

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

И.Е. Илларионов  
Л.А. Иванова  
И.А. Стрельников

# ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Практикум

Чебоксары  
2021

УДК 621.7(076.5)

ББК ЖЗя73

И43

*Рецензенты:*

*И.В. Фадеев* – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой машиноведения  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет  
имени И.Н. Яковлева»;

*Т.Г. Виноградова* – канд. техн. наук, доцент  
кафедры транспортно-технологических машин Чебоксарского  
университета (филиала) ФГБОУ ВО «Московский  
политехнический университет»

**Илларионов И.Е.**

**И43** Технология конструкционных материалов: практикум /  
И.Е. Илларионов, Л.А. Иванова, И.А. Стрельников. –  
Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. – 104 с.

ISBN 978-5-7677-3288-3

Приведены современные методы производства и основы технологии обработки конструкционных материалов для получения заготовок и деталей высокого качества. Содержит методики выполнения лабораторных работ, теоретические положения, необходимые для изучения данного курса. Рассмотрены вопросы, связанные с испытанием и обработкой материалов.

Для студентов I курса машиностроительного факультета очной и заочной формы обучения направления 15.03.01 «Машиностроение», 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», 15.03.06 «Мехатроника и робототехника», 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы».

Ответственный редактор доктор технических наук,  
профессор И.Е. Илларионов

Утверждено Учебно-методическим советом университета

ISBN 978-5-7677-3288-3

УДК 621.7 (076.5)

ББК ЖЗя73

© Издательство Чувашского  
университета, 2021

© Илларионов И.Е., Иванова Л.А.,  
Стрельников И.А., 2021

## Лабораторная работа № 1 ТВЕРДОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПОСОБЫ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Цель – ознакомление с основными методами определения твердости металлов и сплавов и приобретение навыков в работе с приборами Бринелля, Роквелла и Виккерса.

Твердость – это способность металла оказывать сопротивление проникновению в него другого более твердого тела определенной формы и размеров, не изменяющихся во время испытания. Внедряемое в металл более твердое тело называется индентором.

При контактном воздействии индентора на поверхности испытуемого металла происходит пластическая деформация. Степень сопротивления деформации при измерении твердости и определяет твердость материала (металла).

Для определения твердости применяют методы Бринелля, Роквелла и Виккерса. Отличаются эти методы друг от друга формой, размерами и материалом индентора, а также применяемой нагрузкой при внедрении индентора.

**Определение твердости по Бринеллю** производится согласно ГОСТ 9012-59. В испытуемый образец под определенной нагрузкой  $P$  вдавливается стальной закаленный шарик диаметром  $D$  (рис. 1.1).

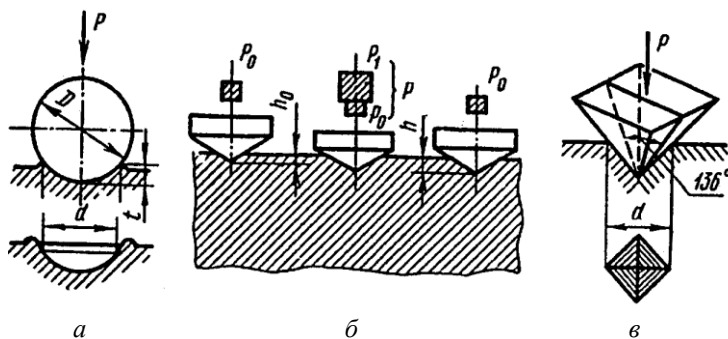


Рис. 1.1. Схемы определения твердости:  
 $a$  – по Бринеллю;  $b$  – по Роквеллу;  $v$  – по Виккерсу

Испытуемые образцы (при всех методах измерения твердости) должны иметь ровную поверхность. После удаления нагрузки на поверхности образца остается отпечаток (лунка) диаметром  $d$ .

По диаметру отпечатка судят о твердости. За меру твердости принимают среднее напряжение на поверхности лунки. Усредненное напряжение на сферической поверхности лунки определяют по формуле:

$$HB = \frac{P}{F},$$

где  $HB$  – число твердости по Бринеллю, МПа;  $P$  – нагрузка, действующая на образец, Н;  $F$  – площадь сферической поверхности отпечатка (лунки), мм<sup>2</sup>;

$$F = \frac{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}{2}.$$

где  $D$  – диаметр вдавливаемого шарика, мм;  $d$  – диаметр отпечатка, мм.

$$F = \frac{2P}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}.$$

На практике этих вычислений не проводят, пользуются готовыми таблицами чисел твердости (единицу величины не указывают). Диаметр шарика  $D$ , нагрузку  $P$ , продолжительность  $t$  под нагрузкой берут из табл. 1.1 в зависимости от марки металла, толщины испытываемого образца, ожидаемой твердости, соотношения  $P/D^2$  (коэффициента  $K$ ).

