}{45} \frac{18}{72} \frac{30}{60} = \frac{1}{8},$$

$$i_{3пер} = \frac{15}{60} \frac{18}{72} \frac{30}{60} = \frac{1}{32}.$$

Для включения обратного вращения шпинделя с помощью рукояток 1 или 23 (см. рисунок 1) включают в работу правую половину фрикционной муфты  $M_1$  на первом валу коробки скоростей. При этом частота обратного вращения шпинделя больше частоты прямого вращения в 1,3 или 1,6 раза.

*Движение подач.* Продольная подача. Конечные звенья: *шпиндель с заготовкой – реечное колесо.* Расчетные перемещения конечных звеньев имеют вид: 1 оборот шпинделя  $\rightarrow S_{пр}$ .

Уравнение кинематического баланса

$$1 \frac{60}{60} \frac{30}{45} \frac{40}{86} \frac{86}{64} \frac{28}{28} \frac{42}{30} \left( \text{или} \frac{30}{25}, \text{или} \frac{28}{35}, \text{или} \frac{28}{28} \right) \\ \frac{18}{45} \left( \text{или} \frac{28}{35} \right) \frac{35}{28} \left( \text{или} \frac{15}{48} \right) \frac{23}{40} \frac{24}{39} \frac{28}{35} \frac{30}{32} \frac{32}{32} \frac{32}{30} \frac{4}{21} \frac{36}{41} \frac{17}{66} \times$$

$$\times 3,14 \times 3 \times 10 = S_{пр};$$

число ступеней подач  $z = 4 \cdot 2 \cdot 2 = 16$ .

Количество подач суппорта может быть увеличено за счет переключения двойного блока зубчатых колес на шпинделе станка в одно из двух положений. При этом

зубчатое колесо ( $z = 60$ ) на шпинделе выходит из зацепления с зубчатым колесом ( $z = 60$ ) на валу *УIII*, тогда движение на подачу заимствуется не со шпинделя непосредственно, а с вала *III* коробки скоростей:

$$1 \frac{60}{30} \left( \text{или} \frac{48}{60} \right) \frac{45}{45} \text{ и далее по известной кинематической цепи.}$$

Направление продольной подачи можно изменять включением кулачковых муфт  $M_7$  или  $M_8$ .

Поперечная подача. Конечные звенья: *шпиндель с заготовкой – винт поперечной подачи* (1 оборот шпинделя  $\rightarrow S_{\text{поп}}$ ):

$$1 \frac{60}{60} \frac{30}{45} \frac{40}{86} \frac{86}{64} \frac{28}{28} \frac{42}{30} \left( \text{или} \frac{30}{25}, \text{или} \frac{28}{35}, \text{или} \frac{28}{28} \right) \frac{18}{45} \left( \text{или} \frac{28}{35} \right) \frac{35}{28} \times$$

$$\times \left( \text{или} \frac{15}{48} \right) \frac{23}{40} \frac{24}{39} \frac{28}{35} \frac{30}{32} \frac{32}{30} \frac{4}{21} \frac{36}{36} \frac{34}{55} \frac{55}{29} \frac{29}{16} 5 = S_{\text{поп}}.$$

Значение поперечной подачи в 2 раза меньше значения соответствующей продольной подачи.

Реверс поперечной подачи осуществляется включением кулачковых муфт  $M_9$  или  $M_{10}$ .

*Наладка токарно-винторезного станка модели 16К20 на обработку конических поверхностей.* Обработка может, осуществляется широким резцом; смещением корпуса задней бабки; поворотом резцовых салазок; с помощью копировально-конусной линейки и гидрокopировального суппорта.

*Широким резцом* (рисунок 3,а) возможна обработка конусов длиной до 20 мм. Подача резца может быть и поперечная, и продольная. Величина подачи должна быть минимальная, так как возможно возникновение вибраций системы СПИД («станок – приспособление – инструмент – деталь») и, как результат, – невысокие точность обработки, стойкость режущего инструмента и шероховатость поверхности.

*Смещением корпуса задней бабки* (рисунок 3,в) обрабатывают длинные детали с небольшим углом уклона до  $8^\circ$ . Точность обработки высокая.

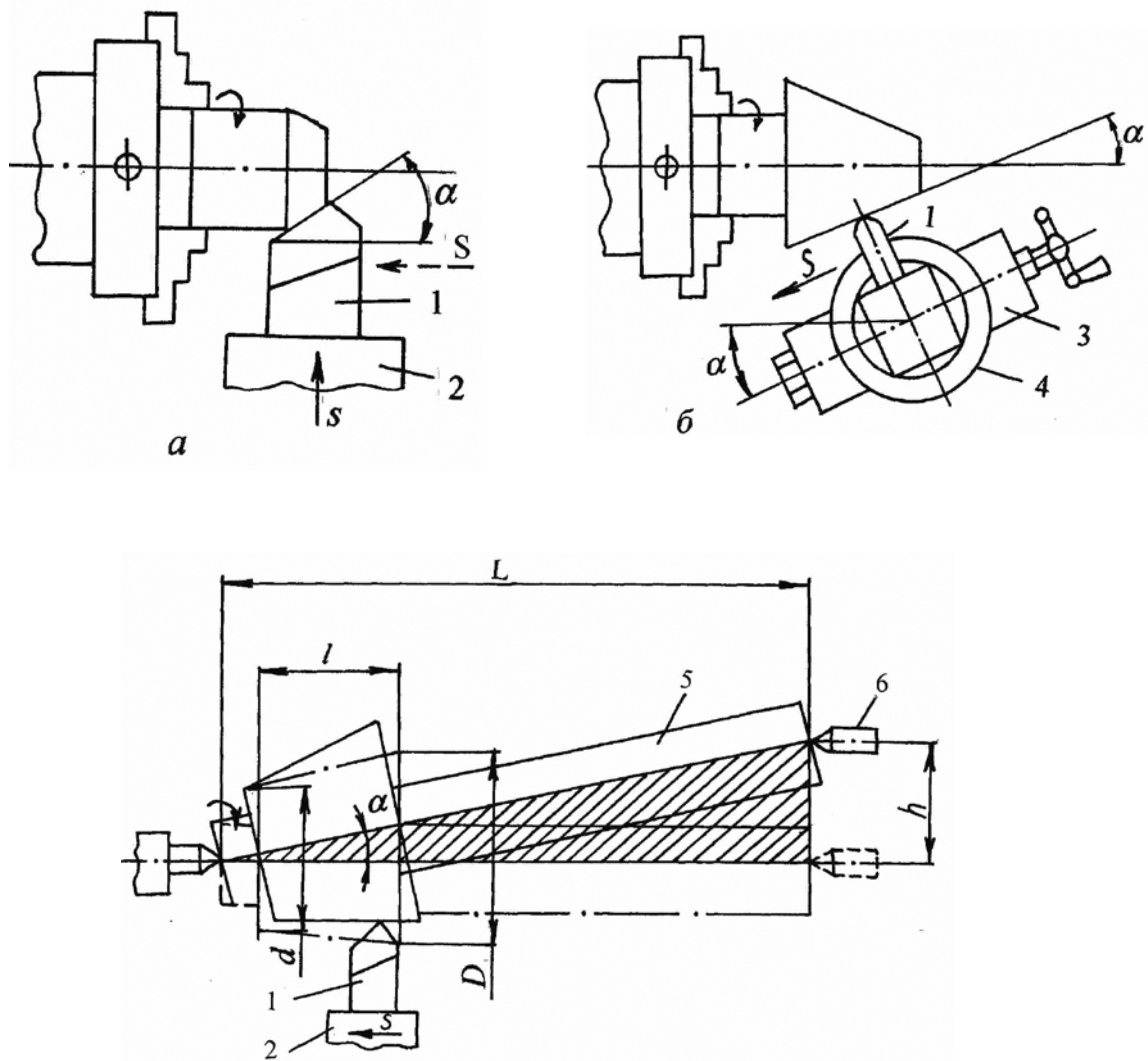


Рисунок 3 – Схемы обработки конических поверхностей на токарно-винторезных станках: *а* – широким резцом; *б* – поворотом резцовых салазок; *в* – смещением корпуса задней бабки

Смещение корпуса задней бабки в поперечном направлении  $h$  (мм) определяют по формуле:

$$h = L \sin \alpha,$$

где  $L$  – длина детали, мм;

$\alpha$  – угол уклона детали, град.

Из схемы (рисунок 3,в)  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{D-d}{2l}$ .

Обычно значение  $\alpha$  мало, т.е.  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha$ , поэтому  $h \approx L \sin \alpha = \frac{L(D-d)}{2l}$ .

Наладку станка на обработку конуса осуществляют следующим образом: с помощью винтов 31 (см. рисунок 1) ключом смещают корпус задней бабки в поперечном направлении на себя – при обработке прямых конусов, от себя – при обработке обратных конусов. Отсчет смещения  $h$  ведется или по лимбу, или по упорам и плиткам (плоскопараллельным мерам длины), если упоры установлены на торце задней бабки, или с помощью штангенциркуля.

В жесткие токарные центры. На конце рабочего конуса которых имеются шаровые поверхности, устанавливается заготовка с поводковым хомутиком, который находится внутри поводкового патрона (для безопасности). Включается станок, начинается вращение шпинделя и продольная механическая подача суппорта. В несколько проходов резец выходит на полный профиль конической поверхности детали. Таким образом, измеряют диаметры и, при необходимости, производят дополнительное смещение задней бабки в одну или другую сторону.

*Поворотом резцовых салазок* (рисунок 3, б) обрабатывают короткие детали с наружными и внутренними коническими поверхностями.

По чертежу или соответствующим расчетам, устанавливают угол уклона  $\alpha$  обрабатываемой конусной поверхности – это половинный угол при вершине конуса. Гаечным ключом отпускают две гайки, которые крепят поворотную часть резцовых салазок, поворачивая ее в нужном направлении, отсчет ведется по лимбу с ценой деления в один градус. Закрепляют гайки. Обрабатывают заготовку. При этом подача режущего инструмента осуществляется вручную вращением рукоятки резцовых салазок (что непроизводительно и недостаточно точно) или механически. Обработка требует частых замеров детали и доворота салазок, в результате чего падает производительность. В серийном производстве для измерения используют специальные калибр-втулки и калибр-пробки, а также калибры «Конус Морзе».

В серийном производстве возможна установка на станке модели 16К20 копирно-конусной линейки. Применение ее обеспечивает обработку длинных деталей с высокой точностью и производительностью.

## **1 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

### **Задание выдается преподавателем**

2.1 Пользуясь станков в натуре, паспортом или учебным пособием ознакомиться с конструкцией и управлением станка.

2.2 Изучить кинематическую схему станка по учебному пособию или паспорту. Составить уравнение частоты вращения шпинделя, уравнение кинематического баланса на нарезание резьбы.

2.3 Настроить станок на заданный режим (по указанию преподавателя).

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Перечислить основные части и механизмы станка. Указать их назначение.

3.2 Уравнения кинематических цепей.

3.3. Режим настройки.

## **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Назначение токарно-винторезного станка модели 16К20.

2 Перечислите и покажите основные части станка.

3 Перечислите и покажите рукоятки, предназначенные для настройки станка на нарезание резьбы.

4 С помощью, каких рукояток осуществляется установка частоты вращения шпинделя?

5 Какие рукоятки предназначены для управления фрикционной муфтой?

6 Для чего предназначены рукоятки 20, 21, 22?

7 Что включает техническая характеристика станка?

8 Напишите уравнение главного движения станка.

9 Что такое перебор? Как определяют передаточные отношения перебора?

10 Назовите конечные звенья продольной подачи. Чему равно число ступеней подач? За счет чего может быть увеличено количество подач суппорта?

11 Назовите конечные звенья поперечной подачи. Как осуществляется реверс поперечной подачи?

13 Перечислите методы обработки конусов.

14 Дайте характеристику обработки конусов поворотом резцовых салазок.

15 Какие приспособления применяют при работе на токарно-винторезном станке?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремов В. Д., Горохов В. А., Схиртладзе А. Г. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2014

2. Ящерицына П. И. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011

3. Багдасарова Т. А. Основы резания металлов: учеб. Пособие - М.: Академия, 2012

4. А. М. Михальченков, Л. С. Киселева, И. В. Козарез, А. А. Тюрёва Практикум по технологии конструкционных материалов. Ч. 2. : Обработка металлов резанием - Брянская ГСХА, 2002

5. Барботько А. И., Масленников А. В. Резание материалов: учеб. пособие для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011

# НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ

*Цель работы:* Изучить настройку станка на нарезание резьб (метрической, модульной, дюймовой, питчевой), а также резьб повышенной точности и многозаходных.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Современные токарные станки имеют механизм подачи, обеспечивающий настройку на заданный шаг резьбы без сменных зубчатых колес (рисунок 2 лабораторной работы «Устройство и кинематическая схема токарно-винторезного станка»).

*Нарезание метрической резьбы.* Конечные звенья: шпиндель - ходовой винт (1 оборот шпинделя  $\rightarrow P_p$ ). Уравнение кинематического баланса от шпинделя к ходовому винту при нарезании резьбы резцом составляется из условия, что за один оборот шпинделя с заготовкой каретка суппорта с режущим инструментом должна перемещаться в продольном направлении на величину шага нарезаемой резьбы  $p_p$ , если резьба однозаходная.

Уравнение кинематического баланса цепи имеет вид:

$$1 \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{42}{30} \left( \text{или } \frac{30}{25}, \text{ или } \frac{28}{35}, \text{ или } \frac{28}{28} \right) \cdot \frac{18}{45} \\ \left( \text{или } \frac{28}{35} \right) \frac{35}{28} \left( \text{или } \frac{15}{48} \right) \cdot 12 = p_p,$$

где  $p_p$  – шаг нарезаемой резьбы, мм;  
число ступеней подач  $z = 4 \cdot 2 \cdot 2 = 16$ .

По данной кинематической цепи можно нарезать 16 значений стандартных шагов метрических резьб. При этом в коробке подач используется короткая кинематическая цепь, что обеспечивает высокую точность нарезания резьбы по шагу. При нарезании метрической резьбы муфту  $M_2$  выключают, а муфты  $M_3, M_4, M_5$  включают.

В кинематической цепи при нарезании резьб используется механизм реверса; его передаточное отношение  $\frac{30}{45}$ . При левом положении зубчатого колеса ( $z = 45$ ) бу-



дет нарезать правозаходная резьба, при этом суппорт с режущим инструментом будет перемещаться от задней бабки к шпинделю станка. При правом положении зубчатого колеса ( $z = 45$ ) будет нарезать левозаходная резьба, суппорт с режущим инструментом будет перемещаться от шпинделя к задней бабке.

Числовая характеристика  $\frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64}$  в уравнении кинематического баланса – это передаточное отношение гитары сменных зубчатых колес  $\frac{K}{L} \cdot \frac{L}{N}$ .

*Нарезание дюймовой резьбы.* Конечные звенья: *шпиндель с заготовкой – ходовой винт* (1 оборот шпинделя  $\rightarrow p_p = 25,4/n_p$ ):

$$1 \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{40}{86} \cdot \frac{86}{64} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{38}{34} \cdot \frac{30}{42} \left( \text{или} \frac{25}{30}, \text{или} \frac{35}{28}, \text{или} \frac{28}{28} \right) \times \\ \times \frac{30}{33} \cdot \frac{18}{45} \left( \text{или} \frac{28}{35} \right) \frac{35}{28} \left( \text{или} \frac{15}{48} \right) \cdot 12 = \frac{25,4}{n_p},$$

где  $n_p$  – число ниток на 1 дюйм; число ступеней наружных резьб  $z = 4 \cdot 2 \cdot 2 = 16$ .

При нарезании дюймовой резьбы в коробке подач используется более длинная кинематическая цепь: должна быть включена муфта  $M_5$  в коробке подач, а муфты  $M_2$ ,  $M_3$  и  $M_4$  – выключены.

*Нарезание модульной резьбы.* Конечные звенья: *шпиндель с заготовкой – ходовой винт* (1 оборот шпинделя  $\rightarrow p_p = m\pi$ ):

$$1 \cdot \frac{60}{60} \cdot \frac{30}{45} \cdot \frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36} \cdot \frac{28}{28} \cdot \frac{42}{30} \left( \text{или} \frac{30}{25}, \text{или} \frac{28}{35}, \text{или} \frac{28}{28} \right) \times \\ \times \frac{18}{45} \left( \text{или} \frac{28}{35} \right) \frac{35}{28} \left( \text{или} \frac{15}{48} \right) \cdot 12 = m\pi;$$

$$z = 4 \cdot 2 \cdot 2 = 16.$$

При нарезании модульной резьбы в коробке подач используется короткая кинематическая цепь: должны быть включены муфты  $M_3$ ,  $M_4$  и  $M_5$ , а муфта  $M_2$  – выключена.

В уравнении кинематического баланса числовая характеристика  $\frac{60}{73} \cdot \frac{86}{36}$  - это пе-

редаточное отношение гитары сменных зубчатых колес  $\frac{K M}{L N}$ . В коробке скоростей

станка имеется механизм звена увеличения шагов нарезаемых резьб. При нарезании увеличенного (крупного) шага резьбы движение режущего инструмента заимствуется не от шпинделя, а от вала *III* коробки скоростей на вал *VIII*.

В уравнении кинематического баланса в расчет берется передаточное отношение от шпинделя к валу *III*:

$$i_{1^{зв}} = \frac{1}{i_{1пер}} = \frac{1}{\frac{30}{60}} = \frac{60}{30} = 2,$$

$$i_{2^{зв}} = \frac{1}{i_{2пер}} = \frac{1}{\frac{45}{45} \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60}} = \frac{1}{\frac{1}{8}} = 8,$$

$$i_{3^{зв}} = \frac{1}{i_{3пер}} = \frac{1}{\frac{15}{60} \cdot \frac{18}{72} \cdot \frac{30}{60}} = \frac{1}{\frac{1}{32}} = 32,$$

где  $i_{зв}$  – передаточное отношение звена увеличения шага нарезаемой резьбы.

Следовательно, каждый стандартный шаг нарезаемой резьбы с помощью коробки подач может быть увеличен по значению в 2, 8 или 32 раза.

Наряду с вышеизложенным резьбу нарезают с помощью гитары сменных колес. Так же при нарезании точных резьб настройку современных станков ведут сменными зубчатыми колесами. Общее уравнение кинематического баланса для настройки станков (рисунок 1) при нарезании резьбы выражается формулой

$$1_{\text{ОБ.ШП}} \cdot i_o \cdot i_{тр} \cdot i_{см} \cdot i_{кп} \cdot T_{хв} = S,$$

где  $i_o$  – передаточное отношение зубчатых колес от шпинделя до реверсивного механизма;

$i_{тр}$  – передаточное отношение реверсивного механизма (трэнзеля);

$i_{см}$  – передаточное отношение сменных зубчатых колес;

$i_{кп}$  – передаточное отношение коробки подач;

$T_{хв}$  – шаг ходового винта;

$S$  – шаг нарезаемой резьбы.

Шаг нарезаемой резьбы может быть выражен в миллиметрах, дюймах и модулях.

Величины  $i_o$ ,  $i_{mp}$ ,  $i_{кп}$  – постоянные для определенной настройки станка.

Обозначим  $i_o$ ,  $i_{mp}$ ,  $i_{кп}$  через  $A$ , тогда  $i_{см} = S/AT_{хв}$ .

По этой формуле подбирают сменные колеса. Часто  $A = 1$ , тогда

$$i_{см} = S/T_{хв}$$

Если  $T_{хв}$  дан в миллиметрах, то при нарезании дюймовой резьбы (шаг резьбы дан в числе ниток на дюйм длины, то есть  $S = 25,4/n$ ):

$$i = S/AT_{хв} = 25,4/AnT_{хв};$$

при нарезании метрической резьбы ( $S$  в мм):

$$i = S/AT_{хв};$$

при нарезании модульной резьбы ( $S = \pi m$ ):

$$i = \pi m/AT_{хв};$$

при нарезании питчевой резьбы  $S = \pi/p$ :

$$i = 25,4\pi/ArT_{хв},$$

где  $m$  – модуль;

$n$  – число ниток нарезаемой резьбы на дюйм;

$p$  – питч.

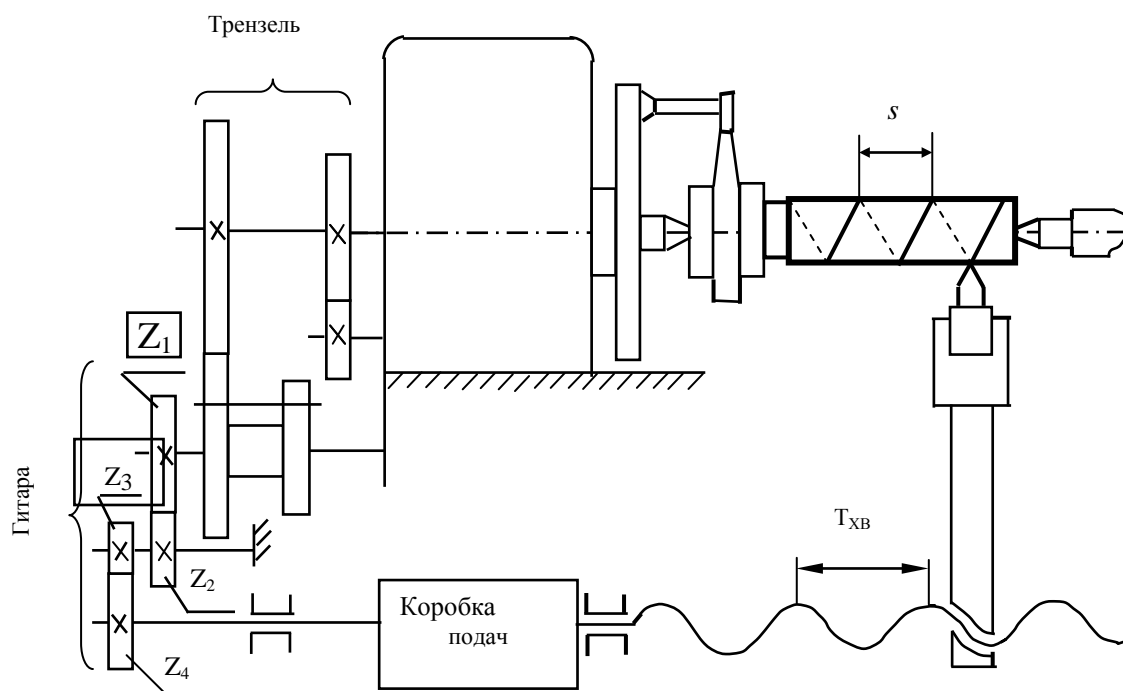


Рисунок 1– Схема нарезания резьбы на токарно-винторезном станке

При расчетах величину 25,4 представляют как  $127/5$ , и поэтому в набор сменных зубчатых колес включается колесо с 127 зубьями. Величину  $\pi$  заменяют отношением  $\pi \approx 22/7$ .