Согласно ГОСТ 9012-59 «Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю», стальные закаленные шарики могут быть диаметром 1; 2; 2,5; 5; 10 мм. Усилия  $P$ , Н (кгс), в зависимости от диаметра шарика и соотношения  $P/D^2$  находятся в пределах от 9,807 Н (1 кгс) до 29420 Н.

Твердость по Бринеллю можно определить только для тех образцов, у которых твердость  $HB$  меньше 6370 МПа. При больших значениях твердости метод неприменим, так как шарик пластически деформируется или разрушается.

При диаметре шарика 10 мм, нагрузке 29420 Н и времени выдержке 10 с число твердости по Бринеллю обозначают  $HB$ . Например,  $HB$  300.

При других условиях измерения твердости *НВ* дополняется индексами. Например: *НВ* 2600 2,5/1839/10 (число твердости 2600 МПа при испытании шариком диаметром 2,5 мм под нагрузкой 1839 *H* за время выдержки  $\tau$  10 с).

При измерении твердости по Бринеллю широкое применение нашли рычажные приборы (твердомер шариковый – ТШ) с электроприводом (ГОСТ 23677-79).

Порядок измерения: на предметный столик устанавливается зачищенный образец с ровной поверхностью, с помощью маховика поднимается столик с образцом до соприкосновения с шариком и полного сжатия пружины. Включается электродвигатель и создается полная нагрузка, выбранная по табл. 1.1.

Таблица 1.1  
Условия измерения твердости по Бринеллю

Материал	Минимальная толщина образца, мм	Диаметр шарика, <i>D</i> , мм	Отношение $P/D^2$ , Н/мм <sup>2</sup>	Нагрузка, <i>P</i> , Н (кгс)	Выдержка под нагрузкой, $\tau$ , с	Интервал твердости по Бринеллю, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )
Сталь, чугун, высокопрочные сплавы	3 – 6	10,0	30	29420 (3000) (750) (187,5)	10	1373,4-6370 (140-650)
	2 – 4	5,0				
	<2	2,5				
	>6	10,0	10	9807 (1000)		
	3 – 6	5,0		2452 (250)		<1373,4 (<140)
	<3	2,5		612,9 (62,5)		
Медь, легкие металлы и сплавы на их основе	>6	>6	10	9807 (1000) 2452 (250) 612,9 (62,5)	30	<343,4 (<35)
	3 – 6	3 – 6				
	<3	<3				

По истечении времени выдержки с предметного столика образец снимают, опустив столик вращением маховика в обратном направлении.

Измеряют диаметр отпечатка с помощью измерительного микроскопа. Определяется среднее значение диаметра отпечатка в двух взаимно перпендикулярных направлениях. По диаметру отпечатка для выбранных условий испытаний в табл. 1.1. находят соответствующее число твердости.

**Определение твердости по Роквеллу.** Измерение твердости по этому методу производится согласно ГОСТ 9013-59.

Для твердых образцов используют алмазный конус, а для мягких – шарик. В образец вдавливаются алмазный конус с углом при вершине  $120^\circ$  или стальной закаленный шарик диаметром 1,588 либо 3,175 мм.

Конус или шарик вдавливают в образец под действием двух последовательно прилагаемых нагрузок – предварительной в 98,1 Н (10 кгс) и окончательной (предварительная + основная).

При измерении твердости по данному методу судят о твердости металла на глубине вдавливания конуса или шарика, мм:  $h - h_0$ . Глубина  $h_0$  образуется при приложении предварительной нагрузки на индентор,  $h$  – при полной нагрузке.

Число твердости показывается сразу на индикаторе часового типа. Современные приборы для измерения твердости по Роквеллу имеют шкалы: *A, B, C, D, E, F, G, H, K*. Индентором для шкал *A, C, D* является алмазный конус (ГОСТ 9377-81), для *B, F, G* – закаленный шарик 3,175 мм (ГОСТ 2789-73).

Числа твердости по Роквеллу размерности не имеют, обозначаются в зависимости от шкалы *HRA, HRB, HRC, HRF* и т.д. (табл. 1.2).