После подбора сменных зубчатых колес проверяют их зацепление по формулам

$$z_1 + z_2 > z_3 + 15; \quad z_3 + z_4 > z_2 + 15.$$

При нарезании резьб повышенной точности станок настраивают так, что движение от шпинделя передаются через сменные зубчатые колеса непосредственно к ходовому винту станка, минуя коробку подач.

В этом случае передаточное отношение коробки подач из кинематической цепи подачи повышает точность шага нарезаемой резьбы. В многозаходной резьбе различают ход и шаг резьбы.

*Ходом* многозаходной резьбы называется расстояние между одноименными точками одного и того же витка, измеренное параллельно оси резьбы, или расстояние, на которое переместиться вдоль оси болт или гайка за один его оборот. Для однозаходной резьбы ход резьбы  $S$  равен шагу  $t$  (рисунок 2. а). В тех случаях, когда ход резьбы равен нескольким шагам резьбы, она называется многозаходной (рисунок 2. б). Следовательно, ход резьбы равен шагу резьбы, умноженному на число заходов, то есть

$$S = tk,$$

где  $S$  - ход резьбы, мм;

$t$  - шаг резьбы, мм;

$k$  - число заходов.

Определение числа заходов многозаходной резьбы проводят подсчетом концов витков на торце винта или гайки.

Нарезание многозаходной резьбы имеет ту особенность, что после нарезания одной нитки поворачивают нарезаемую деталь (при неподвижном резце) на угол, равный  $360^\circ/K$  и нарезают следующую нитку (заход).

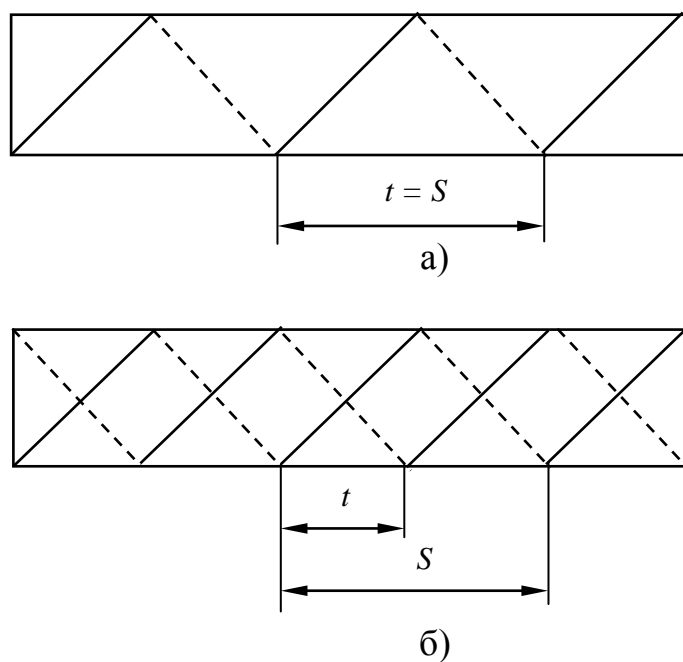


Рисунок 2 – Схема резьбы

Деление многозаходных резьб на заходы проводят специальными делительными устройствами (например, поворотный патрон с нанесенной на корпус шкалой в градусах или поводковый диск с точным расположением определенного количества отверстий для пальца поводка) и верхним суппортом. В последнем случае после нарезания первой нитки резьбы суппорт смещают в осевом направлении на значение шага однозаходной резьбы и таким образом нарезают все остальные нитки. Отсчет продольного перемещения проводят по лимбу винта верхнего суппорта.

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 *Нарезание резьбы повышенной точности* Выполняем на токарно-винторезном станке модели 1А62Б (1К62). Механизм коробки подач станка дает возможность прямого включения ходового винта для нарезания резьб. Прямое включение ходового винта достигается установкой рукояток коробки подач: А – на дюймовую резьбу; В – на прямое включение винта; рукоятку «ходовой винт – ходовой валик» – в положение «ходовой винт». Кроме того, необходимо включить лимб продольного хода, перемещая маховичок ручной подачи на себя до упора.

К станку 1А62Б прилагается комплект сменных шестерен с количеством зубьев:  $z = 20; 25; 28; 30; 32; 35; 36; 40; 42; 44; 45; 48; 50; 56; 60; 70; 71; 72; 75; 80; 90; 96; 97; 100; 110; 108; 112; 119; 120; 127; 130$ .

Для примера рассмотрим подбор сменных шестерен гитары при нарезании метрической резьбы с шагом  $S = 6$  мм.

При нарезании метрических резьб с шагом до 12 мм рукоятку на передней бабке устанавливают в положение «нормальный шаг». Тогда передаточное отношение  $A = 1$ , так как

$$i_o = \frac{50}{50} = 1; \quad i_{mp} = \frac{38}{38}; \quad i_{kn} = 1.$$

$$\text{(для 1К62 } i_o = \frac{60}{60}; i_{mp} = \frac{42}{42}; i_{kn} = 1).$$

Таким образом, для данного случая

$$i_{cm} = \frac{S}{AT_{xb}} = \frac{6}{1 \cdot 12} = \frac{1}{2} = \frac{28}{56} \text{ или } \frac{30}{60} \text{ и др.}$$

Из прилагаемого комплекта сменных колес выбираем необходимые, сохранив полученное соотношение и проверив по вышеуказанным формулам на сцепляемость.

Например,  $z_1 = 28; z_2 = 100$  (промежуточное колесо);  $z_3 = 56$ ;

$$\frac{z_1 \cdot z_2}{z_2 \cdot z_3} = \frac{28 \cdot 100}{100 \cdot 56}; \quad 28 + 100 > 56 + 15.$$

В ряде случаев промежуточных колес может быть не одно, а два.

$$\frac{z_1 \cdot z_3}{z_2 \cdot z_4} \quad (z_2 \text{ и } z_3 - \text{два промежуточных колеса}).$$

При выполнении работы по нарезанию резьбы повышенной точности (характеристика резьбы дается преподавателем) необходимо:

- а) определить передаточное отношение сменных шестерен гитары;
- б) проверить по формуле на сцепляемость;
- в) установить шестерни на гитару станка;
- г) установить заготовку и резец на станок;

д) определить режим обработки (число проходов берется равным 10...11, скорость резания при использовании резца из быстрорежущей стали порядка 8 м/мин) и настроить станок на выбранный режим;

е) нарезать резьбу и проверить ее резьбовым кольцом (гайкой).

*2.2 Нарезание многозаходной резьбы.* Выполняем на токарно-винторезном станке 1К62, у которого в механизме передней бабки имеется специальное делительное устройство, позволяющее нарезать многозаходные резьбы, с делением на 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 и 60 заходов. Делительное устройство размещено с левого торца передней бабки и состоит из диска, закрепленного на шпинделе, разделенного на 60 частей, и фланца с риской, укрепленного на корпусе передней бабки.

Для примера рассмотрим нарезание метрической трехзаходной резьбы с ходом  $S = 12$  мм, шагом нарезаемой резьбы  $t = 4$  мм, числом заходов  $K = 3$ . После предварительного обтачивания заготовки до необходимого размера станок настраивают на нарезание резьбы с ходом  $S = 12$  мм и нарезают первую нитку. После нарезания первой нитки поворачивают заготовку для выполнения захода (при неподвижном резце), для чего необходимо следующее:

а) остановить главный электродвигатель;

б) включить фрикционную муфту прямого хода (рукоятка поднимается вверх);

в) снять футляр, закрывающий сменные шестерни и приводные ремни;

г) ключом от трехкулачкового патрона вращать против часовой стрелки вал шкива для совпадения риски «60» на диске шпинделя с риской на фланце. После этого снять натяг в цепи, повернув шкив в обратную сторону;

д) рукоятку коробки скоростей установить в положение «деление на многозаходные резьбы»;

е) шкив вала повернуть против часовой стрелки на 20 делений, что соответствует повороту шпинделя на  $120^\circ = 360^\circ \frac{20}{60}$ ;

ж) установить рукоятку коробки скоростей в положение, соответствующее нарезанию резьбы.

Деление и нарезание третьего захода выполнить в той же последовательности.

Скорость резания при нарезании резцом из быстрорежущей стали установить

примерно 8 м/мин. Число проходов при нарезании каждого захода резьбы принять равным 10...11.

### **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- 3.1 Характеристики резьбы повышенной точности.
- 3.2 Уравнение кинематического баланса при нарезании резьбы.
- 3.3 Расчет сменных зубчатых колес.
- 3.4 Схему установки сменных колес.
- 3.5 Режим резания.

### **4.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Какое направление шпинделя и подачи при нарезании правой резьбы?
- 2 Какое направление шпинделя и подачи при нарезании левой резьбы?
- 3 Напишите уравнение кинематического баланса для настройки при нарезании резьбы.
- 4 Напишите формулу подбора сменных колес при нарезании дюймовой резьбы
- 5 Напишите формулу подбора сменных колес при нарезании метрической резьбы.
- 6 Напишите формулу подбора сменных колес при нарезании модульной резьбы.
- 7 Напишите формулу подбора сменных колес при нарезании питчевой резьбы.
- 8 Напишите неравенства сцепляемости зубчатых колес в гитаре.
- 9 Что такое модуль?
- 10 Что такое питч?

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ящерицына П. И. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011
2. Багдасарова Т. А. Основы резания металлов: учеб. Пособие - М.: Академия, 2012
3. А. М. Михальченков, Л. С. Киселева, И. В. Козарез, А. А. Тюрева Практикум по технологии конструкционных материалов. Ч. 2. : Обработка металлов резанием - Брянская ГСХА, 2002



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Варианты исходных данных

| №№<br>вариантов | Виды нарезаемых резьб |                              |                            |                      |
|-----------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
|                 | дюймовая<br><i>n</i>  | метрическая<br><i>S</i> , мм | модульная<br><i>m</i> , мм | питчевая<br><i>p</i> |
| 1               | 3                     | 6                            | 1                          | 2                    |
| 2               | 2                     | 2                            | 2                          | 2,2                  |
| 3               | 4                     | 3                            | 3                          | 2,4                  |
| 4               | 5                     | 4                            | 4                          | 2,6                  |
| 5               | 6                     | 5                            | 2,5                        | 2,8                  |
| 6               | 7                     | 7                            | 4,5                        | 3,0                  |
| 7               | 8                     | 8                            | 5,5                        | 3,2                  |
| 8               | 9                     | 2,5                          | 6,5                        | 3,4                  |
| 9               | 10                    | 3,5                          | 2,8                        | 3,6                  |
| 10              | 11                    | 9                            | 1,8                        | 3,8                  |
| 11              | 12                    | 10                           | 1,6                        | 4,0                  |
| 12              | 13                    | 11                           | 2,1                        | 4,2                  |

# СВЕРЛА, ЗЕНКЕРЫ, РАЗВЁРТКИ

*Цель работы:* изучить виды свёрл, зенкеров, развёрток; уметь производить измерения их геометрических параметров.

*Применяемые измерительные и режущие инструменты:* Универсальный и настольный угломеры. Штангенциркуль; микрометр; шаблоны. Свёрла, зенкеры, развёртки (различных типов).

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для обработки отверстий в заготовках (сквозных или глухих) применяют разнообразие инструменты, которые часто называют осевыми вследствие совпадения их оси в процессе обработки с осью отверстия. Наиболее широко применяется обработка отверстий такими осевыми инструментами как свёрла, зенкеры, развёртки.

*Сверло* - осевой режущий инструмент для образования отверстия в сплошном материале и (или) увеличения диаметра имеющегося отверстия (ГОСТ 25751-83 ).

В зависимости от конструкции и назначения различают следующие типы свёрл: перовые с прямыми канавками, спиральные (с винтовыми канавками) для глубокого сверления, для образования центровых отверстий (центровочные), с пластинками из твёрдых сплавов. Типы перечисленных свёрл приведены в приложении А (таблица 1). Наиболее распространены спиральные свёрла.

На рисунке 1 показана конструкция спиральных свёрл с коническим и цилиндрическим хвостовиками. Сверло состоит из рабочей части 1 (включающей режущую часть 2), и крепёжно-присоединительной, включающей шейку, хвостовик 4 с лапкой 5 (или поводком 6).

Хвостовик у свёрл диаметром от долей миллиметра до 20 мм выполняется цилиндрическим, а диаметром от 6 до 80 мм - коническим. Коническая часть выполняется в виде конуса Морзе соответствующего номера. Хвостовик 4 необходим для установки сверла в шпинделе станка. Он заканчивается лапкой 5, которая предназначена для выбивания сверла и для ориентации его относительно продольной оси (но не для передачи крутящего момента).

Шейка 3 выполняется не у всех свёрл и часто используется для клейма, удостоверяющего диаметр и материал режущей части, и знака завода-изготовителя.

Рабочая часть сверла 1 изготавливается целиком из инструментального материала, так как по мере переточки инструмента в работу вступают новые его слои, а длина рабочей части уменьшается.

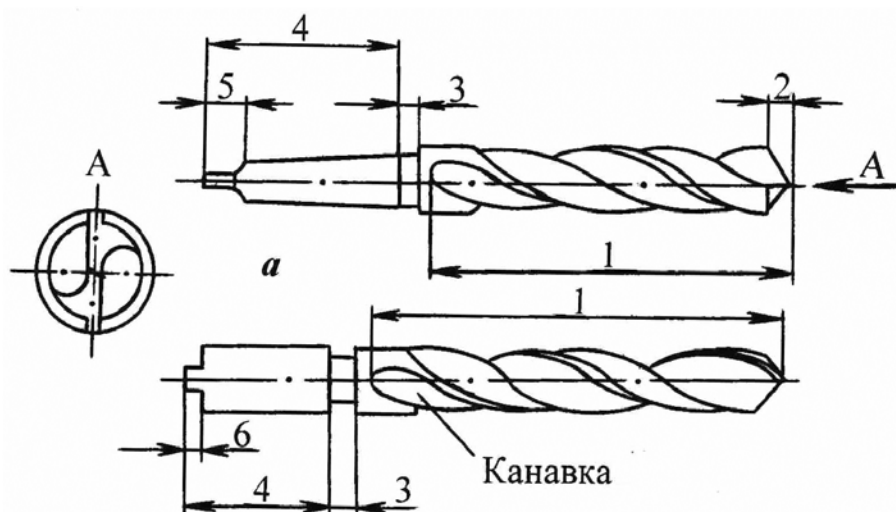


Рисунок 1 – Основные части спирального сверла

Основные элементы рабочей части спирального сверла представлены на рисунке 2: две спиральные канавки, два зуба 8 со спинками 9, ленточка 6 сверла - узкая полоска на его цилиндрической поверхности - расположена вдоль винтовой канавки; она направляет сверло при резании.

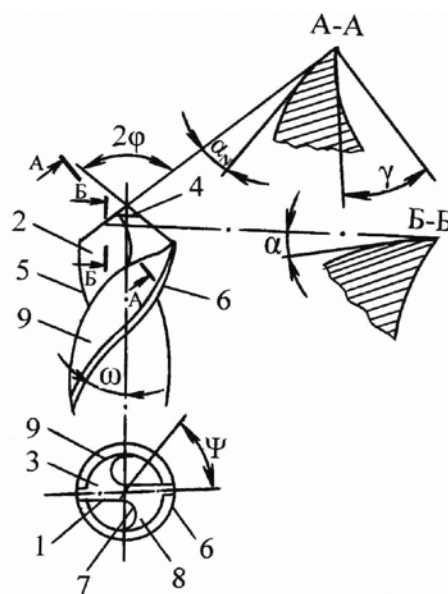


Рисунок 2 – Элементы рабочей части спирального сверла

У сверла предусмотрено пять режущих кромок: две главные 1, поперечная 4 и две вспомогательные 5. Главные режущие кромки выполняют основную работу резания. Они образованы пересечением передних ( $A\gamma$ ) 2 (винтовые поверхности 7, по которым сходит стружка) и главных задних ( $A\alpha$ ) 3 (поверхности, обращённые к поверхностям резания) поверхностей. Поперечная режущая кромка 4 образована пересечением обеих главных задних поверхностей 3. Вспомогательные режущие кромки 5 образованы пересечением передней ( $A\gamma$ ) поверхности (2) с поверхностью ленточки 6. Вспомогательные режущие кромки 5 принимают участие в резании по длине, определяемой величиной подачи.

Геометрические параметры сверла определяют условия его работы. Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  (угол между осью сверла и касательной к винтовой линии по наружному диаметру сверла) обычно берётся в пределах  $18...30^\circ$ . Угол наклона поперечной режущей кромки  $\psi$  (острый угол между проекциями поперечной и главной режущими кромками на плоскость, перпендикулярную оси сверла) обычно составляет  $50...55^\circ$ . Главные режущие кромки наклонены к оси сверла и образуют угол в плане (угол при вершине)  $2\varphi$ ; его назначение различно в зависимости от обрабатываемого материала: при сверлении стали средней твёрдости он равен  $116 \dots 120^\circ$ , твёрдых сталей -  $125^\circ$ . Передний угол  $\gamma$  - угол между касательной к передней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и нормально в той же точке к поверхности вращения режущей кромки вокруг оси сверла. Его измеряют в главной секущей плоскости AA ( $P_\tau$ ) перпендикулярной к главной режущей кромке (рисунок 2). По длине режущей кромки передний угол сверла  $\gamma$  имеет переменное значение. По мере приближения к оси сверла  $\gamma$  уменьшается; а у поперечной режущей кромки он принимает отрицательное значение.

Передний угол на периферии сверла (в главной секущей плоскости  $P_\tau$ , перпендикулярно главной режущей кромке) определяют по формуле

$$tg\gamma = \frac{tg\omega}{\sin\varphi}.$$

Угол  $\omega$  определяют по наружному диаметру сверла. Необходимо учитывать, что угол  $\omega$  различен в разных точках режущей кромки. У периферии угол  $\omega$  наибольший, а к центру уменьшается. Для любой точки режущей кромки на диаметре  $d_x$

$$tg\omega_x = \frac{\pi d_x}{H},$$

где  $H$  – шаг спирали сверла.

Следовательно,  $\frac{tg\omega_x}{tg\omega} = \frac{d_x}{d},$

где  $d$  – наружный диаметр сверла.

Таким образом, передний угол  $\gamma_x$  в главной секущей плоскости  $P_\tau$  для любого диаметра  $d_x$  можно определить из выражения.

$$tg\gamma_x = \frac{tg\omega}{\sin\varphi} \cdot \frac{d_x}{d}$$

*Задний угол  $\alpha$*  - угол между касательной к задней поверхности в рассматриваемой точке режущей кромки и касательной в той же точке к окружности ее вращения вокруг оси сверла. Этот угол измеряют в плоскости ББ, параллельной оси сверла. Задний угол  $\alpha_N$  в нормальной плоскости АА может быть определен по формуле:

$$tg\alpha_N = tg\alpha \sin\varphi$$

Задний угол сверла – величина переменная: у периферии  $\alpha = 8...14^\circ$ , по мере приближения к поперечной режущей кромке  $\alpha$  возрастает, достигая  $20...26^\circ$ .

Для уменьшения трения направляющих ленточек в отверстии сверлу придают обратную конусность, представляющую разность диаметров по ленточкам у режущего конуса и на другом конце рабочей части сверла. Обратная конусность у шлифовальных сверл составляет  $0,03...0,10$  мм на 100 мм длины рабочей части сверла.

*Зенкер* - осевой режущий инструмент для повышения точности отверстия и увеличения диаметра (ГОСТ 25751-83).

Применяется зенкер для обработки отверстий, полученных отливкой, штамповкой или просверленных, а также для обработки цилиндрических и конических углублений под головки винтов и для подрезания торцовых поверхностей. Часто зенкерование применяют, как полустистовую обработку перед развертыванием, но оно может быть также и окончательной операцией. Припуск на зенкерование (на сторону) равен  $0,5...3$  мм.

Для обработки прилегающих к цилиндрическому отверстию торцов и углублений применяются зенкеры особой конструкции, называемые *зенковками, цековками*.

По способу закрепления на станке зенкеры подразделяются на концевые (с цилиндрическими или коническим хвостовиками) и насадные (приложение А; таблица 2). На рисунке 3 показаны элементы концевого зенкера.

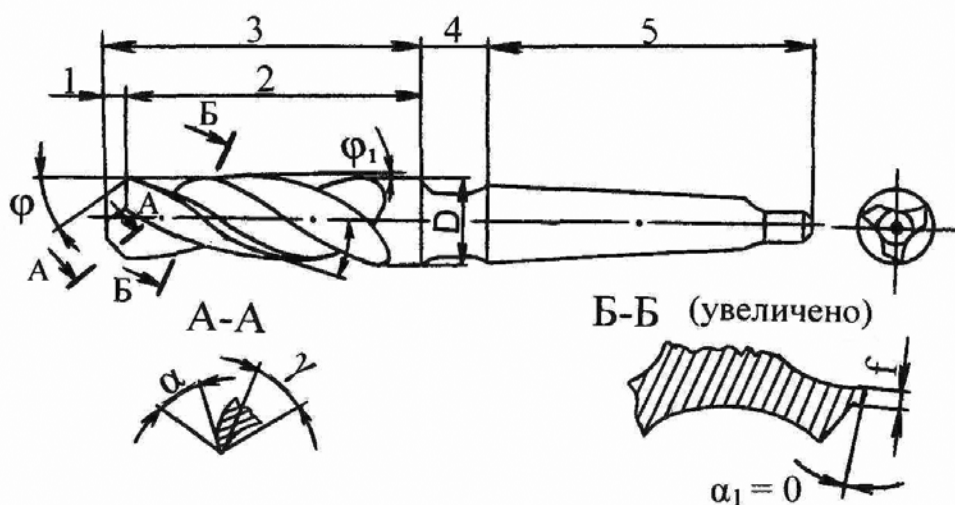


Рисунок 3 – Конструктивные элементы зенкера

Зенкеры изготавливают трех- и четырехканавочными. Режущая часть (заборная) I выполняет основную работу резания. Калибрующая часть предназначена для калибрования отверстия, придания правильного направления зенкеру в процессе резания и, кроме того, является резервом для переточек. Хвостовик 5 служит для закрепления зенкера в шпинделе станка.

Главный угол в плане назначается: для зенкеров из быстрорежущей стали  $\phi = 45...60^\circ$ , а для зенкеров твердосплавных  $\phi = 60...75^\circ$ . Передний угол  $\gamma$ , измеряемый

в сечении АА, нормальном к режущей кромке, выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала и материала режущей части зенкера. У зенкеров, изготовленных из быстрорежущей стали, при обработке стальных деталей  $\gamma = 8...15^\circ$ ; при обработке чугуна  $\gamma = 6...8^\circ$ , при обработке цветных металлов и сплавов  $\gamma = 25...30^\circ$ . У зенкеров, оснащенных пластинками из твердых сплавов, при обработке чугуна  $\gamma = 5^\circ$ , при обработке стали  $\gamma = 0...5^\circ$ . Задний угол  $\alpha = 8...10$  измеряют также в плоскости АА. Угол наклона винтовой канавки  $\omega = 10...25^\circ$ .

Для лучшего направления зенкера в зубьях оставляют цилиндрическую фаску шириной 1,2...2,8 мм. Обратная конусность составляет 0,04...0,10 мм на 100 мм длины рабочей части зенкера. Обратная конусность показана в виде угла.

*Развертка* - осевой режущий инструмент для повышения точности формы и размеров отверстия и снижения шероховатости поверхности (ГОСТ 25751-83).

Разверткой могут обрабатываться цилиндрические и конические, как глухие, так и сквозные отверстия.

При черновом развертывании удаляется припуск в пределах 0,1...0,2 мм.

Различают машинные и ручные развертки. По конструкции хвостовика развертки могут быть с цилиндрическим и коническим хвостовиками; по форме обрабатываемого отверстия – цилиндрические и конические; по способу крепления – хвостовые и насадные. Основные типы разверток приведены в приложении А (таблица 3).

Число зубьев развертки 6...16. Распределение зубьев у разверток по окружности неравномерное, что обеспечивает более высокий класс шероховатости обработанной поверхности отверстия.

Конструктивные элементы развертки показаны на рисунке 4.

Хвостовая цилиндрическая развертка состоит из рабочей части 1, шейки 2 и хвостовика 3. Рабочая часть включает направляющий конус 8 с углом при вершине  $90^\circ$ , заборную (режущую) часть 4, калибрующую часть 5 и обратный конус 6.

Заборная часть выполняет основную работу резания; угол заборного конуса составляет  $2\varphi$ .

Для обработки сквозных отверстий у ручных разверток  $\varphi = 30...1^\circ30'$ ; у ма-

шинных, при обработке вязких металлов  $\varphi = 12...15^\circ$ , при обработке хрупких твердых и трудно обрабатываемых металлов  $\varphi = 3...5^\circ$ ; у разверток, оснащенных пластинками из твердых сплавов,  $\varphi = 30...45^\circ$ . Для обработки глухих отверстий в деталях из всех материалов у ручных разверток  $\varphi = 45^\circ$ , у машинных  $\varphi = 60^\circ$ , у твердосплавных  $\varphi = 75^\circ$  с заточкой фаски на торце под углом  $45^\circ$ .

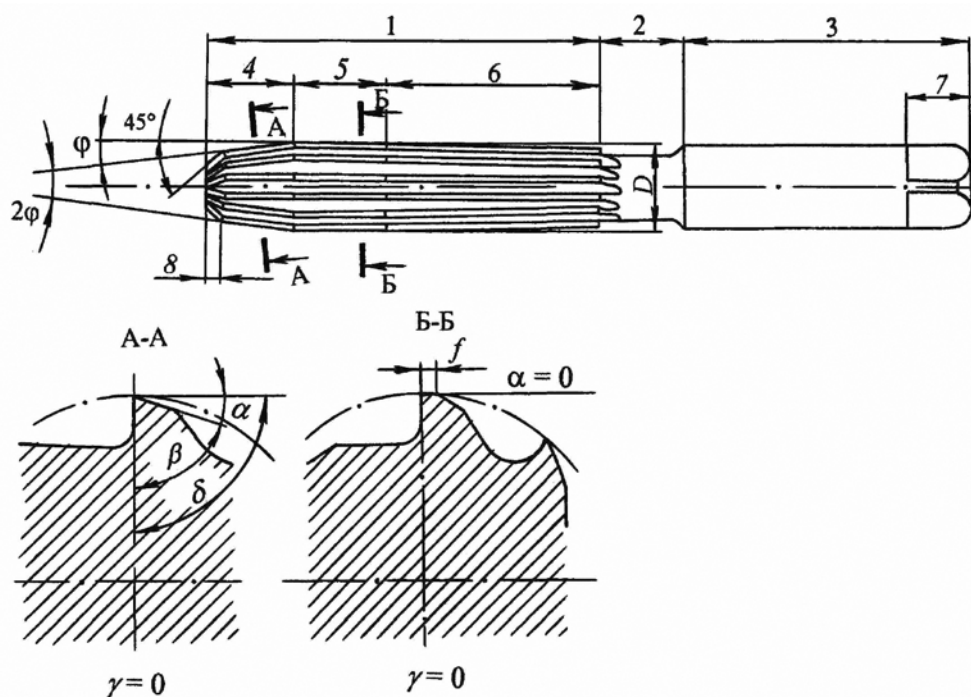


Рисунок 4 – Конструктивные элементы развертки

Калибрующая часть 5 служит для направления развертки в процессе резания, калибрования отверстия и является резервом для переточки развертки. Обратный конус 6 уменьшает трение развертки об обрабатываемую поверхность и снижает величину разбивки отверстия. У ручных разверток диаметр около шейки меньше калибрующего на  $0,04...0,08$  мм.

Зубья режущей (заборной части) развертки затачивают до наибольшей остроты; на калибрующей части зубьев предусмотрена цилиндрическая фаска шириной  $f = 0,08...0,5$  мм (в зависимости от диаметра развертки). Передний угол у чистовых разверток из быстрорежущей стали  $\gamma = 5...10^\circ$ ; у разверток твердосплавных  $\gamma = 0...5^\circ$ . Задний угол на режущей части развертки выбирают в пределах  $6...10^\circ$ .



## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

*Сверло.* 1 По приложению А (таблица 1) определить тип сверла. Измерить штангенциркулем основные размеры сверла (номинальный диаметр  $d$ ; диаметр  $d_1$  в месте, где заканчиваются спиральные канавки; длины рабочей и режущей частей, главных режущих кромок). Для измерения длины главной режущей кромки использовать специальные шаблоны (рисунок 5). Правильная заточка должна обеспечить одинаковую длину двух главных режущих кромок сверла.

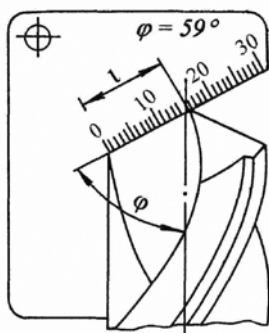


Рисунок 5 – Измерение главной режущей кромки сверла шаблоном

2 Вычислить обратную конусность  $K$  калибрующей части сверла на длине 100 мм по формуле

$$K = \frac{d - d_1}{l} \cdot 100,$$

где  $l$  – длина калибрующей части сверла, мм.

3 Замерить основные углы сверла. Измерить универсальным угломером угол при вершине сверла  $2\phi$  (рисунок 6) и угол наклона поперечной режущей кромки (рисунок 7).

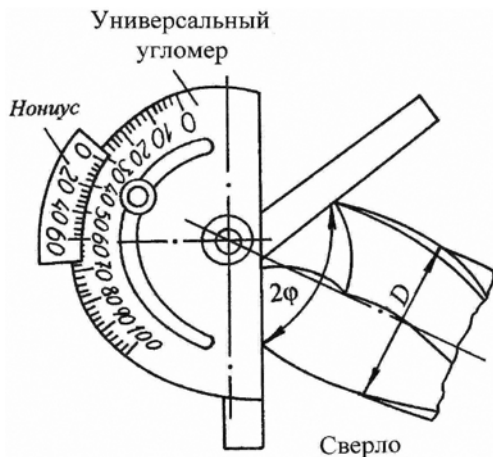


Рисунок 6 – Измерение угла при вершине  $2\phi$  сверла универсальным угломером

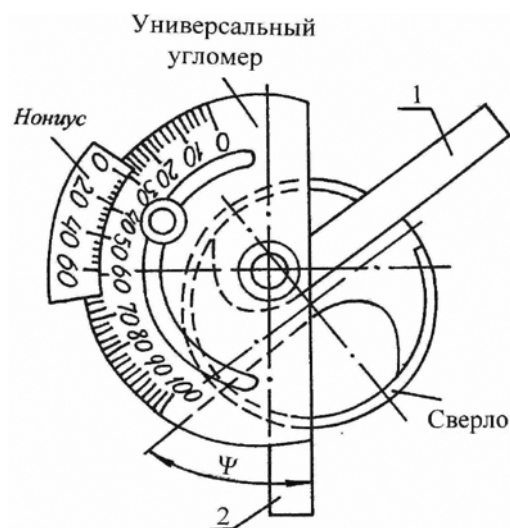


Рисунок 7 – Измерение угла наклона поперечной режущей кромки  $\psi$  сверла универсальным угломером

Измерить настольным угломером угол наклона винтовой канавки  $\omega$  (рисунок 8).

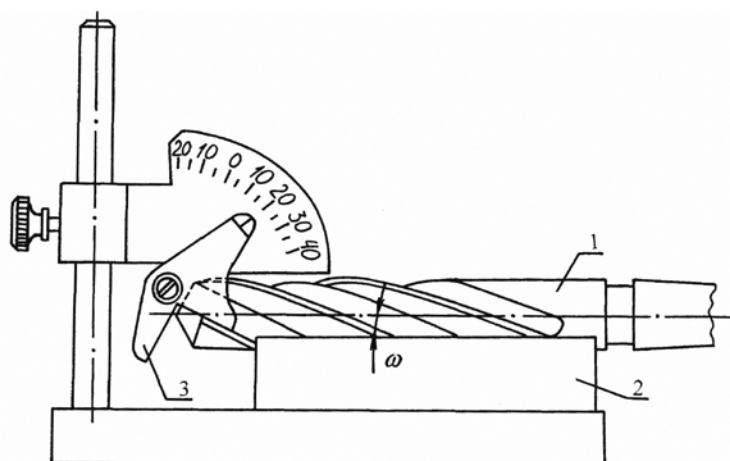


Рисунок 8 – Измерение угла наклона винтовой канавки  $\omega$  сверла

При установке сверла 1 на горизонтальной плоскости призме 2 главную режущую кромку расположить в горизонтальной плоскости; плоскость измерительной линейки 3 – на передней поверхности канавки по наружному диаметру сверла.

4 Рассчитать передний угол  $\gamma$  для величин  $r_x = r$  и  $r_x = 0,4r$ .

*Зенкер.* 1 По приложению А (таблица 2) определить тип зенкера. Измерить микрометром номинальный диаметр  $d$  зенкера и диаметр  $d_1$  на конце рабочей части.

2 Вычислить обратную конусность  $K$  зенкера по аналогии со сверлом.

3 Измерить углы зенкера. Главный угол в плане  $\varphi$  измерить универсальным уг-

ломером (рисунок 9). Угол наклона винтовой канавки  $\omega$  измерить аналогично замеру этого угла у сверла (рисунок 8).

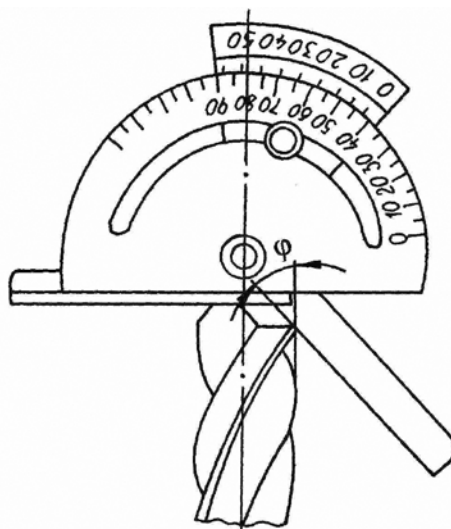


Рисунок 9 – Измерение главного угла в плане  $\phi$  зенкера

4 Рассчитать передний угол  $\gamma$  на наружном диаметре по формуле:

$$tg \gamma = tg \omega / \sin \phi.$$

*Развертка.* 1 По приложению А (таблица 3) определить тип развертки. Измерить микрометром диаметр развертки в нескольких местах по длине калибрующей части; за результат измерений взять наибольшее значение диаметра

2 Измерить штангенциркулем (измерительной линейкой) общую длину развертки, длину режущей и рабочей частей.

3 Измерить угол заборного конуса  $\phi$  универсальным угломером аналогично измерению этого угла у зенкера (рисунок 9).

Примечание: инструмент выдается преподавателем.

### 3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

3.1 Характеристика сверла, зенкера и развертки (номинальные диаметры и марки материалов режущей части).

3.2 Эскизы сверла, зенкера, развертки с указанием основных элементов.

3.3 Определить типы инструментов.

3.4 Результаты измерений и расчеты основных размеров и углов.

#### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Каково назначение сверл?
- 2 Перечислите основные типы сверл.
- 3 Назовите основные элементы спирального сверла.
- 4 Укажите из чего состоит режущая часть спирального сверла.
- 5 Перечислите режущие кромки спирального сверла.
- 6 Назовите углы спирального сверла и их средние значения.
- 7 Дайте определение заднего угла спирального сверла.
- 8 Дайте определение переднего угла спирального сверла.
- 9 Как изменяется передний угол сверла от периферии к центру? В какой плоскости его рассматривают?
- 10 Как изменяется задний угол сверла от периферии к центру? В какой плоскости его рассматривают?
- 11 Каково назначение зенкера?
- 12 Назовите основные элементы зенкера и их назначение.
- 13 Основное назначение развертки.
- 14 Классификация разверток.
- 15 Перечислите конструктивные элементы развертки и укажите их назначение.
- 16 Сколько зубьев у зенкера и развертки?
- 17 Какие материалы применяют для изготовления сверл, зенкеров, разверток и пластинок?

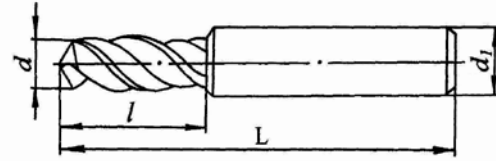
#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ящерицына П. И. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011
2. Багдасарова Т. А. Основы резания металлов: учеб. Пособие - М.: Академия, 2012
- А. М. Михальченков, Л. С. Киселева, И. В. Козарез, А. А. Тюрёва Практикум по технологии конструкционных материалов. Ч. 2. : Обработка металлов резанием - Брянская ГСХА, 2002

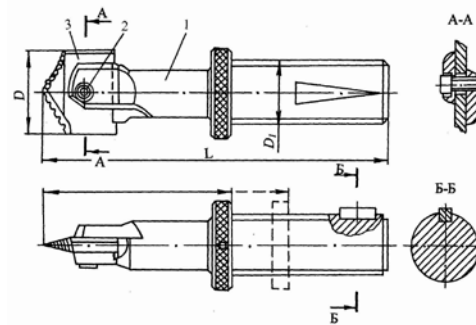
Таблица 1 – Типы сверл

| Наименование, тип, назначение  | Эскиз |
|--|-------|
| Сверла спиральные с цилиндрическим хвостовиком   |       |
| Сверла спиральные с коническим хвостовиком   |       |
| <p>Сверла спиральные, оснащенные пластинками из твердого сплава, для сверления чугуна.</p> <p>С цилиндрическим хвостовиком</p> <p>С коническим хвостовиком</p> |       |
| Сверла спиральные. Средняя серии с напайной цельно твердосплавной рабочей частью   |       |
| Сверла спиральные цельные твердосплавные с коническим хвостовиком для обработки трудно обрабатываемых материалов   |       |

Сверла спиральные, цельные  
 твердосплавные укороченные  
 для обработки трудно обрабаты-  
 ваемых материалов



Сверла перовые сборные с ци-  
 линдрическим регулируемым  
 хвостовиком для обработки от-  
 верстий в заготовках из чугуна  
 или конструкционных сталей



Сверла центровочные для обра-  
 ботки центровых отверстий

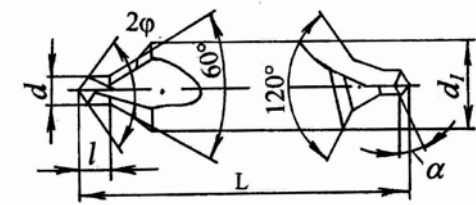


Таблица 2 – Конструкции и типы зенкоров

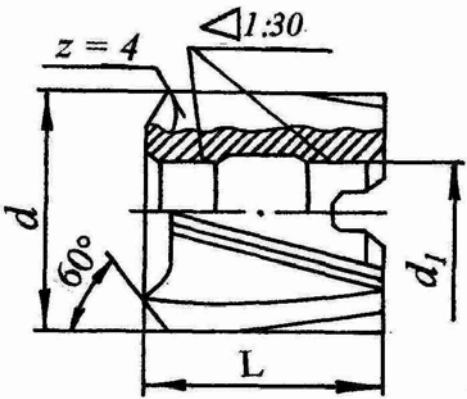
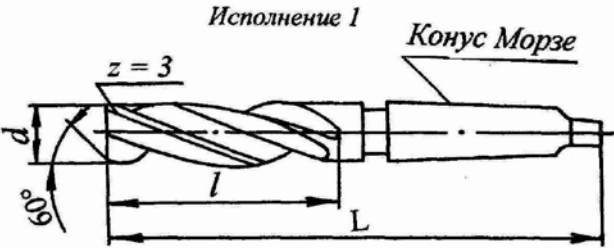
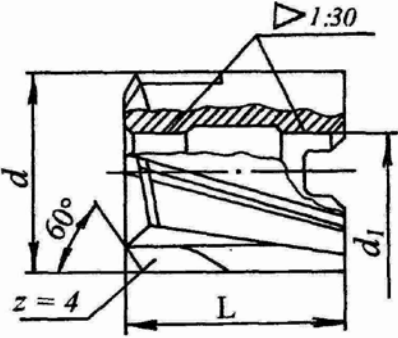
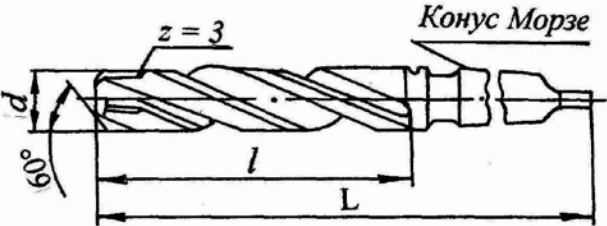
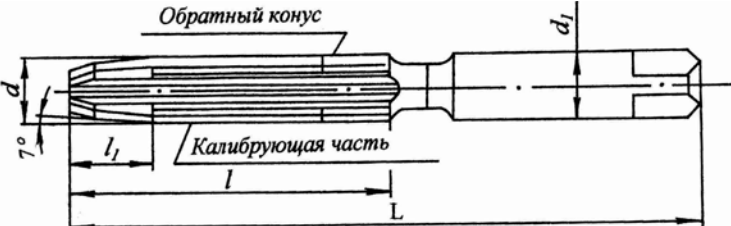
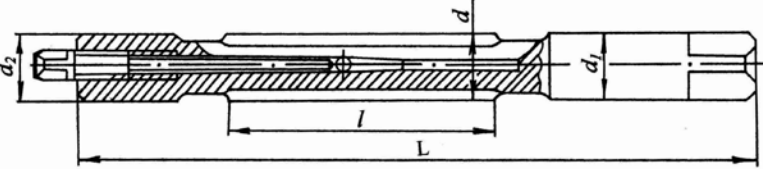
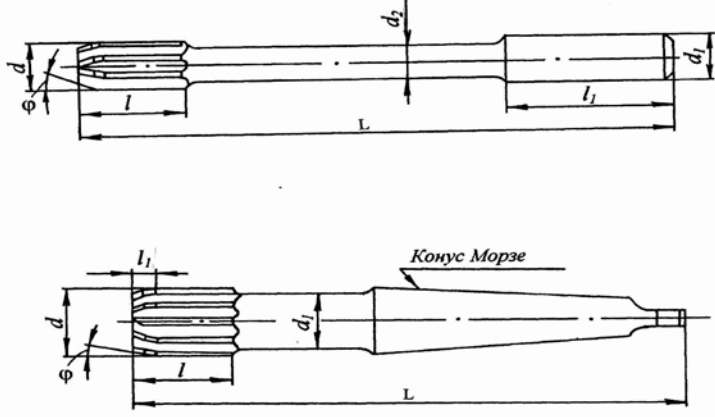
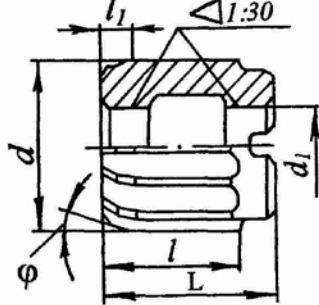
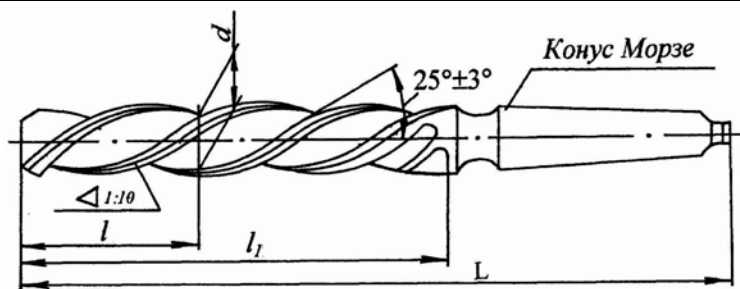
| Наименование, тип, назначение  | Эскиз  |
|--|--|
| Зенкеры цельные, насадные из быстрорежущей стали                                     |    |
| Зенкеры цельные с коническим хвостовиком из быстрорежущей стали                      |   |
| Зенкеры цельные, насадные из быстрорежущей стали                                     |  |
| Зенкеры цельные, с коническим хвостовиком, оснащенные пластинками из твердого сплава |  |