Условия выбора шкалы и индентора при измерении твердости по Роквеллу: числа твердости при вдавливании алмазного конуса определяются по черной шкале индикатора, а при использовании шарика – по красной шкале.

Определение числа твердости по Роквеллу проводят на приборе типа ТК (ГОСТ 23677-79) в следующем порядке. Сначала по табл. 1.2 определяют тип наконечника, нагрузку. Хорошо зачищенный образец устанавливается на предметный столик и вращением маховика по часовой стрелке поднимают образец до

соприкосновения с наконечником (индентором). Дальнейшим вращением маховика приводится в движение малая и большая стрелки индикатора и создается предварительная нагрузка, равная 98,1 Н (10 кгс). Малая стрелка должна совместиться с красной точкой индикатора – вращение маховика с этого момента прекратить. Затем конец большой стрелки движением циферблата индикатора совмещается с нулевым делением черной шкалы. Включается основная нагрузка, время приложения нагрузки регулируется автоматически. Число твердости показывает конец большой стрелки, которая останавливается после снятия основной нагрузки.

Таблица 1.2

Условия выбора шкалы и индентора  
при измерении твердости по Роквеллу

Обозначение твердости	Прилагаемая нагрузка (общая), Н (кгс)	Диапазон чисел твердости	Шкалы твердости	Индентор
<i>HRA</i>	588,4 (60)	20-88	<i>A</i>	Алмазный конус
<i>HRB</i>	980,7 (100)	20-100	<i>B</i>	Шарик, $D = 1,588$ мм
<i>HRC</i>	1471 (150)	20-70	<i>C</i>	Алмазный конус
<i>HRD</i>	980,7 (100)	40-77	<i>D</i>	Алмазный конус
<i>HRE</i>	980,7 (100)	70-100	<i>E</i>	Шарик, $D = 3,175$ мм
<i>HRF</i>	980,7 (100)	60-100	<i>F</i>	Шарик, $D = 1,588$ мм
<i>HRG</i>	1471 (150)	30-94	<i>G</i>	Шарик, $D = 1,588$ мм
<i>HRH</i>	588,4 (60)	80-100	<i>H</i>	Шарик, $D = 3,175$ мм
<i>HRK</i>	1471 (150)	40-100	<i>K</i>	Шарик, $D = 3,175$ мм

Метод Роквелла прост в обращении, позволяет испытывать металлы и сплавы с широким диапазоном твердости и размеров.

**Определение твердости по Виккерсу.** Метод применяется для определения твердости деталей и образцов малой толщины, тонких поверхностных слоев, имеющих высокую твердость.

Измерение твердости по этому методу производится согласно ГОСТ 2999-75 вдавливанием в испытуемый металлический образец четырехгранной алмазной пирамиды с углом при вершине  $136^\circ$ .

Число твердости по Виккерсу обозначают  $HV$  и определяют его (также, как  $HB$ ) как среднее напряжение, приходящееся на единицу площади поверхности отпечатка. Порядок определения числа твердости по этому методу: на шлифованной или полированной поверхности образца получают отпечаток. С помощью микроскопа (вмонтирован в прибор) измеряют диагонали отпечатка, находят среднее значение. По среднему значению диагонали в таблице (ГОСТ 2999-75) находят число твердости. Метод Виккерса применяется в основном в лабораторных условиях, так как требует специальной подготовки поверхности, метод трудоемкий.

### **Приборы, материалы**

Твердомеры Бринелля, Роквелла; отсчетный микроскоп; отожженные и закаленные образцы сталей; образцы из сплавов меди, алюминия; наждачная бумага; наждачный круг.

### **Порядок выполнения работы**

1. Получить образцы и записать их характеристики (марка сплава, размеры (толщина) образцов, состояние термообработки).
2. По характеристикам образцов выбрать метод определения твердости методом Бринелля.
3. Выбрать  $D$ ,  $P$  и  $\tau$  для определения твердости методом Бринелля.
4. Выбрать индентор, шкалу и нагрузку для определения твердости по методу Роквелла.
5. Зачистить образцы и определить (в трех точках) твердость образцов по выбранным методам и условиям.
6. Сделать анализ результатов и выводы.

### **Содержание отчета**

1. Тема. Цель работы.
2. Краткий конспект теоретических положений.
3. Приборы, материалы.
4. Описание хода работ, результатов измерений по Бринеллю, заполненная табл. 1.3.

5. Описание хода работ, результатов измерений по Роквеллу, заполненная табл. 1.4.

6. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что понимают под твердостью металлов и сплавов?
2. Какие методы определения твердости имеются и какие из них чаще применяются?
3. Расскажите сущность метода определения твердости по Бринеллю.
4. Как выбираются метод измерения твердости, тип индентора, нагрузки?
5. Как обозначаются числа твердости, определенные разными методами?
6. Каковы преимущества и недостатки каждого из рассмотренных методов?

Таблица 1.3  
Результаты измерения твердости по Бринеллю

Материал	Толщина образца, мм	$D$ , мм	Нагрузка $P$ , Н (кгс)	$\tau$ , с	Номер отпечатка	Диаметр отпечатка, мм	$HB$ , МПа
					1		
					2		
					3		

Таблица 1.4  
Результаты измерения твердости по Роквеллу

Материал	Тип индентора	Нагрузка $P$ , Н (кгс)	Шкала	Номер результата	Числа твердости		Перевод $HRB$ в $HB$
					$HRB$	$HRC$	
				1			
				2			
				3			

## **Лабораторная работа № 2**

### **МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ**

Цель работы – ознакомление с методом испытания металлов на растяжение. Определение характеристик прочности и пластичности.

Одним из наиболее важных свойств металла, необходимых для расчета конструкций, механизмов и деталей машин, являются механические свойства (прочность, пластичность, твердость, ударная вязкость и др.). Механические свойства металлов определяют в условиях нагружения металла, близких к рабочим. Механические испытания могут быть:

1) статическими, когда приложенная нагрузка сравнительно медленно и плавно растет (испытания на растяжение и сжатие, кручение, изгиб);

2) динамическими, когда нагрузка прилагается ударом и возрастает с большой скоростью (испытания на ударную вязкость);

3) повторно-переменными, если нагрузка действует на металл многократно (испытания на усталость).

Статические и ударные испытания можно производить как при комнатной, так и при пониженных и повышенных температурах. Если металл предназначается для работы при повышенных температурах, то обычно производят или длительные испытания при нагреве (испытания на ползучесть), или определяют жаростойкость, жаропрочность и т.д.

Большинство инженеров информацию о механических свойствах получают из справочников. Для грамотного использования информации из справочников необходимо ясное представление о методе испытания и физическом смысле полученных характеристик. Поэтому в данной работе подробнее ознакомимся с механическими свойствами, получаемыми при испытаниях на растяжение, которые имеют важное значение при расчетах конструкций и деталей машин на статическую прочность.

## Метод испытания на растяжение

Испытание на одноосное растяжение выполняется согласно стандартам: ГОСТ 1497-84 – для испытания при комнатной температуре; ГОСТ 9651-84 – при высоких (от 35 до 1200 °С) и ГОСТ 11150-84 – при низких (до -100 °С) температурах.

Для испытания на растяжение применяют специальные образцы, имеющие в поперечном сечении форму круга (цилиндрические образцы) или прямоугольника (плоские образцы). На рис. 2.1 представлены стандартные образцы для испытания на растяжение.

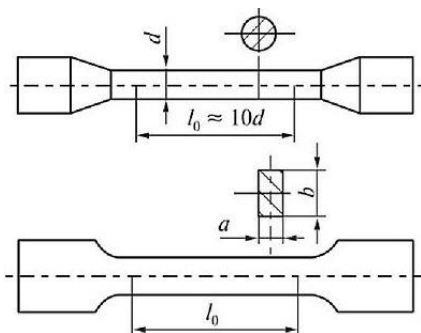


Рис. 2.1. Стандартные образцы для испытания на растяжение при комнатной температуре:

$l_0$  – начальная расчетная длина;  $d_0$  – начальный диаметр рабочей части

Согласно ГОСТ 1497-84 геометрические параметры образцов на растяжение должны отвечать следующим соотношениям:

$$l_0 = 5,65\sqrt{F_0} \text{ – для коротких образцов;}$$

$$l_0 = 11,3\sqrt{F_0} \text{ – для длинных образцов,}$$

где  $F_0$  – начальная площадь поперечного сечения расчетной части образца.

Для цилиндрических образцов отношение расчетной начальной длины  $l_0$  к начальному диаметру  $d_0$ , т.е.  $l_0/d_0$  называют кратностью образца, от которой зависит его конечное относительное удлинение. На практике применяют образцы с кратностью 2,5, 5 и 10. Самым распространенным является образец с кратностью 5.