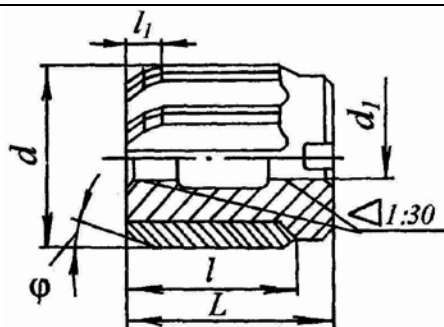
Таблица 3- Типы разверток

| Наименование, тип, назначение, эскиз   |
|--|
|  <p data-bbox="518 582 1077 627">Развертки ручные цилиндрические</p>  |
|  <p data-bbox="550 918 1045 963">Развертки ручные разжимные.</p> <p data-bbox="167 963 1428 1052">Регулирование по диаметру не менее 0,16 мм при <math>d = 8 \dots 10</math> мм; 0,25 мм при <math>d = 10 \dots 20</math> мм; 0,40 мм при <math>d &gt; 30</math> мм</p> |
|  <p data-bbox="231 1590 1364 1635">Развертки цельные с цилиндрическим (а) и коническим (б) хвостовиками</p>   |
|  <p data-bbox="470 2016 1125 2060">Развертки машинные цельные насадные</p>  |

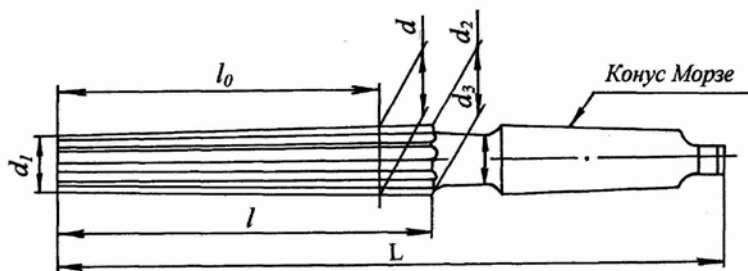




Развертки котельные машинные с левыми канавками и коническим хвостовиком для обработки отверстий под заклепки для корабельных и мостовых работ



Развертки машинные, оснащенные пластинками из твердого сплава, насадные



Развертки конические с коническим хвостовиком с прямыми и винтовыми канавками для обработки отверстий под конус Морзе, чистовые и предварительные

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

| Вид поверхности   | Способы обработки | Квалитет | Параметр шероховатости $R_a$ |
|---|-------------------|----------|------------------------------|
| Охватывающая (отверстия цилиндрической, конической, фасонной формы) | Сверление         | 11 – 13  | $R_a < 10$                   |
|   | Зенкерование      | 11       | $R_a < 0,063$                |
|   | Развертывание     | 7(6)     | $R_a < 0,32 (0,08)$          |

# ФРЕЗЫ

*Цель работы:* ознакомиться с типами фрез, произвести измерения их геометрических параметров; изучить средства и технику измерения геометрических параметров фрезы.

*Применяемые измерительные приборы и режущие инструменты:* универсальный угломер и угломер Бабчиничера; штангенциркуль; фрезы различных типов.

## 1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

*Фреза* – лезвийный инструмент для обработки с вращательным главным движением резания инструмента без возможности изменения радиуса траектории этого движения и хотя бы с одним движением подачи, направление которого не совпадает с осью вращения (ГОСТ 25751 – 83).

Фрезы классифицируются по назначению, по расположению зубьев относительно оси фрезы, по конструкции и креплению зубьев и другим признакам. Основные типы фрез представлены на рисунке 1.

*По назначению* фрезы делятся на: цилиндрические фрезы (рисунок 1. а), предназначенные для обработки открытых плоскостей; торцовые фрезы (рисунок 1. б) имеют зубья на цилиндрической и торцовой поверхностях, предназначенные для обработки открытых плоскостей (их изготавливают со вставными резцами, закрепленными в массивном корпусе); дисковые фрезы, предназначенные для обработки уступов, пазов, лысок, многогранных и других боковых плоскостей на прямоугольных и круглых заготовках; дисковые фрезы (одно-, двух- и трехсторонние). Режущие кромки трехсторонней дисковой фрезы (рисунок 1. в, 1. г) расположены на обоих торцах и на цилиндрической части. Зубья на цилиндрической части могут располагаться параллельно оси фрезы или под некоторым углом к ней. Двухсторонняя дисковая фреза имеет режущие кромки на одном торце и на цилиндрической части. Односторонняя дисковая фреза имеет режущие кромки только на цилиндрической части. Прорезные и отрезные фрезы (рисунок 1. д) применяют для прорезки узких пазов (шлицы винтов и др.) и отрезки (разрезания) заготовок. Концевые фрезы (ри-

сунок 1. *е*, 1. *ж*) применяют для обработки плоскостей, уступов, пазов и криволинейных контуров по разметке и копиру. Концевые фрезы имеют режущие кромки на цилиндрической части (обычно расположенные по винтовой линии) и на торце. Угловые фрезы (рисунок 1. *з*) применяют для изготовления поверхностей, расположенных под некоторым углом друг к другу. Фасонные фрезы (рисунок 1. *и*, 1. *к*) применяют для обработки сложно фасонных поверхностей; профиль фасонной фрезы должен соответствовать профилю обрабатываемой детали.

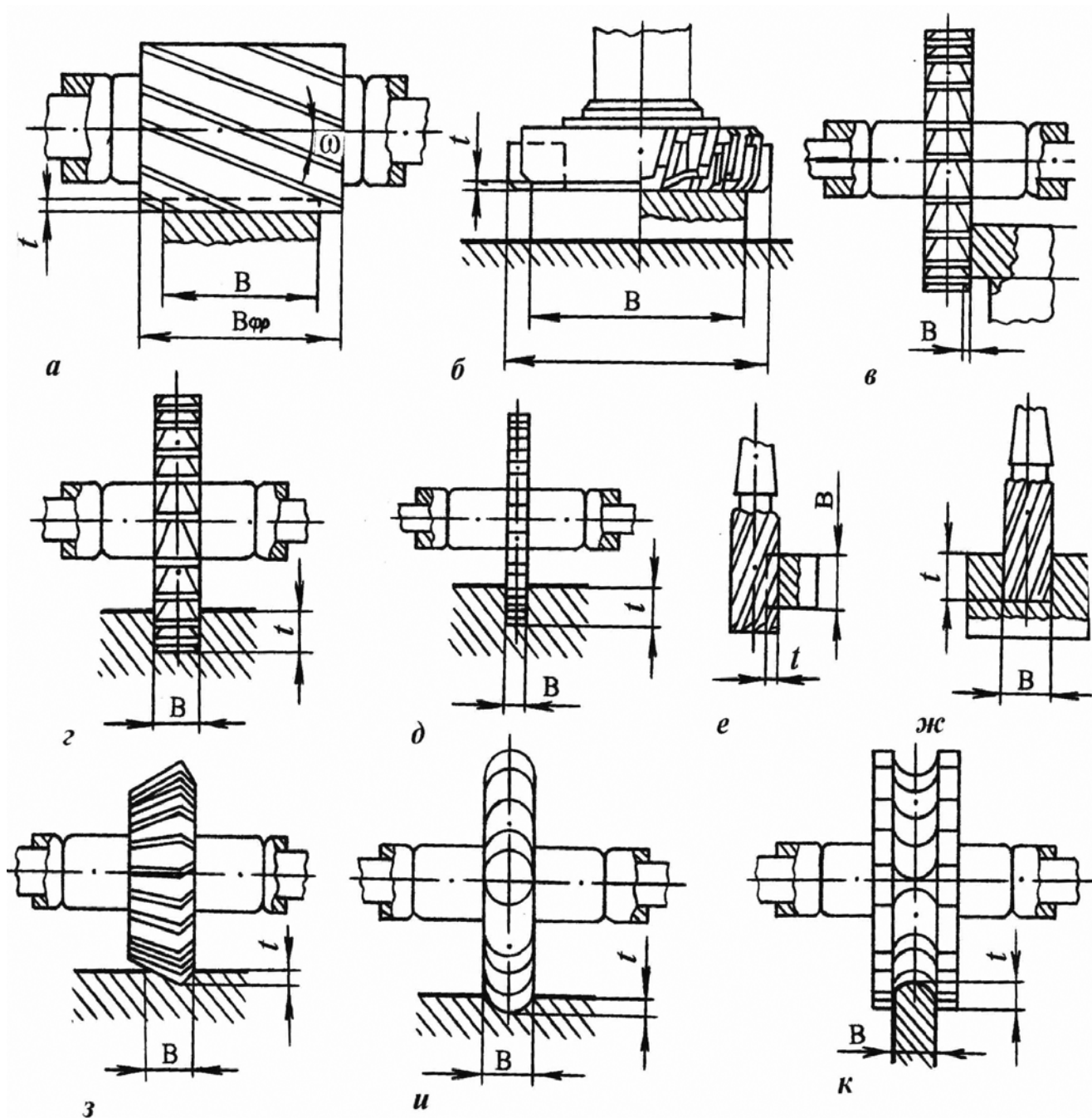


Рисунок 1 – Основные типы фрез

По конструкции зуба (рисунок 2) различают фрезы с остроконечным и затылованным зубом. У фрез с остроконечными зубьями предусмотрены передняя и задняя поверхности плоской формы, что упрощает изготовление фрез. К группе фрез с остроконечными зубьями относятся цилиндрические, торцовые, дисковые. Недостаток остроконечной конструкции зуба – уменьшение высоты  $H$  зуба после переточки по задней поверхности.

У фрез с затылованным зубом передняя поверхность плоская, а задняя выполнена в форме архимедовой спирали. Достоинством конструкции затылованного зуба является то, что при переточке по передней поверхности профиль режущей кромки сохраняется постоянным. Такая конструкция зуба применяется у фасонных фрез.

По способу крепления в каждой группе выделяют фрезы концевые, закрепляемые с помощью хвостовиков (их диаметр не превышает 80 мм), и фрезы насадные, закрепляемые на оправках или посадочных концах шпинделей станков (диаметр фрезы от 40 мм и более). Все размеры фрез стандартизованы.

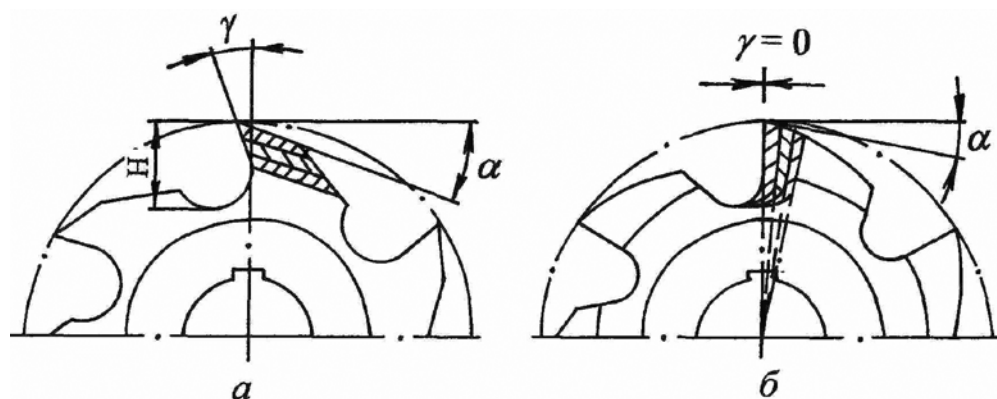


Рисунок 2 – Формы профилей зубьев: *a* – остроконечные; *б* - затылованный

Материал рабочей (режущей) части фрез: цельных – быстрорежущие стали, твердые сплавы; насадных – быстрорежущие стали, твердые сплавы, минераллокерамика, сверхтвердые синтетические материалы.

Фрезы из быстрорежущих сталей диаметром менее 12 мм – цельные (хвостовик и рабочая часть из быстрорежущих сталей). Фрезы с быстрорежущей рабочей частью диаметром более 12 мм – сварные.

Фрезы цельно-твердосплавные диаметром 5 мм, с цельно-твердосплавной рабочей частью, соединяемой со стальным хвостовиком пайкой, клейкой или другими

неразъемными способами, диаметром 5...22 мм.

Фрезы с диаметром свыше 12 мм оснащаются твердосплавными пластинами, припаяваемыми или приклеиваемыми к стальному корпусу.

Фрезы сборные оснащаются ножами цельными из быстрорежущих сталей или напайными с твердосплавными пластинами, напайными с режущими элементами из сверхтвердых материалов, соединенными с державками. Фрезы сборные оснащаются неперетачиваемыми пластинами из минералокерамики, без вольфрамовых и вольфрамосодержащих твердых сплавов, сверхтвердых материалов.

Ножи и пластины закрепляются непосредственно на корпусах, либо на державках или подкладках (неперетачиваемые пластины).

Материал корпусов и хвостовиков: сталь 45; 40Х; 50Х; 40ХНМА; 50ХФА. Материал державок сборных фрез – сталь 45; 40Х; У8; 9ХС; 40ХГНМ.

Главный передний угол  $\gamma$  у фрез определяется в плоскости, перпендикулярной к главной режущей кромке. Иногда передний угол задают в плоскости, перпендикулярной оси фрезы – поперечный передний угол  $\gamma'$ .

Между углами  $\gamma$  и  $\gamma'$  для цилиндрических, концевых и дисковых фрез со спиральными зубьями (рисунок 3) существует зависимость:

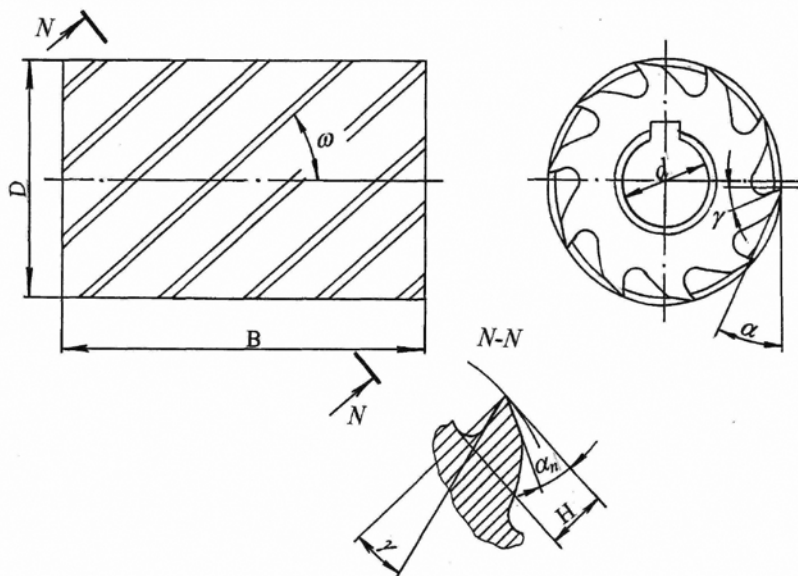


Рисунок 3 – Цилиндрическая насадная фреза со спиральным зубом

Главный задний угол  $\alpha$  рассматривается в плоскости перпендикулярной оси фрезы и образуется касательной к задней поверхности зуба фрезы в данной точке

режущей кромки, принимаемой за окружность.

Иногда задний угол рассматривается в плоскости, перпендикулярной главной режущей кромки – нормальный задний угол  $\alpha_n$ . Для цилиндрических фрез с винтовыми зубьями

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \alpha_n \cos \omega$$

Для фрез из быстрорежущей стали, главный передний угол  $\gamma$  в зависимости от качества обрабатываемого материала принимают в пределах  $5 \dots 30^\circ$ . Для торцовых твердосплавных фрез  $\gamma = (+10^\circ) \dots (-20^\circ)$ . Главный задний угол для различных фрез из быстрорежущей стали  $\alpha = 12^\circ \dots 30^\circ$ , для торцовых твердосплавных фрез  $\alpha = 10^\circ \dots 25^\circ$ .

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 По приложению А определить тип фрезы. Вычертить эскиз фрезы в двух проекциях (вид сбоку и торца) с сечениями для определения углов заточки фрезы.

2.2 Измерить штангенциркулем наружный диаметр  $D$ , ширину  $B$ , диаметр отверстия насадной фрезы  $d$  (диаметры отверстий стандартизованы и имеют значения 16, 19, 22, 27, 32, 40, 50 мм).

2.3 Измерить универсальным угломером угол наклона зуба фрезы (винтовой канавки)  $\omega$  (рисунок 4).

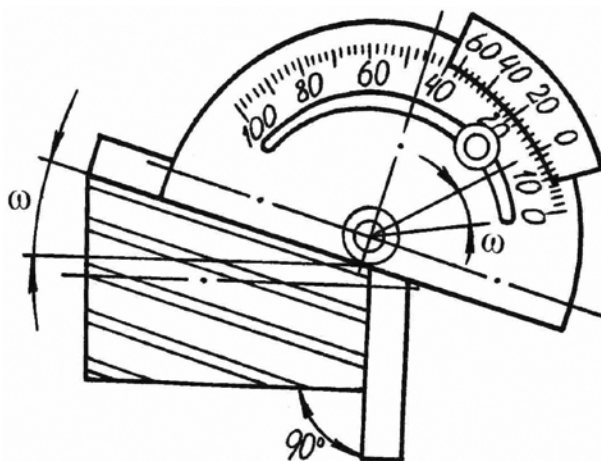


Рисунок 4 – Измерение угла наклона зуба фрезы  $\omega$

Одну линейку угломера прижать к торцу фрезы, а другую установить по касательной к винтовой линии режущей кромки зуба в точке ее пересечения с плоскостью торца фрезы.

2.4 Измерить поперечный передний угол  $\gamma$  и главный задний  $\alpha$  углы фрезы в

торцовом сечении (т.е. в плоскости, перпендикулярной оси фрезы).

Измерение углов  $\gamma$  и  $\alpha$  рекомендуется измерять с использованием угломера Бабчициера (рисунок 5).

Угломер Бабчициера состоит из круговой линейки 2 (со шкалой чисел зубьев фрезы  $z$ ), по которой вручную перемещают сектор 1 (со шкалами переднего и заднего углов).

Винтом 9 регулируют плавность передвижения сектора 1 по круговой линейке 2. На секторе 1 неподвижно закреплены планки 5 и 8. Планку 6 можно перемещать относительно сектора 1 и фиксировать винтом 7. Линейка (планка) 3 пазом входит в выступ круговой линейки 2 и закрепляется фиксатором 4. Измерительные плоскости А и Б планок 5 и 6 расположены под углом  $90^\circ$ .

При измерении переднего угла (рисунок 5. а) измерительную поверхность планки 6 совместить с передней поверхностью зуба фрезы при расположении линейки 3 на режущей кромке соседнего зуба.

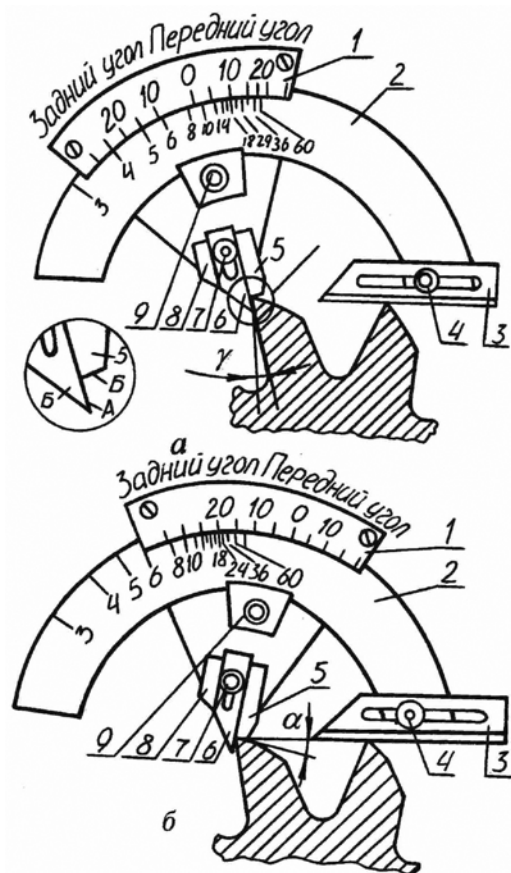


Рисунок 5 – Измерение углов фрезы угломером Бабчициера:  
а – переднего; б - заднего

Затем на шкале круговой линейки 2 найти риску, соответствующую числу зубьев  $z$  измеряемой фрезы, и против этой риски на шкале «передний угол» считать значение переднего угла  $\gamma'$ . При измерении заднего угла (рисунок 5. б) измерительную поверхность планки 5 совместить с задней поверхностью зуба фрезы. На шкале «задний угол» против риски, соответствующей числу  $z$ , определить значение заднего угла  $\alpha$ .

2.5. Рассчитать главный передний угол  $\gamma$  по формуле:

$$\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \gamma' \cos \omega$$

2.6 Определить окружной шаг зубьев:

$$t_s = \pi D / z,$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм.

2.7 Рассчитать шаг в нормальном сечении зубьев:

$$t_n = t_s \cos \omega = \frac{\pi D}{z} \cos \omega$$

2.8 Установить область применения фрезы, исходя из характера обработки, выполняемой фрезой.

### **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Характеристика фрезы (наименование, конструкция фрезы, конструкция зуба, марка материала зубьев).

3.2 Эскиз фрезы.

3.3 Результаты измерений основных размеров и углов.

3.4 Область применения фрезы.

### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Как различают фрезы по форме?

2. Как различают фрезы по технологическому признаку?

3. Как различают фрезы по направлению зуба?



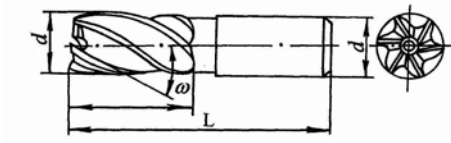
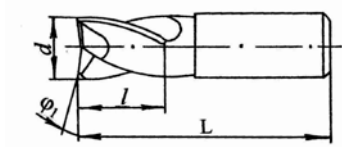
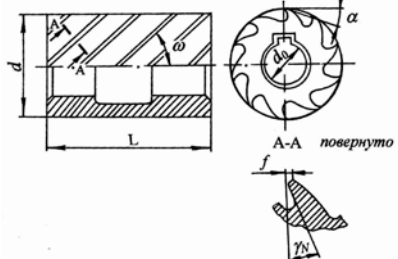
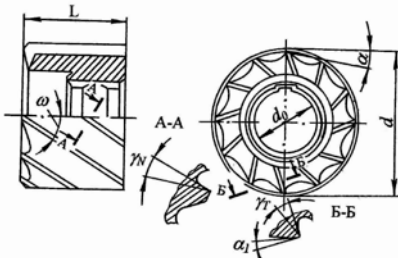
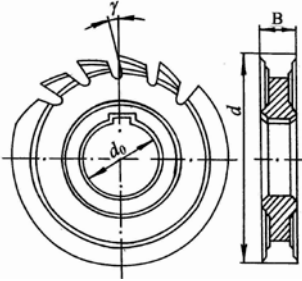
4. Как различают фрезы по конструкции зуба и способу крепления?
5. Какие типы фрез применяются для обработки открытых плоскостей и какие из них наиболее производительны?
6. Какие типы фрез применяются для обработки уступов, пазов, канавок и какие из них наиболее производительны?
7. Какие типы фрез применяются для обработки резьб и на каких станках?
8. Какие типы фрез применяются для обработки сложно – фасонных поверхностей?
9. Каким угломером пользуются для измерения углов фрез?
10. Перечислите режимы резания при фрезеровании с указанием расчетных формул.
11. Перечислите виды подачи при фрезеровании и напишите их формулы.
12. Напишите формулу расчета машинного времени при фрезеровании цилиндрическими и торцовыми фрезами.

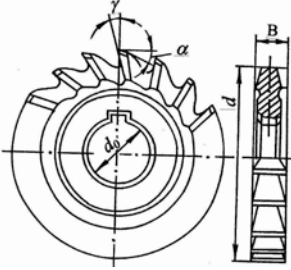
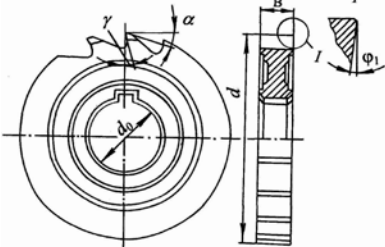
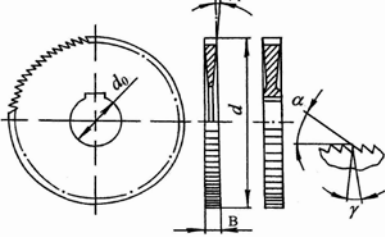
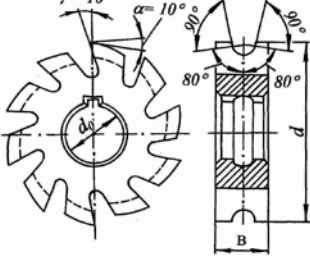
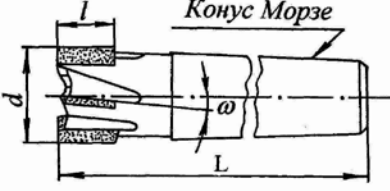
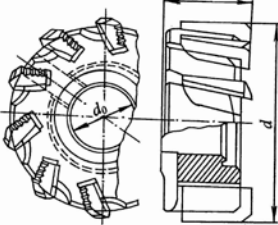
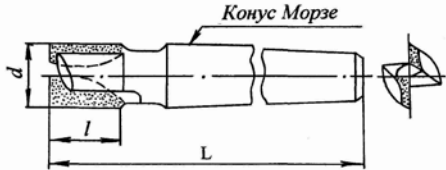
## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ящерицына П. И. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011
2. Багдасарова Т. А. Основы резания металлов: учеб. Пособие - М.: Академия, 2012
- А. М. Михальченков, Л. С. Киселева, И. В. Козарез, А. А. Тюрева Практикум по технологии конструкционных материалов. Ч. 2. : Обработка металлов резанием - Брянская ГСХА, 2002

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1 – Типы цельных фрез

| Наименование, тип, назначение                               | Эскиз  |
|---|--|
| <b>Фрезы из быстрорежущей стали</b>                         |  |
| Фрезы концевые с цилиндрическим хвостовиком (ГОСТ 17025-71) |    |
| Фрезы шпоночные (ГОСТ 9140-78)                              |   |
| Фрезы цилиндрические (ГОСТ 3752-71)                         |  |
| Фрезы торцовые насадные (ГОСТ 9304-69)                      |  |
| Фрезы пазовые затылованные (ГОСТ 8543-71)                   |  |

|  |  |
|--|--|
| <p>Фрезы дисковые трехсторонние<br/>(ГОСТ 3755-78)</p>                         |    |
| <p>Фрезы дисковые пазовые<br/>(ГОСТ 3964-69)</p>                               |    |
| <p>Фрезы прорезные (шлицевые) и отрезные<br/>(ГОСТ 2679-73)</p>                |    |
| <p>Фрезы полукруглые вогнутые и выпуклые<br/>(ГОСТ 9305-69)</p>                |  |
| <p>Фрезы концевые с коническим хвостовиком, оснащенные прямыми пластинками</p> |  |
| <p>Фрезы торцовые насадные со вставными ножами<br/>(ГОСТ 1092-80)</p>          |  |
| <p>Фрезы шпоночные<br/>(ГОСТ 6396-78)</p>                                      |  |

# ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТЯЖЕК

*Цель работы:* Ознакомиться с типами протяжек, изучить средства и технику измерения геометрических параметров протяжки и произвести их измерения.

*Применяемые измерительные и режущие инструменты:* Измерительная линейка, штангенциркуль, микрометр, настольный угломер, бабки с центрами, протяжки.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Протягивание применяют в серийном и массовом производствах для обработки круглых и фасонных отверстий, пазов, наружных поверхностей и режущих тел вращения. Протягивание обеспечивает получение изделий высокой точности (до 6-го качества) с высоким качеством обработанной поверхности ( $R_a$  до 0,32 мкм). Протягиванию предшествует предварительная обработка отверстия сверлом, резцом или зенкером.

*Протяжка* – многолезвийный инструмент с рядом последовательно выступающих одно над другим лезвий в направлении, перпендикулярном к направлению скорости главного движения, предназначенный для обработки при поступательном или вращательном главном движении резания и отсутствием движения подачи (ГОСТ 25751-83).

Протяжки классифицируются: по назначению, по конструкции, по материалу рабочей части (приложение А).

*По назначению* протяжки классифицируются: протяжки круглые; протяжки для отверстий нецилиндрических; протяжки шлицевые прямобочные; протяжки шлицевые из стали с эвольвентным, треугольным и другими профилями; протяжки шпоночные; протяжки плоские.

Разновидностью протягивания является прошивание (инструмент, прошивка, работает на сжатие и продольный изгиб в отличие от протяжки, работающей на растяжение) отверстий, пазов и других поверхностей и деформирующая обработка (вместо срезания припуска осуществляется пластическая его деформация деформирующими протяжками).

По конструкции различают: цельные, т.е. хвостовики (задние и передние) выполняются заодно с протяжкой; сварные, когда хвостовики привариваются к ней; с механическим креплением хвостовиков. Цельными выполняются протяжки из быстрорежущей стали и стали ХВГ для цилиндрических шлицевых отверстий диаметром до 18 мм, для гранных отверстий с диаметром описанной окружности до 18 мм, шпоночные – шириной до 20 мм.

Допускается, изготовление протяжек из быстрорежущей стали для обработки цилиндрических и шлицевых отверстий диаметром свыше 60 мм и протяжки для заготовок массового производства. Они выполняются цельными.

Материал хвостовика сварных протяжек – сталь 40Х, материал хвостовика протяжек с механическим креплением хвостовика – конструкционная или инструментальная сталь.

Рабочая часть выполняется из стали ХВГ, быстрорежущей стали, твердых сплавов. У сборных протяжек из перечисленных материалов выполняются режущие, калибрующие и деформирующие элементы, а у специальных протяжек, оснащаемых режущими пластинами, последние могут выполняться из быстрорежущих сталей, твердых сплавов, минералокерамики и сверхтвердых материалов.

Протяжка состоит из следующих основных частей (рисунок 1. а):  $l_1$  – замковая часть (хвостовик), служащая для закрепления протяжки в суппорте станка;  $l_2$  – шейка;  $l_3$  – передняя направляющая, служащая для центрирования обрабатываемой детали в начале резания, по форме поперечного сечения эта часть соответствует профилю предварительно обработанного отверстия;  $l_4$  – режущая часть, каждый режущий зуб больше предыдущего на величину  $s_z = 0,01 \dots 0,2$  мм;  $l_5$  – калибрующая часть, имеет 4...8 зубьев одинакового диаметра и предназначена для окончательной зачистки обработанной поверхности, а также служит резервом при переточке протяжки;  $l_6$  – задняя направляющая часть, поддерживающая протяжку от провисания.

На рисунке 1. б, в показаны профили режущих и калибрующих зубьев протяжки. Передние и задние углы на зубьях протяжки измеряют в плоскости, перпендикулярной к главной режущей кромке. Передний угол выбирают в зависимости от свойств обрабатываемого материала в пределах  $5 \dots 20^\circ$ . Чем более вязок металл, тем

больше должен быть передний угол. На калибрующих зубьях  $\gamma = 0 \dots 5^\circ$ . Задний угол режущих зубьев протяжки  $\alpha$ , обрабатывающей внутренние поверхности, берется в пределах  $2 \dots 4^\circ$ ; обрабатывающих наружные поверхности – в пределах  $5 \dots 10^\circ$ . На калибрующих зубьях  $\alpha_k = 30 \dots 2^\circ$ ; кроме того, на этих зубьях делают ленточку шириной  $f = 0,2 \dots 1$  мм (Для изучения могут быть представлены круглые, шлицевые и шпоночные протяжки).

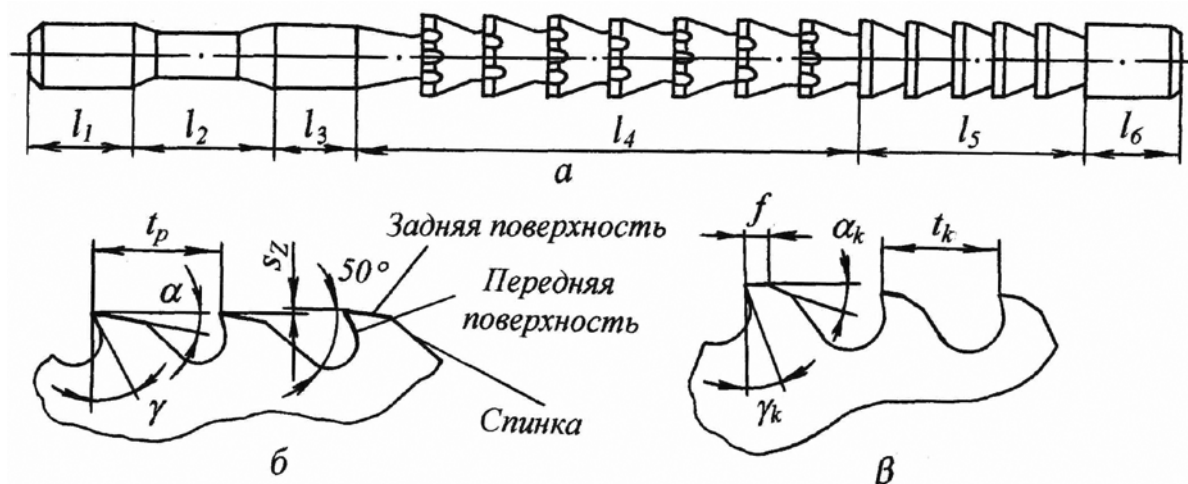


Рисунок 1 – Протяжка и ее части: *a* – общий вид протяжки; *б* – режущие зубья; *в* – калибрующие

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

2.1 По выданному преподавателем инструменту определить согласно приложения А тип и вычертить эскиз протяжки в одной проекции с выполнением элементов профиля режущей и калибрующей части.

2.2 С помощью измерительной линейки и штангенциркуля измерить основные линейные размеры протяжки: общую длину протяжки  $L$ , длину хвостовика  $l_1$ , шейку  $l_2$ , переднюю направляющую часть  $l_3$ ,  $l_4$  – режущую часть,  $l_5$  – калибрующую часть,  $l_6$  – заднюю направляющую часть, шаг режущих зубьев  $t_p$ , шаг калибрующих зубьев  $t_k$ , фаску  $f$  на калибрующих зубьях.

2.3 С помощью микрометра определить подачу на зуб протяжки  $s_z$  (для круглой шлицевой протяжки замерить диаметры четырех первых режущих зубьев  $d_1, d_2, d_3, d_4$ ; для шпоночной протяжки измерить высоту протяжки по четырем первым режущим зубьям  $h_1, h_2, h_3, h_4$ ).

Подачу на зуб для круглой шлицевой протяжки рассчитать по формулам:

$$s_{z2} = \frac{d_2 - d_1}{2}; \quad s_{z3} = \frac{d_3 - d_2}{2}; \quad s_{z4} = \frac{d_4 - d_3}{2};$$

Для шпоночной протяжки:

$$s_{z2} = h_2 - h_1; \quad s_{z3} = h_3 - h_2; \quad s_{z4} = h_4 - h_3.$$

Среднее значение подачи на зуб:

$$s_z = \frac{s_{z2} + s_{z3} + s_{z4}}{3}$$

2.4 Измеряя микрометром, диаметр  $d$  (для круглых или шлицевых) или высоту  $h$  (для шпоночных) протяжки, начиная с калибрующей части, определить число калибрующих зубьев. Для калибрующей части протяжек  $d$  и  $h$  постоянные значения.

2.5 На разметочной плите установить две бабки с центрами и между ними в центровых гнездах закрепить протяжку (рисунок 2) и измерить передние и задние углы режущих и калибрующих зубьев протяжки настольным угломером (конструкция угломера несколько отличается от конструкции угломера для измерения углов у токарных резцов). При измерении заднего угла  $\alpha$  измерительную линейку прижать к задней поверхности зуба протяжки (рисунок 2. а). По шкале угломера  $C$  зафиксировать значение угла  $\alpha$ . Измерить передний угол, для чего измерительную линейку совместить с передней поверхностью, и на шкале  $C$  считать значение угла  $\gamma$  (рисунок 2. б)

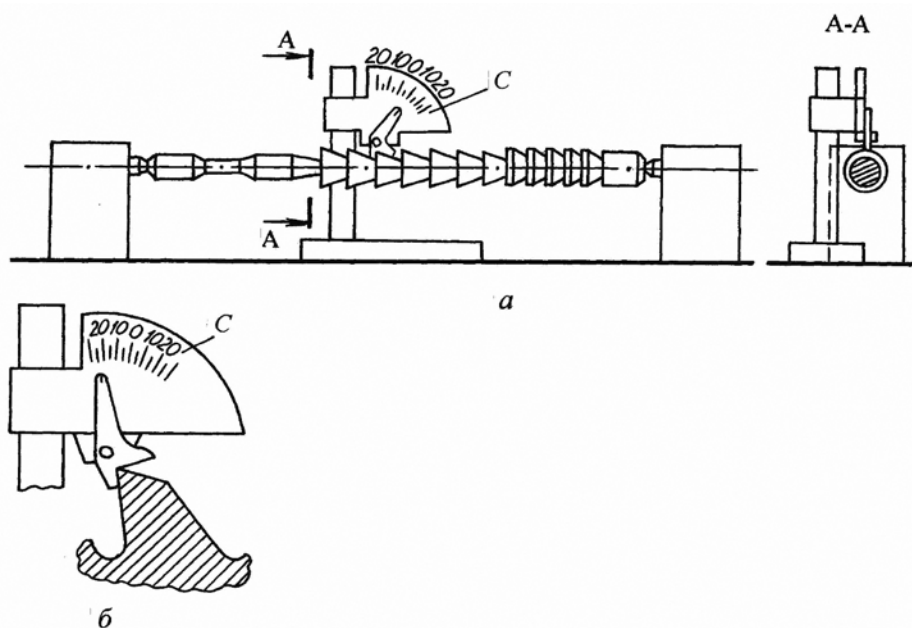


Рисунок 2 – Измерение углов протяжки: а – заднего; б - переднего

### **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- 3.1 Характеристика протяжки (наименование, марка материала зубьев и хвостовика).
- 3.2. Эскиз протяжки.
- 3.3. Результаты измерений основных размеров и углов протяжки.
- 3.4. Тип и область применения протяжки (приложение А).

### **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

- 1 Протягивание, применение протягивания.
2. Протяжка – определение.
3. Классификация протяжек по назначению.
4. Как различают протяжки по способу крепления хвостовика?
5. Назначение основных частей протяжки.
6. Сколько калибрующих зубьев может быть у протяжки?
7. Перечислите элементы режима резания при протягивании.
8. Как определяется подача на зуб для круглой и шпоночной протяжек?
9. Что является разновидностью протягивания, и каким инструментом выполняется?
10. Какие материалы применяются для изготовления протяжек?
11. Измерительные инструменты для измерения размеров и углов протяжки.

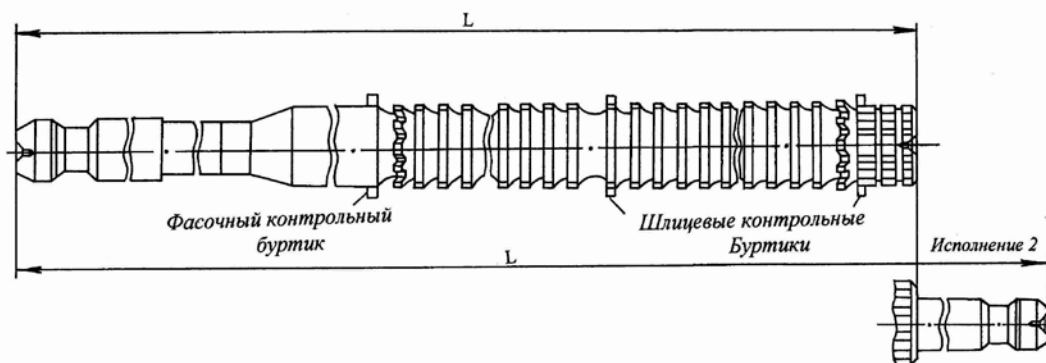
### **ЛИТЕРАТУРА**

1. . Ящерицына П. И. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011
2. Багдасарова Т. А. Основы резания металлов: учеб. Пособие - М.: Академия, 2012
- А. М. Михальченков, Л. С. Киселева, И. В. Козарез, А. А. Тюрева Практикум по технологии конструкционных материалов. Ч. 2.: Обработка металлов резанием - Брянская ГСХА, 2002

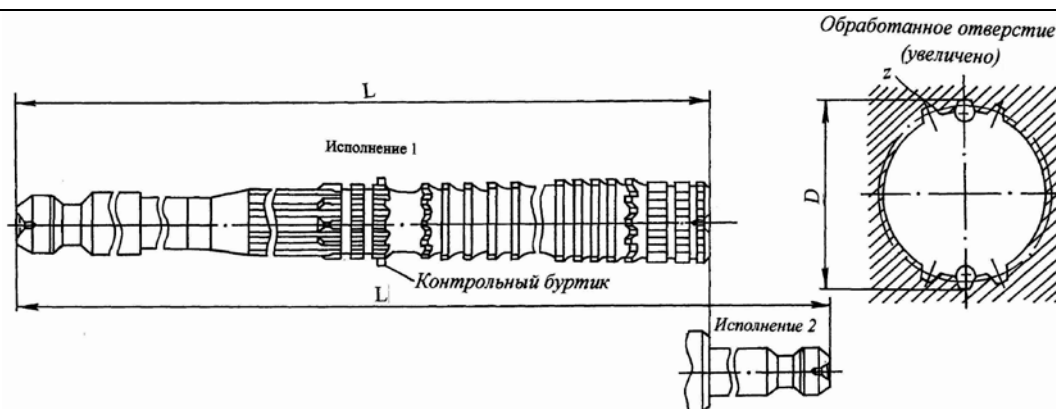


Таблица 1 – Типы протяжек

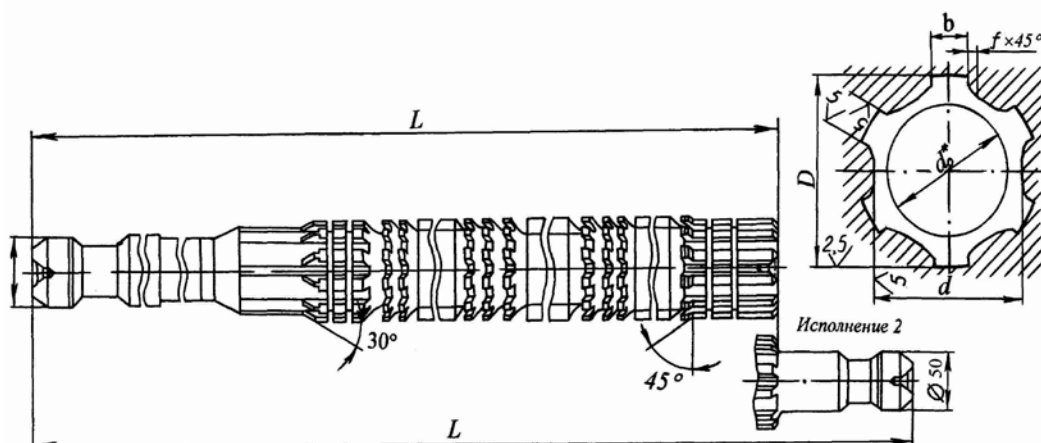
Наименование, назначение и эскиз протяжки