Перед испытанием образец закрепляют в вертикальном положении в захватах испытательной машины. Разрывная машина – это такой тип испытательного оборудования, который предназначен для испытания различных материалов и деталей. В таких машинах используются специальные разрывные пружины, отображающие предельно точные данные о сопротивляемости материала к разрывной нагрузке. На рис. 2.2 показана схема испытательной машины, основными элементами которой являются: нагружающее устройство (оно может быть как на механическом, так и на гидравлическом приводе), измерительное оборудование (для регистрации деформации и усилий).



Рис. 2.2. Разрывная машина модели 1958

В процессе испытания диаграммный механизм непрерывно регистрирует так называемую первичную (машинную) диаграмму растяжения в координатах нагрузки ( $P$ ) – абсолютное удлинение образца ( $\Delta l$ ) (рис. 2.3).

На диаграмме растяжения пластичных металлических материалов можно выделить три характерных участка: участок  $OA$  – прямолинейный, соответствующий упругой деформации; участок  $AB$  – криволинейный, соответствующий упругопластической деформации при возрастании нагрузки; участок  $BC$  – также криволинейный, соответствующий упругопластической дефор-

мации при снижении нагрузки. В точке  $C$  происходит окончательное разрушение образца с разделением его на две части.

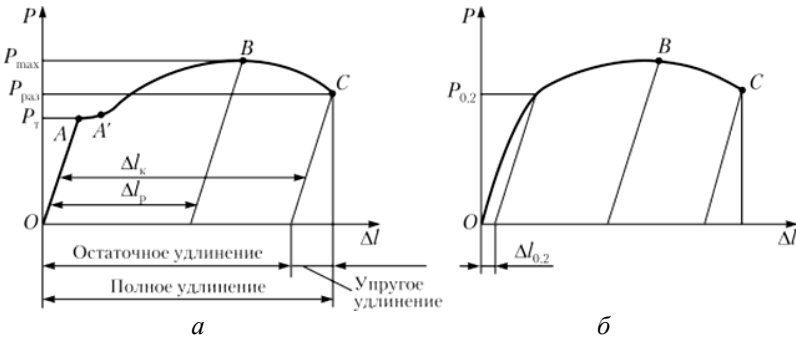


Рис. 2.3. Схема машинных (первичных) диаграмм растяжения пластичных материалов:  
 а – с площадкой текучести; б – без площадки текучести

В области упругой деформации (участок  $OA$ ) зависимость между нагрузкой  $P$  и абсолютным упругим удлинением образца  $\Delta l$  пропорциональна и известна под законом Гука:

$$P = k\Delta l,$$

где  $k = EF_0/l_0$  – коэффициент, зависящий от геометрии образца (площади поперечного сечения  $F_0$  и длины  $l_0$ ) и свойств материала (параметр  $E$ ).

Параметр  $E$ , МПа, называют модулем нормальной упругости, характеризующим жесткость материала, которая связана с силами межатомного взаимодействия. Чем выше  $E$ , тем материал жестче и тем меньшую упругую деформацию вызывает одна и та же нагрузка. Закон Гука чаще представляют в следующем виде:

$$\sigma = E\delta,$$

где  $\sigma = P/F_0$  – нормальное напряжение;  $\delta = \Delta l/l_0$  – относительная упругая деформация.

Наряду с модулем нормальной упругости  $E$  существует модуль сдвига (модуль касательной упругости)  $G$ , который связывает пропорциональной зависимостью касательное напряжение  $\tau$  с углом сдвига (относительным сдвигом)  $\gamma$ :

$$\tau = G\gamma.$$

Еще одним важным параметром упругих свойств материалов является коэффициент Пуассона  $\mu$ , равный отношению относительной поперечной деформации ( $\Delta d/d_0$ ) к относительной продольной деформации ( $\Delta l/l_0$ ). Этот коэффициент характеризует стремление материала сохранять в процессе упругой деформации свой первоначальный объем.

От коэффициента Пуассона  $\mu$  зависит соотношение между  $E$  и  $G$ :

$$E / G = 2(1 + \mu).$$

Как следует из уравнения, модуль нормальной упругости больше модуля сдвига, так как для смещения атомов отрывом требуется большее усилие, чем сдвигом.

При переходе от упругой деформации к упругопластической для некоторых металлических материалов на диаграмме растяжения может проявляться небольшой горизонтальный участок, который называют площадкой текучести  $AA'$  (рис. 2.3). На этой стадии деформации в действие включаются новые источники дислокаций, происходит их спонтанное размножение и лавинообразное распространение по плоскостям скольжения. Макроскопическим проявлением этих процессов является образование в рабочей поверхности образца узких полос скольжения, получивших название линий Чернова–Людерса. Эти линии располагаются под углом  $45^\circ$  к продольной оси образца по направлению действия максимальных касательных напряжений и отчетливо видны на его полированной поверхности. Однако многие металлы и сплавы деформируются при растяжении без площадки текучести.