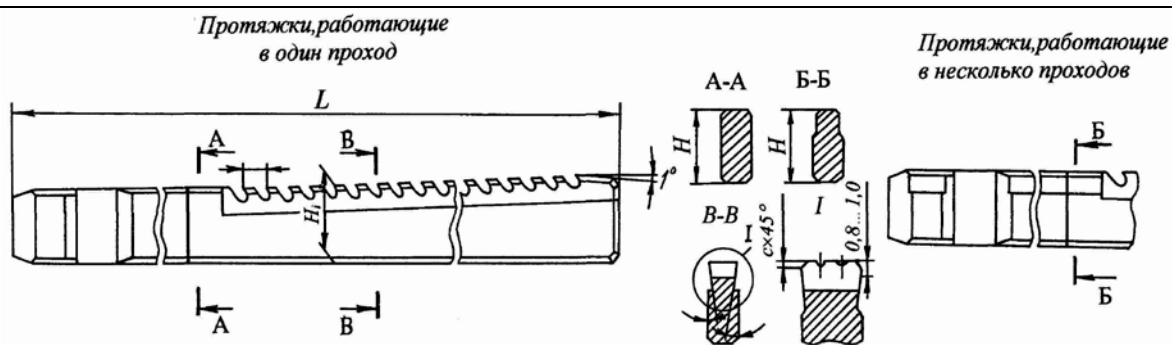
Протяжка 1-го прохода для шлицевых отверстий с эвольвентным профилем



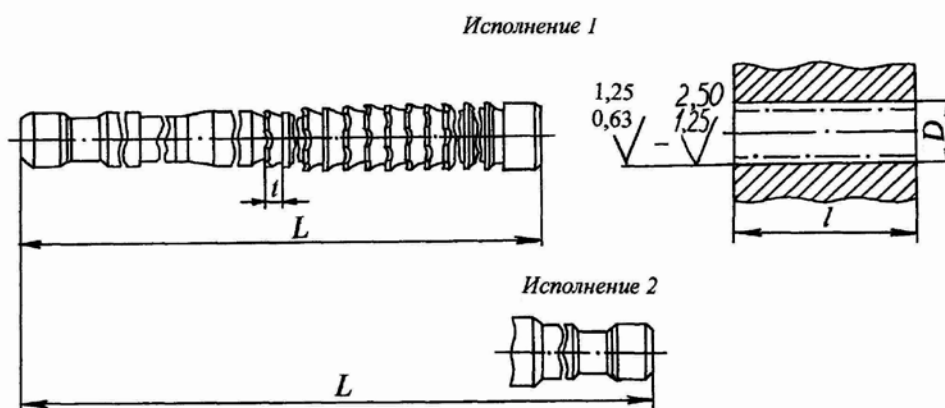
Протяжка 2-го прохода для шлицевых отверстий с эвольвентным профилем



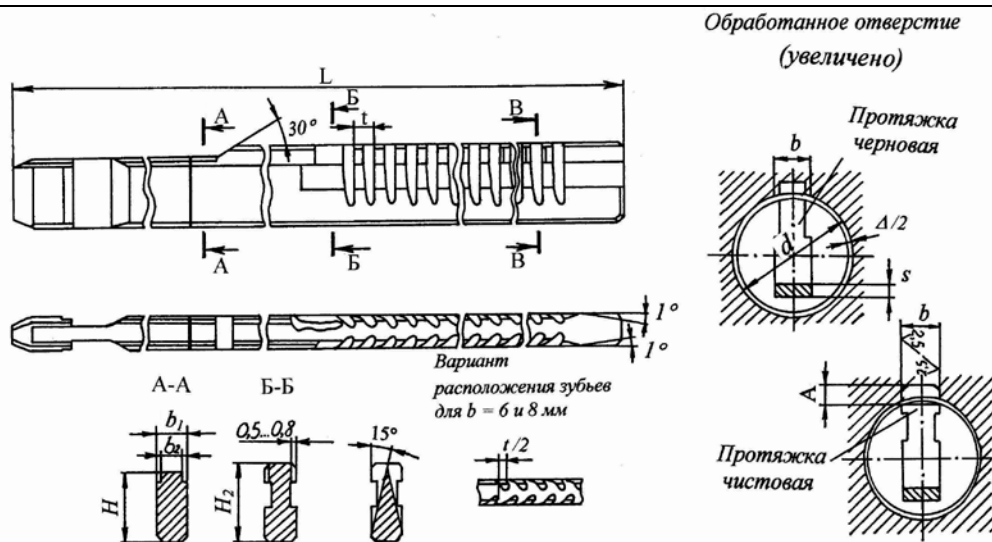
Протяжка 2-го прохода для шлицевых отверстий с прямобочным профилем



Протяжка шпоночная для обработки шпоночных пазов с полями допусков js9, D10



Протяжки круглые переменного резания универсальные для обработки цилиндрических отверстий



Протяжка шпоночная для пазов повышенной чистоты

# УСТРОЙСТВО И НАСТРОЙКА ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ НА НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ, ПРОСТОЕ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ (СЛОЖНОЕ) ДЕЛЕНИЕ

*Цель работы:* Изучить конструкцию делительной головки и освоить ее настройку на простое и дифференциальное деления.

*Применяемое оборудование и инструмент:* делительная головка с паспортом и задняя бабка к ней, оправки для крепления заготовки и инструмента, заготовки, машинные тиски, хомутик, набор гаечных ключей, мерительный инструмент: штангенциркуль, универсальный угломер, зубомер.

## 1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Универсальную делительную головку применяют обычно на фрезерных станках, а также она может быть использована на расточных, сверлильных, долбежных станках и как самостоятельное приспособление при разметке. Их используют при изготовлении различных инструментов (фрез, разверток, зенкеров, метчиков), нормализованных деталей машин (головки болтов, грани гаек, корончатые гайки), при фрезеровании зубчатых колес, пазов и шлицев на торцах (зубчатые муфты) и других деталей.

Делительная головка предназначена для деления окружности заготовки на равные и неравные части (например, при фрезеровании многогранника, зубьев колес дисковой фрезой) и для придания ей непрерывного вращения, согласованного с продольной подачей (например, фрезерование спиральных канавок, нарезание зубьев косозубых колес) дисковой модульной фрезой.

Делительные головки бывают: *лимбовые* с делительными дисками (непосредственного деления, простого деления, полууниверсальные, универсальные) с зубчатым планетарным механизмом и набором сменных зубчатых колес; *оптические* (для точных делений и контрольных операций).

Обычно делительные головки изготавливают одношпindelными.

Для установки на столе фрезерного станка делительной головки и задней бабки (если она необходима) следует:

- очистить стол и пазы от стружки, смазать тонким слоем смазки плоскости стола и основания делительной головки;
- установить делительную головку и заднюю бабку фиксирующими сухарями в средний паз стола;
- закрепить делительную головку и заднюю бабку на столе станка;
- проверить совпадение центров передней и задней бабок и головки с помощью контрольного валика или горизонтальность (вертикальность) расположения заготовки, закрепленной в кулачковом патроне делительной головки;
- если заготовка устанавливается в центрах, надеть на нее хомутик, загнутый конец которого вставить в вырез (отверстие) шпинделя головки.;
- при фрезеровании пазов на торце вала и при вертикальном положении шпинделя делительной головки проверить перпендикулярность фрезы поверхности обрабатываемого торца заготовки.

В зависимости от размера и конструкции заготовки могут быть установлены и закреплены в делительных головках одним из следующих способов: в центрах делительной головки и задней бабки; на оправке, установленной в коническом гнезде шпинделя; в трехкулачковом патроне, повернутом на резьбовой конец шпинделя делительной головки; в цанговых патронах и т.д.

К универсальным делительным головкам прилагается комплект сменных зубчатых колес, используемых при дифференциальном делении и фрезеровании винтовых канавок, задняя бабка, две гитары, патрон с планшайбой, оправки и др.

*Универсальная делительная головка* (рисунок 1) состоит из корпуса 5, делительного диска (лимба) 4, шпинделя 7, задней бабки 9. Заготовку устанавливают в центрах делительной головки и задней бабки, ее можно крепить также в патроне, который наворачивается на резьбовой конец шпинделя. Отсчет поворота рукоятки 1 с фиксатором 2 и соответственно заготовки на требуемый угол осуществляется с помощью лимба 4. Лимб имеет несколько рядов отверстий, равномерно расположенных на concentрических окружностях. Для удобства отсчета используют раздвижной сектор 3.

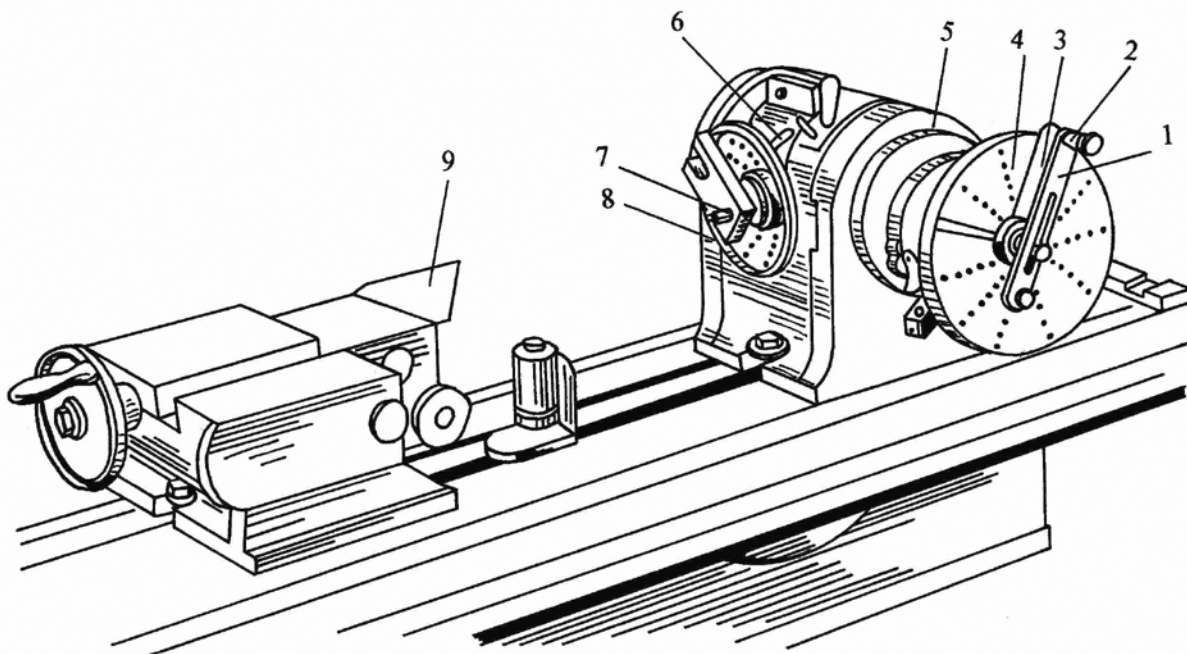


Рисунок 1 – Универсальная лимбовая делительная головка

В зависимости от вида выполняемых работ универсальную головку можно налаживать на непосредственное, простое и дифференциальное деление.

*Непосредственное деление* применяется для деления без остатка окружности на определенное число частей (3, 4, 6 и т.д.). Для этого однозаходный червяк находящийся внутри головки, выводят из зацепления с червячным колесом и рукояткой 1 (рисунок 1), выводят фиксатор из лимба 4 непосредственного деления. Лимб можно поворачивать вручную на требуемый угол, пользуясь градусной шкалой или отверстиями, просверленными на его тыльной стороне.

На концентрических окружностях диска находится определенное количество отверстий с одной стороны 31, 30, 29, 23, 21, 19, 17, 16 и с другой стороны 54, 49, 47, 43, 41, 39, 37, 33.

После поворота на нужный угол лимб закрепляется фиксатором, входящим в соответствующее отверстие лимба непосредственного деления.

Число промежутков между отверстиями выбранного делительного круга на делительном диске, пропускаемых при повороте шпинделя головки, определяется по формуле:

$$n = \frac{a}{z}$$

где  $a$  - число отверстий выбранного круга на диске;  
 $z$  - заданное число делений

У некоторых делительных головок отсчет угла поворота производится по градуированному на  $360^\circ$  диску с ценой деления  $1^\circ$ . Угол поворота шпинделя при делении на  $z$  частей определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{360}{z}$$

где  $\alpha$  - угол поворота шпинделя, град. ;  
 $z$  - заданное число делений

При каждом повороте шпинделя головки к отсчету, соответствующему положению шпинделя до поворота, следует прибавлять величину  $\alpha$ , найденную по формуле.

*Простое деление* (рисунок 2) применяется тогда, когда на делительном диске (лимбе) можно подобрать концентрическую окружность для отсчета. Однозаходный червяк введен в зацепление с червячным колесом. Делительный диск 1 с помощью защелки 3 закрепляется неподвижно. Поворот шпинделя с заготовкой на  $1/z$  часть ( $z$  – число частей, на которое требуется выполнить деление) должен быть произведен за  $n$  оборотов рукоятки 2.

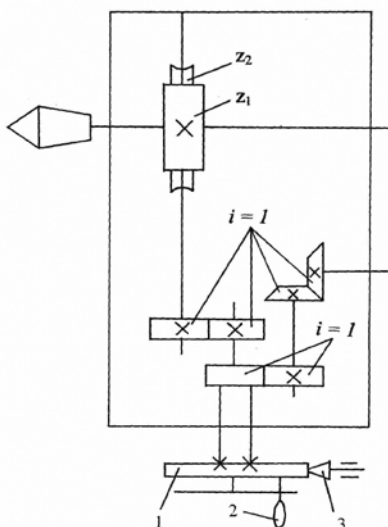


Рисунок 2 – Схема наладки универсальной делительной головки на простое деление

Конечные звенья данной кинематической цепи: *рукоятка универсальной делительной головки – шпиндель с заготовкой.*

Расчетные перемещения конечных звеньев:

$$n_{рук} \rightarrow \frac{1}{z} \text{ оборотов заготовки}$$

Уравнение кинематического баланса цепи при делительном повороте заготовки запишется так:

$$n_{рук} \cdot i_{зуб.} \cdot i_{черв.} = \frac{1}{z},$$

где  $i_{зуб.} = 1$ ;  $i_{черв.} = \frac{1}{40}$ .

Тогда

$$n_{рук.} \cdot 1 \cdot \frac{1}{40} = \frac{1}{z}.$$

Формула наладки универсальной делительной головки имеет вид:

$$n_{рук.} = \frac{40}{z}.$$

Величина, обратная передаточному отношению червячной пары, называется характеристикой делительной головки.

Число зубьев червячного колеса составляет 40, но бывает 60, 80, 120.

Преобразуя предыдущую формулу, получим

$$n_{рук.} = \frac{40}{z} = a + \frac{b}{c}$$

где  $a$  – целое число оборотов рукоятки;

$c$  – число отверстий в одном из рядов делительного диска;

$b$  – число отверстий (шагов), на которое надо дополнительно повернуть рукоятку.

Делительные диски универсальных делительных головок имеют ряд концентрических окружностей со следующим количеством отверстий:

с одной стороны – 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30, 31;

с другой стороны – 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49, 54.

Делительный диск крепится к головке четырьмя винтами и может при необходимости поворачиваться. Для поворота рукоятки делительной головки на часть оборота используется раздвижной сектор с двумя линейками, подпружиненными между собой от самопроизвольного поворота. Пользование раздвижным сектором существенно снижает возможность появления брака в результате неточного отсчета угла поворота (числа отверстий) при фрезеровании многогранников, зубчатых колес.

*Пример.* Отфрезеровать головку болта, имеющего 6 граней.

Определяем значение  $n$  для данного случая

$$n = \frac{40}{6} = 6\frac{2}{3}$$

Рукоятку следует повернуть на 6 полных оборотов и  $2/3$  оборота. Чтобы повернуть рукоятку на  $2/3$  оборота, необходимо подобрать такую делительную окружность на лимбе делительной головки, число отверстий, на которой делилось бы на 3, например, 21, 30, 54. Если взять окружность с 30-ю отверстиями, то, умножая числитель и знаменатель на 10, имеем

$$n = 6\frac{2}{3} = 6\frac{20}{30}$$

Таким образом, рукоятку после фрезерования каждой грани болта следует поворачивать на 6 полных оборотов и 20 шагов между отверстиями по делительной окружности с числом отверстий 30.

*Дифференциальное деление* (рисунок 3) применяется тогда, когда из-за ограниченного количества отверстий на делительном диске нельзя применить простое деление.

Обороты рукоятки делительной головки при дифференциальном делении определяют по формуле

$$n_{\text{рук.}} = 40/y,$$

где  $y$  – близкое к  $z$  число, кратное хотя бы одному числу отверстий на делительном диске и имеющему общие множители с числом 40.



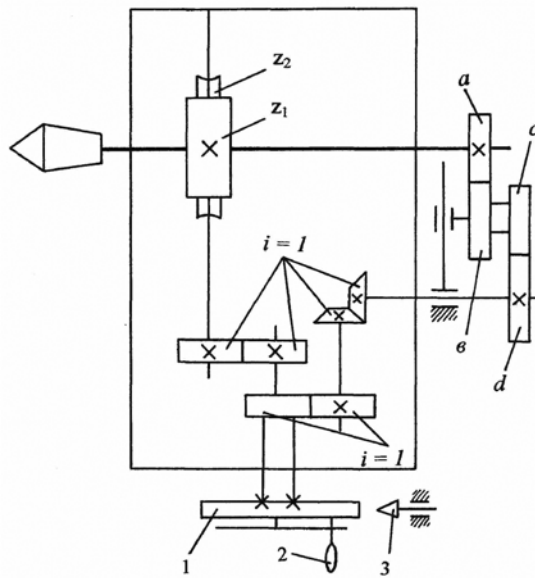


Рисунок 3 – Схема наладки универсальной делительной головки на дифференциальное деление

В делительный поворот рукоятки вводится погрешность. Погрешность устраняется поворотом делительного диска (защелка 3 отводится вправо), который получает вращение от шпинделя делительной головки через гитару сменных зубчатых

колес  $\frac{a}{b} \frac{c}{d}$  и коническую пару зубчатых колес.

Погрешность в повороте рукоятки на один шаг (зуб) заготовки составит

$$n_{рук.} = \frac{40}{z} - \frac{40}{y},$$

а погрешность в повороте рукоятки на полный оборот заготовки в  $z$  раз больше:

$$n_{рук.} = z \left( \frac{40}{z} - \frac{40}{y} \right).$$

Преобразуя это выражение, получим формулу наладки гитары сменных зубчатых колес:

$$n_{рук.} = \frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{40}{y} (y - z)$$

Если  $y > z$ , то делительный диск должен вращаться по часовой стрелке, т.е. по направлению вращения рукоятки делительной головки.

Если  $y < z$ , то делительный диск должен вращаться против часовой стрелки, т.е. навстречу вращения рукоятки делительной головки. Для этого в гитару сменных зубчатых колес необходимо установить дополнительную паразитную шестерню.

С универсальной делительной головкой поставляется набор сменных зубчатых колес с числами зубьев: 20, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90, 100.

*Пример.* Наладить универсальную делительную головку для нарезания зубчатого колеса с числом зубьев  $z = 73$ .

$$n_{рук.} = \frac{40}{z} = \frac{40}{73} \text{ (простое деление неприменимо).}$$

Задаемся  $y = 75$ , тогда

$$n_{рук.} = \frac{40}{y} = \frac{40}{75} = \frac{40 : 5}{75 : 5} = \frac{8 \cdot 2}{15 \cdot 2} = \frac{16}{30}.$$

Выбираем концентрическую окружность с 30-ю отверстиями и раздвигаем линейки сектора на шестнадцать промежутков. Подбираем сменные зубчатые колеса гитары:

$$\frac{a}{b} \frac{c}{d} = \frac{40}{y} (y - z) = \frac{40}{75} (75 - 73) = \frac{80}{75} = \frac{10 \cdot 8}{15 \cdot 5} = \frac{60}{90} \frac{80}{50}.$$

Обязательно проверяют условия зацепляемости сменных зубчатых колес:

$$a + b \geq c + (15 \dots 22);$$

$$c + d \geq b + (15 \dots 22),$$

а также межцентровое расстояние, зная модуль сменных зубчатых колес.

*Наладка универсально-фрезерного станка и делительной головки на фрезерование винтовых канавок.* Для получения на заготовке винтовых канавок необходимо следующее рабочее движение: вращение шпинделя с фрезой, продольная подача

стола с заготовкой и вращательное движение заготовки, кинематически связанное с продольной подачей стола.

Скорость продольного перемещения стола с заготовкой зависит от выбранной величины подачи, а скорость вращения заготовки – от величины шага фрезеруемой канавки.

Схема наладки универсально-фрезерного станка и лимбовой делительной головки на обработку винтового зуба представлена на рисунке 4: 1 – заготовка; 2 – оправка; 3 – стол станка; 4-6 – делительный диск; 7 – фиксатор; 8 – рукоятка;  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$ ,  $d_1$  – сменные зубчатые колеса;  $\alpha$  и  $\beta$  – соответственно угол подъема фрезеруемой винтовой канавки к торцу заготовки и угол наклона канавки к оси заготовки;  $D$  – диаметр заготовки;  $T_{в.к}$  – шаг фрезеруемой канавки;  $P_{х.в}$  – шаг ходового винта станка.

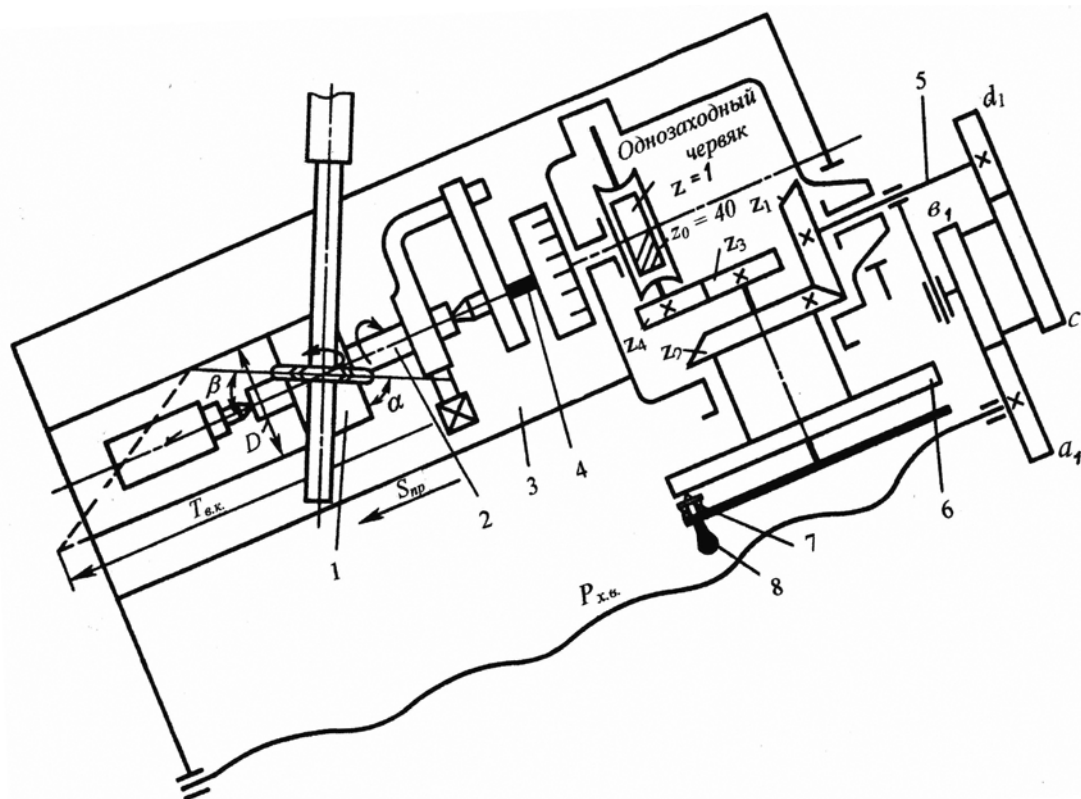


Рисунок 4 – Схема наладки универсально-фрезерного станка и делительной головки на фрезерование винтовых канавок

Заготовка 1 на оправке 2 устанавливается в центрах на столе 3 станка, а через хомут получает вращение от шпинделя 4 делительной головки.

Шпиндель делительной головки получает вращение от ходового винта продольной подачи стола станка. Вращение передается через сменные зубчатые колеса

$\frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$  на валик делительной головки 5, через коническую зубчатую пару  $z_1$  и  $z_2$  – на делительный диск 6. Вращение делительного диска 6 через подпружиненный фиксатор 7, утопленный в одном из отверстий делительного диска, передается рукоятке 8 и далее через цилиндрическую зубчатую пару  $z_3$  и  $z_4$  и червячную пару  $\frac{1}{40}$  шпинделю делительной головки и закрепленной на нем заготовке.

Следовательно, конечные звенья данной кинематической цепи: *ходовой винт продольной подачи стола станка и шпиндель делительной головки с заготовкой*.

Гитара сменных зубчатых колес  $\frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$  при фрезеровании винтовых канавок налаживается из условия, что за время перемещения стола фрезерного станка с заготовкой в продольном направлении на величину шага винтовой канавки  $T_{В.К}$  заготовка сделает один полный оборот. Расчетные перемещения конечных звеньев запишутся так:

$$\frac{T_{В.К}}{P_{Х.В}} \rightarrow 1 \text{ оборот заготовки.}$$

Расчетные перемещения конечных звеньев связываются уравнением кинематического баланса данной цепи

$$\frac{T_{В.К}}{P_{Х.В}} \frac{a_1 c_1 z_1 z_3}{b_1 d_1 z_2 z_4} \frac{1}{40} = 1 \text{ оборот заготовки,}$$

где  $\frac{z_1}{z_2} = 1; \frac{z_3}{z_4} = 1,$

тогда формула наладки гитары сменных зубчатых колес получает вид

$$\frac{a_1 c_1}{b_1 d_1} = \frac{40P_{Х.В}}{T_{В.К}}$$

( $P_{Х.В} = 6$  мм – для станка модели 6Р82 и некоторых других).

Шаг винтовой канавки при фрезеровании сверл, разверток, зенкеров и других деталей определяется по формуле

$$T_{В.К} = \frac{\pi D_{НАР}}{tg\beta},$$

где  $D_{НАР}$  – наружный диаметр заготовки, мм;

$\beta$  - угол наклона винтовой канавки оси заготовки.

Шаг винтовой канавки при фрезеровании винтовых зубчатых колес определяется по формуле

$$T_{В.К} = \frac{\pi m_n z}{\sin\beta},$$

где  $m_n$  - модуль зубчатого колеса в нормальном сечении, мм;

$z$  - число зубьев фрезеруемого зубчатого колеса.

При фрезеровании винтовых канавок стол станка с заготовкой должен быть повернут вокруг вертикальной оси на угол наклона  $\beta$ : правых канавок – против часовой стрелки, левых канавок - по часовой стрелке, а в гитару сменных зубчатых колес должна быть установлена дополнительная паразитная шестерня.

Так как по окружности заготовки следует фрезеровать  $z$  равномерно расположенных винтовых канавок, то после обработки каждой очередной канавки заготовку поворачивают на  $1/z$  окружности и обрабатывают следующую канавку.

Заготовка периодически поворачивается на  $1/z$  окружности вращением шпинделя делительной головки при помощи рукоятки 8 (рисунок 4), фиксатор 7 которой переставляют по отверстиям делительного диска как в случае простого деления.

*Крепление заготовок.* В зависимости от размера и конструкции обрабатываемой заготовки могут быть установлены и закреплены в делительных головках одним из следующих способов:

- в центрах делительной головки и задней бабки;
- на оправке, установленной в центрах делительной головки и задней бабки;
- на оправке, установленной в коническом отверстии шпинделя делительной

головки;

– в трехкулачковом патроне, накрученном на резьбовой конец шпинделя делительной головки;

– в цанговых патронах.

Заготовки типа дисков и втулок надевают на оправки, которые устанавливают в центрах делительной головки и задней бабки или на оправки, устанавливаемые в коническое отверстие шпинделя делительной головки.

Длинные заготовки типа валов устанавливают в центрах.

Заготовки круглой формы часто устанавливают в трехкулачковом самоцентрирующем патроне.

## **2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

2.1. Изучить конструкцию делительной головки. Ознакомиться с поворотом и фиксацией шпинделя, сменой делительных дисков, включением и выключением червячной передачи, с креплением головки к столу, креплением детали.

2.2 Настроить делительную головку (по заданию преподавателя) на непосредственное, простое, дифференциальное деление и фрезерование винтовых канавок.

## **3 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

3.1 Кинематическая схема настройки делительной головки на соответствующее деление (по заданию преподавателя).

3.2 Расчет передаточного отношения сменных зубчатых колес гитары, с подбором сменных зубчатых колес из имеющегося набора.

## **4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1 Какие детали обрабатываются фрезерованием с применением делительных головок?

2 На какой угол повернется шпиндель головки простого деления, если рукоятку повернуть на один оборот?

3. Каково назначение раздвижного сектора лимба делительной головки?
4. Что называется характеристикой делительной головки?
5. Как производится непосредственное и простое деление на универсальной делительной головке?
6. Напишите формулу простого деления.
7. Как производится дифференциальное деление на универсальной делительной головке?
8. Какие рабочие движения необходимы для получения на заготовке винтовых канавок?
9. Напишите формулу шага винтовой канавки при фрезеровании сверл, разверток, зенкеров.
10. Как располагается стол с заготовкой при фрезеровании винтовых канавок?
11. Как устанавливаются и закрепляются обрабатываемые заготовки в делительных головках?
12. Разновидности делительных головок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицына П. И. Металлорежущие станки: учеб. для вузов - Старый Оскол: ТНТ, 2011
2. Багдасарова Т. А. Основы резания металлов: учеб. Пособие - М.: Академия, 2012
- А. М. Михальченко, Л. С. Киселева, И. В. Козарез, А. А. Тюрёва Практикум по технологии конструкционных материалов. Ч. 2. : Обработка металлов резанием - Брянская ГСХА, 2002.

Таблица 1 – Варианты исходных данных

| №<br>варианта | Число зубьев, z             |                 |                             |
|---------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|
|               | Непосредственное<br>деление | Простое деление | Дифференциальное<br>деление |
| 1             | 2                           | 3               | 4                           |
| 1             | 2                           | 6               | 27                          |
| 2             | 3                           | 12              | 28                          |
| 3             | 5                           | 22              | 32                          |
| 4             | 6                           | 24              | 33                          |
| 5             | 8                           | 25              | 53                          |
| 6             | 9                           | 28              | 58                          |
| 7             | 10                          | 30              | 62                          |
|               | Непосредственное<br>деление | Простое деление | Дифференциальное<br>деление |
| 8             | 12                          | 33              | 63                          |
| 1             | 2                           | 3               | 4                           |
| 9             | 15                          | 42              | 57                          |
| 10            | 24                          | 46              | 67                          |
| 11            | 30                          | 58              | 68                          |
| 12            | 18                          | 60              | 102                         |



## ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ОК-7, ОПК-2, ОПК-5, ПК-4)

#### 1. Укажите марки малоуглеродистых качественных сталей

- 1) ст. 3 кп
- 2) сталь 60
- 3) сталь 10
- 4) сталь 50

#### 2. Твердым раствором внедрения углерода в $\alpha$ -железо является

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1) феррит   | 3) цементит |
| 2) аустенит | 4) перлит   |

#### 3. В железоуглеродистых сплавах полезными примесями являются

- |             |            |
|-------------|------------|
| 1) фосфор   | 5) водород |
| 2) марганец | 6) кремний |
| 3) сера     |            |
| 4) кислород |            |

#### 4. Наиболее целесообразно азотировать сталь марки

- |        |             |
|--------|-------------|
| 1) 60  | 3) 38ХМ10А  |
| 2) У11 | 4) Ст. 5 сп |

#### 5. Указание на чертеже детали HRB 90 означает

- 1) твердость по Бринеллю
- 2) твердость по Роквеллу, измеренная стальным шариком
- 3) ударная вязкость
- 4) относительное сужение материала при растяжении

#### 6. Эвтектиками называют

- 1) твердые растворы внедрения
- 2) механические смеси одновременно образующихся кристаллов различных компонентов
- 3) твердые растворы замещения
- 4) химические соединения

**7. Относительное удлинение металла при испытаниях на разрыв характеризует**

- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| 1) прочность       | 3) выносливость |
| 2) износостойкость | 4) пластичность |

**8. Полиморфные превращения характеризуются**

- 1) неоднородностью свойств металла в различных кристаллических плоскостях
- 2) степенью переохлаждения при кристаллизации
- 3) изменением кристаллической решетки в зависимости от температуры
- 4) линейными дефектами кристаллической решетки

**9. Цементировать необходимо сталь марки**

- |        |         |
|--------|---------|
| 1) 20  | 3) 60   |
| 2) У10 | 4) 40ХН |

**10. В железоуглеродистых сплавах полезными примесями являются**

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1) фосфор   | 5) кремний  |
| 2) марганец | 6) водород  |
| 3) сера     | 7) кислород |
| 4) азот     |             |

**11. Твердость металла, измеренная по методу Роквелла с алмазным конусом, обозначается**

- |       |        |
|-------|--------|
| 1) НВ | 3) HRB |
| 2) НV | 4) HRC |

**12. Линейными дефектами кристаллической решетки являются**

- |                |                    |
|----------------|--------------------|
| 1) анизотропия | 3) экстраплоскости |
| 2) вакансии    | 4) дислокации      |

**13. Высокочроный чугун обозначается**

- |           |           |
|-----------|-----------|
| 1) КЧ30-5 | 3) ВЧ50-2 |
| 2) СЧ35   | 4) ЧХ28   |

**14. Инструментальными являются стали марок**

- |              |             |
|--------------|-------------|
| 1) Ст. 5 пс  | 4) 9ХС      |
| 2) Р12       | 5) сталь 10 |
| 3) Сталь А12 | 6) Р18К5Ф2  |

**15.Твердость металла, измеренная по методу Роквелла с алмазным конусом, обозначается**

- |       |        |
|-------|--------|
| 1) HB | 3) HRB |
| 2) HV | 4) HRC |

**16.К технологическим свойствам металла относятся**

- |                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| 1) электросопротивляемость | 4) свариваемость  |
| 2) ковкость                | 5) твердость      |
| 3) износоустойчивость      | 6) жидкотекучесть |

**17.Однокарбидным твердым сплавом является**

- |          |           |
|----------|-----------|
| 1) P9    | 3) BK2    |
| 2) T15K6 | 4) TTBK10 |

**18.К металлокерамическим твердым сплавам относятся**

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1) TT8K10   | 5) Ст. 6 сп |
| 2) У12А     | 6) BK2      |
| 3) T30K4    | 7) BK8      |
| 4) Сталь 40 | 8) T15K6    |

**19.Относительное удлинение металла при испытаниях на разрыв характеризует**

- |                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| 1) прочность       | 3) выносливость |
| 2) износостойкость | 4) пластичность |

**20.Высококачественными являются стали марок**

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1) 20X      | 4) 30ХГСА   |
| 2) 18ХГТА   | 5) 40ХН     |
| 3) ст. 4 кп | 6) сталь 40 |

**21.Структура эвтектоидной стали**

- |                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| 1) феррит и аустенит | 3) феррит и перлит |
| 2) перлит и цементит | 4) перлит          |

**22.Серый чугун обозначается**

- |           |           |
|-----------|-----------|
| 1) КЧ30-5 | 3) ВЧ50-2 |
| 2) СЧ35   | 4) ЧХ28   |

**23. Твердым раствором внедрения углерода в  $\gamma$ -железо является**

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1) феррит   | 3) цементит |
| 2) аустенит | 4) перлит   |

**24. Сталь У8, нагретая до 80° С и охлажденная в воде, имеет структуру**

- |               |               |
|---------------|---------------|
| 1) мартенсита | 3) аустенита  |
| 2) перлита    | 4) ледебурита |

**25. Укажите марки малоуглеродистых качественных сталей**

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1) ст. 3 кп | 5) сталь 20 |
| 2) сталь 08 |             |
| 3) сталь 60 |             |
| 4) сталь 50 |             |

**26. Наиболее целесообразно азотировать сталь марки**

- |        |             |
|--------|-------------|
| 1) 60  | 3) 38ХМ10А  |
| 2) У11 | 4) ст. 5 сп |

**27. Из перечисленных методов испытаний неразрушающим видом контроля является измерение**

- |                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| 1) прочности        | 3) пластичности |
| 2) ударной вязкости | 4) твердости    |

**28. Закалка со средним отпуском рекомендуется для**

- |            |               |
|------------|---------------|
| 1) сверла  | 3) напильника |
| 2) метчика | 4) пружин     |

**29. Операциями химико-термической обработки являются**

- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| 1) закалка      | 5) нормализация  |
| 2) алитирование | 6) хромирование  |
| 3) азотирование | 7) силицирование |
| 4) отпуск       | 8) отжиг         |

**30. Технически чистое железо содержит примесей, %**

- |        |          |
|--------|----------|
| 1) 1,1 | 3) 0,01  |
| 2) 0,1 | 4) 0,001 |

**31.К спокойным сталям обыкновенного качества относятся марки**

- |             |              |
|-------------|--------------|
| 1) ст. 1 пс | 4) ст. 3Г пс |
| 2) ст. 4 кп | 5) ст. 6 сп  |
| 3) ст. 1 сп | 6) ст. 1 кп  |

**32.Диаметр отпечатка измеряют при определении твердости методом**

- |             |                       |
|-------------|-----------------------|
| 1) Бринелля | 3) Роквелла с алмазом |
| 2) Виккерса | 4) Роквелла с шариком |

**33.После закалки напильника из стали У11 проводят**

- |                   |                  |
|-------------------|------------------|
| 1) Отжиг          | 3) низкий отпуск |
| 2) высокий отпуск | 4) нормализацию  |

**34.Высококачественными являются стали марок**

- |            |             |
|------------|-------------|
| 1) 20Х     | 4) 30ХГСА   |
| 2) 18ХГТА  | 5) 40ХН     |
| 3) ст.4 кп | 6) сталь 40 |

**35.Цементация – это насыщение поверхностного слоя**

- |              |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| 1) углеродом | 3) углеродом и азотом               |
| 2) азотом    | 4) углеродом с последующей закалкой |

**36.Сплав меди с алюминием называется**

- |                |             |
|----------------|-------------|
| 1) дуралюмином | 3) латунию  |
| 2) бронзой     | 4) баббитом |

**37.Полиморфные превращения характеризуются**

- 1) неоднородностью свойств металла в различных кристаллических плоскостях
- 2) степенью переохлаждения при кристаллизации
- 3) изменением кристаллической решетки в зависимости от температуры
- 4) линейными дефектами кристаллической решетки

**38.В быстрорежущей стали Р6М3К2 содержится вольфрама, %**

- |      |                  |
|------|------------------|
| 1) 6 | 3) 2             |
| 2) 3 | 4) вольфрама нет |

**39.Механическим свойством металла является**

- |                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| 1) электросопротивляемость | 3) жидкотекучесть |
| 2) твердость               | 4) свариваемость  |

**40.Укажите марку, содержащую в своем составе ванадий**

- |         |           |
|---------|-----------|
| 1) У12А | 3) 35ХН   |
| 2) 9ХС  | 4)Р18К5Ф2 |

**41.Структура заэвтектоидной стали**

- |                      |                    |
|----------------------|--------------------|
| 1) феррит и аустенит | 3) феррит и перлит |
| 2) перлит и цементит | 4) перлит          |

**42.Инструментальными являются стали марок**

- |              |             |
|--------------|-------------|
| 1) Р12       | 4) сталь 10 |
| 2) Сталь А12 | 5) Р18К5Ф2  |
| 3) Р6М3      | 6) сталь 30 |

**43.Указание на чертеже детали HRB означает**

- 1) твердость по Бринеллю
- 2) твердость по Роквеллу, измеренная стальным шариком
- 3) ударная вязкость
- 4) относительное сужение материала при растяжении

**44.Цементировать необходимо сталь марки**

- |        |         |
|--------|---------|
| 1) 20  | 3) 60   |
| 2) У10 | 4) 40ХН |

**45.Точечными дефектами кристаллической решетки являются**

- |                |                    |
|----------------|--------------------|
| 1) анизотропия | 3) экстраплоскости |
| 2) вакансии    | 4) дислокации      |

**46.Латунь марки ЛС-59-1 содержит меди, %**

- |       |       |
|-------|-------|
| 1) 1  | 3) 40 |
| 2) 59 | 4) 41 |

#### **47.Эвтектиками называют**

- 1) твердые растворы внедрения
- 2) механические смеси одновременно образующихся кристаллов различных компонентов
- 3) твердые растворы замещения
- 4) химические соединения

#### **48.Высококачественной является сталь марки**

- |          |         |
|----------|---------|
| 1) 40X   | 3) Л90  |
| 2) 18ХГТ | 4) У10А |

#### **49.Диаметр отпечатка измеряют при определении твердости методом**

- |             |                       |
|-------------|-----------------------|
| 1) Бринелля | 3) Роквелла с шариком |
| 2) Виккерса | 4) Роквелла с алмазом |

#### **50.Чугуном называется сплав**

- 1) железа с углеродом при содержании углерода более 2 %
- 2) железа с углеродом при содержании углерода менее 2 %

#### **51.Для доменного производства используются**

- |                    |             |
|--------------------|-------------|
| 1) медный колчедан | 5) бокситы  |
| 2) медный блеск    | 6) алуниты  |
| 3) железные руды   | 7) карпалит |
| 4) магнезит        |             |

#### **52.Назначение флюсов при доменной плавке**

- 1) легирование чугуна
- 2) модифицирование чугуна
- 3) окисление пустой породы
- 4) понижение температуры плавления пустой породы

#### **53.Продукты доменного производства**

- |                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 1) углеродистая сталь | 4) передельный чугун |
| 2) легированная сталь | 5) литейный чугун    |
| 3) жаропрочная сталь  | 6) ферросплавы       |

#### **54.Температура, необходимая для стали в кислородном конвертере, создается за счет**

- 1) химической теплоты электрохимических реакций окисления и температуры жид-

кого чугуна

- 2) сгорания природного газа
- 3) сгорания кокса
- 4) сгорания мазута

### **55. Серый чугун получают**

- |                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| 1) в электропечах       | 3) вагранках               |
| 2) в мартеновских печах | 4) индукционным переплавом |

### **56. Литейные свойства это**

- |                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| 1) прочность        | 6) склонность к ликвации   |
| 2) твердость        | 7) электропроводность      |
| 3) теплопроводность | 8) магнитная проницаемость |
| 4) жидкотекучесть   |                            |
| 5) усадка           |                            |