С увеличением упругопластической деформации усилие, с которым сопротивляется образец, растет и достигает в точке  $B$  своего максимального значения. Для пластичных материалов в этот момент в наиболее слабом сечении образца образуется локальное сужение (шейка), где при дальнейшем деформировании происходит разрыв образца. На участке  $OAB$  деформация распределена равномерно по всей длине образца, а на участке  $BC$  деформация практически вся сосредоточена в зоне шейки.

При растяжении определяют следующие показатели прочности и пластичности материалов.

Показатели прочности материалов характеризуются удельной величиной – напряжением, равным отношению нагрузки в характерных точках диаграммы растяжения к площади поперечного сечения образцов.

Предел текучести (физический)  $\sigma_T$ , МПа – наименьшее напряжение, при котором материал деформируется (течёт) без заметного изменения нагрузки:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0},$$

где  $P_T$  – нагрузка, соответствующая площадке текучести на диаграмме растяжения.

Если на машинной диаграмме растяжения нет площадки текучести, то задаются допуском на остаточную деформацию образца и определяют условный предел текучести.

Условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ , МПа – это напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% от начальной расчетной длины образца:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0},$$

где  $P_{0,2}$  – нагрузка, соответствующая остаточному удлинению  $\Delta l_{0,2} = 0,002 l_0$ .

Временное сопротивление (предел прочности)  $\sigma_B$ , МПа – напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке  $P_{\max}$ , предшествующей разрыву образца:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}.$$

Истинное сопротивление разрыву  $S_K$ , МПа – напряжение, определяемое отношением нагрузки  $P_K$  в момент разрыва к площади поперечного сечения образца в месте разрыва  $F_K$ :

$$S_K = \frac{P_K}{F_K},$$

где  $F_K = \frac{\pi d_K^2}{4}$ .

Показатели пластичности. Пластичность – одно из важных механических свойств металлов, которое в сочетании с высокой прочностью делает его основным конструкционным материалом.

Относительное предельное равномерное удлинение  $\delta_p$ , % – наибольшее удлинение, до которого образец деформируется равномерно по всей его расчетной длине или отношение абсолютного приращения длины образца  $\Delta l_k$  до нагрузки  $P_{\max}$  к ее первоначальной длине:

$$\delta_p = \frac{\Delta l_k}{l_0} 100\% = \frac{l_k - l_0}{l_0} 100\%.$$

где  $l_0$  и  $l_k$  – соответственно начальная и конечная расчетные длины образца;  $\Delta l_k$  – абсолютное удлинение образца, определяемое измерением длины образца после разрыва или по диаграмме растяжения.

Аналогично предельному равномерному удлинению существует относительное предельное равномерное сужение ( $\psi_p$ , %):

$$\psi_p = \frac{\Delta F_k}{F_0} 100\% = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100\%.$$

где  $F_0$  и  $F_k$  – соответственно начальная и конечная площади поперечного сечения образца.

У пластичных материалов относительное сужение более точно характеризует их максимальную пластичность и она определяется только на цилиндрических образцах.

## **Приборы, материалы**

Разрывная машина марки 1958, образцы для испытания на растяжение из конструкционной стали в отожженном состоянии, штангенциркуль.

## **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы разрывной машины 1958.

2. Нарисовать эскиз испытуемого образца, отметить на нем расчетную длину  $l_0$  и диаметр  $d_0$ .

3. Измерить исходные размеры образца и записать их в сводной таблице экспериментальных результатов.

4. Провести испытания данного образца на растяжение на разрывной машине (вместе с учебным мастером).

5. В ходе испытания необходимо наблюдать за нагружением и деформацией образца.

6. Нарисовать эскиз образца после испытания с указанием конечных размеров  $l_k$  и  $d_k$ .

7. Перечертить диаграмму растяжения в тетрадь с указанием осей координат и характерных точек.

8. Вычислить характеристики прочности  $\sigma_t$ ,  $\sigma_b$ ,  $S_k$  и пластичности  $\delta$  и  $\psi$ .

9. По результатам работы сделать вывод.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.

2. Краткие теоретические сведения.

3. Эскиз образца до и после испытаний.

4. Диаграмма растяжения в координатах  $P - \Delta l$ .

5. Таблица экспериментальных и расчетных результатов.

6. Вывод.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое прочность металла?

2. На какие группы делятся механические испытания в зависимости от условий нагружения?

3. Какова особенность статических испытаний?

4. Чем отличаются динамические испытания от статических?

5. Какие характеристики прочности и пластичности определяются по результатам испытания на растяжение?

6. Чем отличаются условные и истинные характеристики прочности?

### Лабораторная работа № 3

## БЕЗОБРАЗЦОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Цель работы – ознакомление с сущностью и методикой безобразцового способа определения пределов текучести и прочности конструкционных сталей при растяжении с использованием испытаний на твердость.

Безобразцовый метод основан на инденторных испытаниях материалов, в результате которых определяют специальные характеристики твердости и пересчитывают их на показатели других механических свойств. Главное его достоинство заключается в возможности ускоренной оценки механических характеристик металла готовых изделий, не выводя из строя и не вырезая из них образцов. Поэтому метод получил название безобразцового метода определения механических свойств.

Безобразцовый метод, как более экономичный и простой, представляет большой научный и практический интерес в области исследования, контроля и диагностики качества металла. В некоторых случаях безобразцовый метод является пока единственным пригодным для оценки механических свойств малых объемов или локальных зон обработанного металла (упрочненный слой, сварные соединения и др.). Этот метод особенно эффективен при оценке остаточного ресурса оборудования, проработавшего длительное время в эксплуатации и выработавшего свой расчетный срок службы.

Исходная информация для оценки механических свойств металла безобразцовым методом содержится в диаграмме вдавливания индентора. Диаграмма вдавливания может быть представлена в координатах нагрузки вдавливания – геометрический параметр отпечатка (первичная диаграмма) или в координатах контактного напряжения – контактная деформация. Геометрическим параметром отпечатка может являться его диаметр или глубина. На рис. 3.1 представлены первичные диаграммы вдавливания сферического индентора в координатах нагрузки вдавливания – диаметр остаточного отпечатка. Эти диаграммы получены в области пластической деформации при ступенчатом вдавливании сферического индентора диаметром  $D$  с разгрузкой

на каждой ступени нагружения целью измерения диаметра остаточного отпечатка.

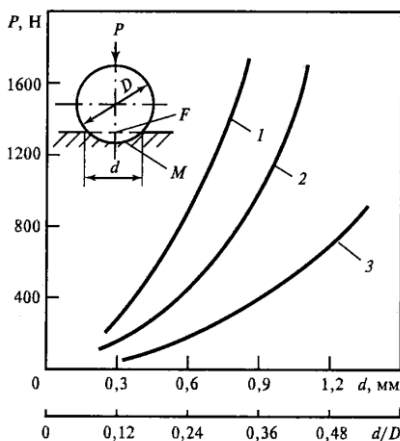


Рис. 3.1. Первичные диаграммы ступенчатого вдавливания сферического индентора ( $D = 2,5$  мм):

1 – материал 35ХВЮА; 2 – материал ЭП184; 3 – материал АМг2

Различают два вида пределов текучести материалов – физический  $\sigma_t$ , соответствующий площадке текучести, и условный  $\sigma_{0,2}$ , соответствующий остаточной деформации (0,2%) для материалов, у которых отсутствует площадка текучести. Однако экспериментально установлено, что площадка текучести начинается при достижении остаточной деформации, близкой к 0,2%. Поэтому для материалов, имеющих площадку текучести, величины пределов текучести практически не зависят от того, как они определяются – по площадке текучести или по остаточной деформации (0,2%). В связи с этим с целью упрощения во всех случаях безобразцовым методом определяют условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  по твердости на пределе текучести  $HB_{0,2}$ .

$$HB_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{M_{0,2}}.$$

где  $P_{0,2}$  – нагрузка на индентор, необходимая для остаточной деформации;  $M_{0,2}$  – площадь поверхности отпечатка, соответствующая нагрузке вдавливания  $P_{0,2}$ .

Для определения  $HB_{0,2}$  необходимо вдавливать сферический индентор до отпечатка

$$d_{0,2} = 0,09D.$$

Если, например,  $D = 10$  мм, то  $d_{0,2} = 0,9$  мм. Между  $\sigma_{0,2}$  и  $HB_{0,2}$  существует устойчивая корреляционная связь, которая может быть представлена степенным уравнением:

$$\sigma_{0,2} = bHB_{0,2}^c.$$

где  $b$ ,  $c$  – постоянные коэффициенты для отдельных групп материалов.