### **57. Лучшими литейными свойствами обладают**

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| 1) серый чугун        | 3) легированная сталь |
| 2) углеродистая сталь | 4) ковкий чугун       |

### **58. К составляющим формовочных и стержневых смесей относятся**

- |                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1) металлическая составляющая | 4) специальные добавки       |
| 2) огнеупорная составляющая   | 5) газопроницаемые материалы |
| 3) специальные добавки        | 6) связующие материалы       |

### **59. Необратимые изменения кристаллической решетки происходят при**

- 1) пластическом деформировании
- 2) упругом деформировании

### **60. Текстура структуры образуется вследствие**

- |                                 |                     |
|---------------------------------|---------------------|
| 1) упругого деформирования      | 3) рекристаллизации |
| 2) пластического деформирования | 4) возврата         |

### **61. Пластическая деформация сплава приводит**

- |                         |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| 1) к росту твердости    | 3) к росту прочности    |
| 2) к снижению твердости | 4) к снижению прочности |



**62. При обработке металлов давлением наклеп явление**

- 1) вредное
- 2) полезное
- 3) нейтральное

**63. Рекристаллизация – это процесс**

- 1) упрочнения металла
- 2) разупрочнения металла
- 3) изменения фазового состава
- 4) образование сплава

**64. Температура начала обработки давлением определяется из выражения**

- 1)  $t_H = 0,7 \cdot t_{пл}$
- 2)  $t_H = \alpha \cdot K \cdot D \cdot \sqrt{D}$
- 3)  $t_H = \alpha \cdot t_{пл}$

**65. Температура конца обработки давлением выражается формулой**

- 1)  $t_K = 0,7 \cdot t_{пл}$
- 2)  $t_K = \alpha \cdot K \cdot D \cdot \sqrt{D}$
- 3)  $t_K = \alpha \cdot t_{пл}$

**66. Для нагрева заготовок перед горячей обработкой используют**

- 1) мартеновские печи
- 2) кислородные конвертеры
- 3) печи для пламенного нагрева
- 4) электронагревательные устройства

**67. Виды прокатки**

- 1) вертикальная
- 2) горизонтальная
- 3) вертикально-горизонтальная
- 4) продольная
- 5) поперечная
- 6) поперечно-винтовая

**68. Однокарбидные металлокерамические твердые сплавы с большим содержанием кобальта применяют преимущественно при**

- 1) черновой обработке стали
- 2) чистовой обработке стали
- 3) черновой обработке чугуна
- 4) чистовой обработке чугуна

**69. Двухкарбидные металлокерамические твердые сплавы с меньшим содержанием кобальта применяют преимущественно при обработке**

- 1) стали
- 2) чугуна
- 3) цветных металлов
- 4) цветных сплавов

**70.Если при точении на передней поверхности резца образуется лунка, то наблюдается следующий вид износа**

- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| 1) диффузионный | 3) адгезионный   |
| 2) абразивный   | 4) окислительный |

**71.При чистовом точении преобладает следующий вид износа**

- |                 |                  |
|-----------------|------------------|
| 1) диффузионный | 3) адгезионный   |
| 2) абразивный   | 4) окислительный |

**72.Шероховатостью поверхности называется**

- 1) совокупность неровностей, образующих рельеф поверхности
- 2) совокупность неровностей, находящихся в пределах базовой длины
- 3) совокупность неровностей с относительно малыми шагами
- 4) совокупность неровностей с относительно малыми шагами, образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах базовой длины

**73.Шероховатость обработанной поверхности с увеличением скорости резания при обработке твердосплавным проходным резцом (при  $v > 50$  м/мин)**

- |                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| 1) увеличивается | 3) остается без изменения |
| 2) уменьшается   |                           |

**74.Шероховатость обработанной поверхности с увеличением подачи при обработке проходным резцом**

- |                  |                           |
|------------------|---------------------------|
| 1) увеличивается | 3) остается без изменения |
| 2) уменьшается   |                           |

**75.При увеличении радиуса закругления вершины резца**

- 1) снижается стойкость резца
- 2) увеличивается стойкость резца
- 3) увеличивается шероховатость поверхности
- 4) уменьшается шероховатость поверхности

**76.Для измерения всех составляющих силы резания применяют динамометр**

- |                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| 1) однокомпонентный | 3) трехкомпонентный    |
| 2) двухкомпонентный | 4) четырехкомпонентный |

**77. Фактором, оказывающим наибольшее влияние на силу резания при точении, является**

- 1) глубина резания
- 2) подача
- 3) угол резания
- 4) скорость резания

**78. Для расчета крутящего момента и мощности на шпинделе при точении используют составляющую силы резания**

- 1) тангенциальную  $P_Z$
- 2) радиальную  $P_Y$
- 3) осевую  $P_X$

**79. Сила  $P_Z$  при обработке стали твердосплавным резцом с увеличением скорости резания с 50 до 100 м/мин**

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) остается без изменения

**80. Для расчета деталей коробки скоростей токарного станка используют**

- 1) равнодействующую силу резания
- 2) осевую составляющую силы резания
- 3) тангенциальную составляющую силы резания
- 4) радиальную составляющую силы резания

**81. Для расчета деталей механизма продольной подачи токарного станка используют**

- 1) равнодействующую силу резания
- 2) осевую составляющую силы резания
- 3) тангенциальную составляющую силы резания
- 4) радиальную составляющую силы резания

**82. При точении составляющая силы резания  $P_Y$  направлена**

- 1) по радиусу обрабатываемой детали в горизонтальной плоскости
- 2) в сторону, обратную направлению подачи
- 3) касательно поверхности резания
- 4) перпендикулярно к передней поверхности резца

**83. Силу резания  $P_Z$  при точении определяют по формуле ( $K_r$  и  $C_r$  – поправочные коэффициенты;  $t$  – глубина резания, мм;  $S$  – подача, мм/об;  $v$  –**

**скорость резания, м/мин;  $n$  – частота вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>)**

$$\begin{array}{ll} 1) P_z = K_p \times t^{Xp} \times S^{Yp} \times v^{Pp} & 3) P_z = C_p \times t^{Xp} \times S^{Yp} \times n^{Zp} \times K_p \\ 2) P_z = C_p \times t^{Xp} \times S^{Yp} \times n^{Zp} \times K_p & 4) P_z = C_p \times t^{Xp} \times S^{Yp} \times v^{Pp} \times K_p \end{array}$$

**84. Мощность на шпинделе, потребную на резание, рассчитывают по формуле ( $N_э$  – мощность электродвигателя, кВт;  $n$  – частота вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>;  $v$  – скорость резания, м/мин;  $P_z$  – сила резания, Н)**

$$\begin{array}{ll} 1) N_{ум} = N_э \times n & 3) N_{ум} = P_z \times v / 60 \times 1020 \\ 2) N_{ум} = N_э \times v & 4) N_{ум} = P_z \times v / 1000 \end{array}$$

**85. Стойкость резца – это**

- 1) продолжительность работы инструмента до износа, принятого за критерий затупления
- 2) продолжительность работы инструмента до его поломки
- 3) общее время работы инструмента
- 4) продолжительность работы инструмента до затупления

**86. Приближенные значения оптимальной стойкости твердосплавного резца в условиях серийного производства, мин**

- |          |            |
|----------|------------|
| 1) 15-30 | 3) 80-100  |
| 2) 30-60 | 4) 100-160 |

**87. Основное (машинное) время при точении ( $L$  – длина хода резца, мм;  $i$  – число рабочих ходов;  $S$  – подача, мм/об;  $n$  – частота вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>;  $v$  – скорость резания, м/мин) определяют по формуле**

$$\begin{array}{ll} 1) T_0 = L \times i / (n \times S) & 4) T_0 = L \times n / v \\ 2) T_0 = L / (v \times S) & 5) T_0 = L \times v / (n \times S) \\ 3) T_0 = L / (v \times n) & \end{array}$$

**88. Основное (машинное) время при фрезеровании ( $L$  – длина пути фрезы, мм;  $i$  – число рабочих ходов;  $S_M$  – подача, мм/мин;  $S_{об}$  – подача, мм/об;  $n$  – частота вращения фрезы, мин<sup>-1</sup>;  $v$  – скорость резания, м/мин) определяют по формуле**

$$\begin{array}{ll} 1) T_0 = L \times i / S_{об} & 4) T_0 = L \times i / S_M \\ 2) T_0 = L / S_M & 5) T_0 = L / v \\ 3) T_0 = L / (v \times n) & \end{array}$$

**Укажите номера всех правильных ответов**

**89.К естественным абразивным материалам относятся**

- |                |           |
|----------------|-----------|
| 1) наждак      | 4) корунд |
| 2) карбид бора | 5) кварц  |
| 3) монокорунд  |           |

**90.К искусственным абразивным материалам относятся**

- |               |                  |
|---------------|------------------|
| 1) наждак     | 4) кварц         |
| 2) карборунд  | 5) электрокорунд |
| 3) монокорунд |                  |

**91.Главными углами токарного резца, рассматриваемыми в главной секущей плоскости, являются**

- |                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1) передний угол $\gamma$         | 4) угол заострения $\beta$        |
| 2) угол при вершине $\varepsilon$ | 5) угол резания $\delta$          |
| 3) главный задний угол $\alpha$   | 6) главный угол в плане $\varphi$ |

**92.В основной плоскости рассматривают**

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1) угол заострения $\beta$        | 4) вспомогательный задний угол $\alpha_1$   |
| 2) угол при вершине $\varepsilon$ | 5) вспомогательный угол в плане $\varphi_1$ |
| 3) главный угол в плане $\varphi$ |   |

**93.Главный угол в плане, равный  $90^\circ$ , имеют резцы**

- |                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| 1) проходной         | 3) проходной отогнутый |
| 2) проходной упорный | 4) Отрезной            |

**94.Критериями оценки качества обработанных поверхностей являются**

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| 1) размер детали         | 3) шероховатость обработанной поверхности |
| 2) остаточные напряжения | 4) волнистость обработанной поверхности   |

**95.Снижению шероховатости поверхности при точении способствует**

- 1) увеличение скорости резца
- 2) уменьшение подачи
- 3) увеличение вязкости обрабатываемого материала
- 4) увеличение радиуса резца при вершине
- 5) уменьшение задних и переднего углов

**96. Штучное время при точении  $T_{шт}$  определяется по формулам ( $T_O$ ,  $T_B$ ,  $T_{OB}$ ,  $T_{OT}$ ,  $T_{OP}$  – время соответственно основное, вспомогательное, обслуживания, отдыха, оперативное)**

- 1)  $T_{шт} = T_O + T_B + T_{OB}$
- 2)  $T_{шт} = T_O + T_B + T_{OB} + T_{OT}$
- 3)  $T_{шт} = T_O + T_B + T_{OT}$
- 4)  $T_{шт} = T_{OP} + T_{OB} + T_{OT}$
- 5)  $T_{шт} = T_{OP} + T_{OB}$

Дополните

**97. На заготовке различают поверхности: обрабатываемую, обработанную и**

\_\_\_\_\_

**98. Сверхтвердым материалом, применяемым для обработки твердых сплавов, является \_\_\_\_\_**

**99. При обработке деталей с.-х. машин, изготовленных из стали, образуются типы стружек \_\_\_\_\_ и \_\_\_\_\_**

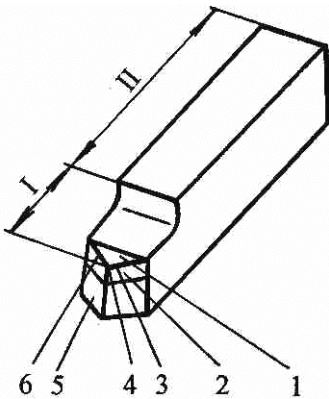
**100. На стойкость инструмента при точении из элементов режима резания наибольшее влияние оказывает \_\_\_\_\_**

**101. Машинное время  $T_o$  при продольном точении детали, если длина прохода  $L = 300$  мм, частота вращения шпинделя  $n = 250$  мин<sup>-1</sup>, подача  $S = 0,4$  мм/об, составляет \_\_\_\_\_ мин.**

**102. Мощность на шпинделе по приводу при мощности электродвигателя  $N_{эл} = 10$  кВт и КПД привода  $\eta = 0,8$  равна \_\_\_\_\_ кВт**

Установите соответствие

**103. Элементов токарного проходного резца обозначениям на рисунке**



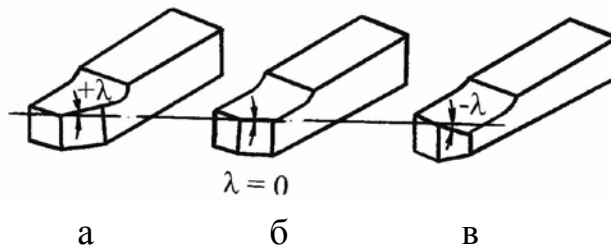
Названия элементов резца:

- А. передняя поверхность
- Б. главная задняя поверхность
- В. вспомогательная задняя поверхность
- Г. главная режущая кромка
- Д. вспомогательная режущая кромка
- Е. вершина резца

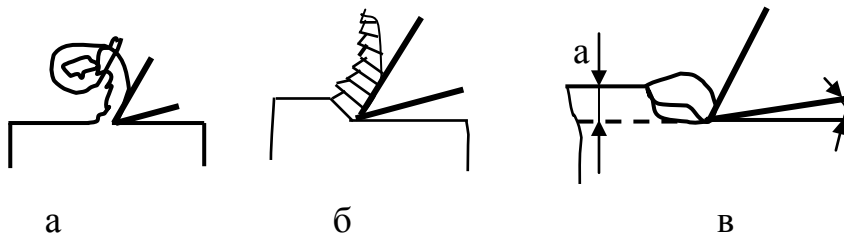
**104. Угол наклона главной режущей кромки**

Направление схода стружки на:

- 1) обработанную поверхность
- 2) обрабатываемую поверхность



**105. Назовите типы стружек, изображенных на рисунке**



типы стружек:

- 1) надлома
- 2) элементная (скалывания)
- 3) сливная

**106. Для каждого параметра абразивного круга маркировки 24A25ПСМ17К1 укажите название**

параметр:

- 1) 24А
- 2) 25

название:

- А. номер зернистости круга
- Б. степень твердости круга

- |        |                                |
|--------|--------------------------------|
| 3) П   | В. структура круга             |
| 4) SM1 | Г. связка круга                |
| 5) 7   | Д. марка абразивного материала |
| 6) K1  | Е индекс зернистости круга     |

**107. . Группы абразивных материалов: название материалов:**

- |                             |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| 1. естественные (природные) | А. наждак         |
| 2. искусственные            | Б. карбид кремния |
|                             | В. электрокорунд  |
|                             | Г. корунд         |
|                             | Д. песчаник       |
|                             | Е. карбид бора    |

**Установите правильную последовательность**

**108. Этапы назначения элементов режима резания при точении**

- 1) выбор подачи
  - 2) назначение глубины резания
  - 3) определение расчетной скорости резания
  - 4) проверка режима резания
  - 5) определение частоты вращения
  - 6) определение фактической скорости резания
- Ответ:

**109. Абразивные материалы в порядке увеличения их твердости**

- 1) карбид кремния зеленый
  - 2) электрокорунд
  - 3) алмаз
  - 4) карбид бора
- Ответ:



### Ключ к тестам

| № теста | Ответ         | № теста | Ответ      | № теста | Ответ                  |
|---------|---------------|---------|------------|---------|------------------------|
| 1       | 2, 3, 4       | 38      | 1          | 74      | 1                      |
| 2       | 1             | 39      | 2          | 75      | 3                      |
| 3       | 2, 6          | 40      | 4          | 76      | 3                      |
| 4       | 4             | 41      | 2          | 77      | 1, 2                   |
| 5       | 2             | 42      | 1, 3, 5    | 78      | 1                      |
| 6       | 2             | 43      | 2          | 79      | 2                      |
| 7       | 4             | 44      | 1          | 80      | 3                      |
| 8       | 3             | 45      | 2          | 81      | 2                      |
| 9       | 1             | 46      | 2          | 82      | 1                      |
| 10      | 2, 5          | 47      | 2          | 83      | 4                      |
| 11      | 4             | 48      | 4          | 84      | 3                      |
| 12      | 4             | 49      | 1          | 85      | 1                      |
| 13      | 3             | 50      | 1          | 86      | 3                      |
| 14      | 2, 4, 6       | 51      | 3          | 87      | 1                      |
| 15      | 4             | 52      | 4          | 88      | 2                      |
| 16      | 2, 4, 6       | 53      | 4, 5, 6    | 89      | 1, 4, 5                |
| 17      | 2             | 54      | 1          | 90      | 2, 3, 5                |
| 18      | 1, 3, 6, 7, 8 | 55      | 3          | 91      | 1, 3, 4, 5             |
| 19      | 4             | 56      | 4, 5, 6    | 92      | 2, 3, 5                |
| 20      | 2, 4          | 57      | 1          | 93      | 2                      |
| 21      | 4             | 58      | 2, 3, 5, 6 | 94      | 3, 4                   |
| 22      | 2             | 59      | 1          | 95      | 1, 2                   |
| 23      | 2             | 60      | 2          | 96      | 2, 4                   |
| 24      | 2             | 61      | 1, 3       | 97      | резания                |
| 25      | 2, 5          | 62      | 1          | 98      | алмаз                  |
| 26      | 4             | 63      | 2          | 99      | сливная скалывания     |
| 27      | 4             | 64      | 3          | 100     | скорость               |
| 28      | 4             | 65      | 1          | 101     | 3 мин.                 |
| 29      | 2, 3          | 66      | 3, 4       | 102     | 8 кВт                  |
| 30      | 4             | 67      | 4, 5, 6    | 103     | 1а, 2б, 3г, 4е, 5в, 6д |
| 31      | 1, 5          | 68      | 4          | 104     | 1а, 2б,в               |
| 32      | 1             | 69      | 1          | 105     | А3, б2, в1             |
| 33      | 3             | 70      | 2          | 106     | 1д, 2а, 3е, 4б, 5в, 6г |
| 34      | 2, 4          | 71      | 3          | 107     | 1 –а,д,г; 2 –б,в,е     |
| 35      | 1             | 72      | 4          | 108     | 2-1-3-5-6-4            |
| 36      | 2             | 73      | 2          | 109     | 2-1-4-3                |
| 37      | 3             |         |            |         |                        |

## Оглавление

|   |     |
|---|-----|
| Введение.....   | 3   |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПО МЕТОДУ БРИНЕЛЛЯ .....   | 4   |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ РОКВЕЛЛА.....  | 12  |
| МАКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ.....   | 21  |
| МИКРОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ .....   | 33  |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК ТЕРМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ И ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ.....   | 42  |
| АНАЛИЗ ДИАГРАММЫ СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ .....   | 52  |
| МИКРОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ В РАВНОВЕСНОМ СОСТОЯНИИ И ИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА .....  | 62  |
| АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЧУГУНОВ.....  | 70  |
| ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ (ОТЖИГ, НОРМАЛИЗАЦИЯ, ЗАКАЛКА). ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ЗАКАЛКЕ. | 81  |
| ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЗАКАЛКЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ И СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ.....   | 93  |
| ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗАКАЛЕННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ ОТПУСКЕ .....  | 102 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ СТАЛИ МЕТОДОМ ТОРЦОВОЙ ЗАКАЛКИ .....  | 110 |
| СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ.....   | 118 |
| СПЕЦИАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ЛИТЬЯ.....  | 167 |
| ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ ПРИ ХОЛОДНОМ ПЛАСТИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ И РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ.....  | 187 |
| ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА НАГРЕВА СТАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК  |     |

|   |     |
|---|-----|
| ПЕРЕД ОБРАБОТКОЙ ДАВЛЕНИЕМ.....   | 195 |
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ<br>ПОКОВКИ.....   | 203 |
| ИЗУЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ И МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РУЧНОЙ<br>ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ.....   | 224 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ.....<br>КОЭФФИЦИЕНТОВ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ.....                            | 238 |
| ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВАРОЧНОЙ ДУГИ И<br>ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ЕЕ ПИТАНИЯ.....                             | 245 |
| ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА И РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГАЗОВОЙ<br>СВАРКИ.....  | 254 |
| ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МЕТАЛЛА В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ .....  | 268 |
| ТОКАРНЫЕ РЕЗЦЫ.....   | 277 |
| ВЛИЯНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ НА ГЛАВНУЮ<br>СОСТАВЛЯЮЩУЮ СИЛУ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ.....                               | 294 |
| УСТРОЙСТВО И КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО<br>СТАНКА.....   | 305 |
| НАСТРОЙКА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНОГО СТАНКА НА НАРЕЗАНИЕ РЕЗЬБЫ<br>.....  | 316 |
| СВЕРЛА, ЗЕНКЕРЫ, РАЗВЁРТКИ.....   | 326 |
| ФРЕЗЫ .....   | 342 |
| ИЗМЕРЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОТЯЖЕК.....   | 352 |
| УСТРОЙСТВО И НАСТРОЙКА ДЕЛИТЕЛЬНОЙ ГОЛОВКИ НА<br>НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ, ПРОСТОЕ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ (СЛОЖНОЕ)<br>ДЕЛЕНИЕ..... | 359 |
| ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ.....   | 373 |

Учебное издание

Александр Михайлович Михальченков

Ирина Владимировна Козарез

Анна Анатольевна Тюрева

# **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

учебное пособие

для лабораторно-практической и самостоятельной работы  
студентов очной и заочной форм обучения направления подготовки  
35.03.06 «Агроинженерия» и 23.03.02 «Наземные и транспортные технологические  
комплексы»

Редактор Павлютина И.П.

Компьютерный набор Егорова Т.А.

---

Подписано к печати 20.11.2017 г. Формат 60x84. 1/16. Бумага печатная.  
Усл. печ. 22,72. Тираж 100 экз. Изд. № 5434.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365, Брянская обл., Выгонический район, с. Кокино, Брянский ГАУ