Анализ диаграмм вдавливания и растяжения показывает, что деформация, соответствующая максимуму диаграммы вдавливания, и деформация, соответствующая максимуму диаграммы растяжения, практически совпадают по величине. Это дает основание оценивать временное сопротивление (предел прочности) по максимальной твердости по Бринеллю  $HB_{\max}$  (твердости по Бринеллю на пределе прочности). В этом случае взаимосвязь временного сопротивления и максимальной твердости по Бринеллю практически пропорциональна:

$$\sigma_b = 0,385HB_{\max}.$$

Наиболее точно  $HB_{\max}$  можно определить по диаграмме вдавливания, но построение такой диаграммы представляет собой довольно трудоемкий процесс. Вместе с тем с достаточной для практики точностью  $HB_{\max}$  можно определить по результатам всего лишь двух вдавливаний индентора под разными нагрузками. Для многих материалов, применяемых в машиностроении, значения твердости по Бринеллю ( $HB$ ) незначительно отличаются от значений максимальной твердости по Бринеллю ( $HB_{\max}$ ).

## Приборы, материалы

Твердомеры Бринелля, отсчетный микроскоп, образцы для испытания из стали.

## Порядок выполнения работы

1. По диаграммам растяжения рассчитывают характеристики прочности: условный предел текучести и временное сопротивление разрушению.

2. Головки образцов зачищают по торцевым поверхностям с помощью наждачной бумаги и устанавливают на предметный столик твердомера.

3. В испытуемый образец вдавливают шар диаметром 10 мм с произвольной нагрузкой, вызывающий отпечаток менее 0,9 мм. Далее в ту же лунку повторно вдавливают шар таким образом, чтобы диаметр отпечатка менялся до 0,9 мм или несколько больше. Путем интерполяции находят нагрузку, соответствующую отпечатку диаметром 0,9 мм, по которой определяют  $H_{0,2}$  и  $\sigma_{0,2}$ .

4. Далее вдавливают шар диаметром 2,5 мм в поверхность того же образца нагрузкой 1838,7 Н (187,5 кгс). Измеряют диаметр отпечатка, определяют твердость по Бринеллю и соответствующее ей временное сопротивление разрушению  $\sigma_B$ .

### **Содержание отчета**

1. Тема. Цель работы.
2. Первичные диаграммы ступенчатого вдавливания сферического индентора.
3. Краткое описание метода определения временного сопротивления разрушения по твердости.
4. Расчет определения твердости по Бринеллю и временного сопротивления разрушению по твердости.
5. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Что понимают под прочностью металла?
2. Что такое твердость металла?
3. Приведите сущность метода определения прочности металла по твердости.
4. Приведите примеры применения данного метода в машиностроении.

## Лабораторная работа № 4 УСТРОЙСТВО И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАВКИ В ИНДУКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

Цель работы – ознакомиться с устройством индукционной тигельной печи, принципами действия и режимами плавки на этапах приготовления расплава.

Индукционные тигельные печи широко применяются в литейном производстве для выплавки стали, чугуна, меди, алюминия и др. на твердой завалке. Преимуществами индукционных печей являются низкий угар металла и относительно хорошие гигиенические условия труда.

Устройство индукционной печи представлено на рис. 4.1.

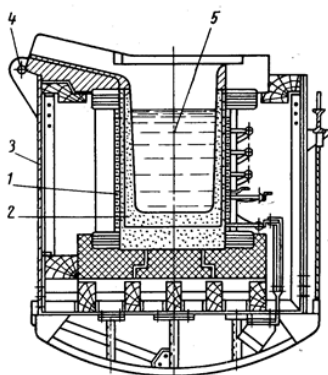


Рис. 4.1. Схема индукционной тигельной печи:

1 – индуктор; 2 – тигель; 3 – каркас; 4 – поворотная ось; 5 – плавящийся металл

Индуктор представляет собой цилиндрическую катушку из медной трубки круглого, квадратного или прямоугольного сечения. Медь используется потому, что она поглощает меньше энергии электромагнитного поля, чем сталь и другие материалы. Размер сечения отверстия в трубке обусловлен расходом охлаждающей ее воды. Поперечное сечение тела трубки зависит от тока, протекающего по индуктору, и от частоты питаю-

щего тока. Для подвода и отвода воды и электроэнергии индуктор имеет припаянные штуцеры. Между витками индуктора устанавливают электроизоляционные прокладки. Индуктор для обеспечения изоляции покрывают слоем эпоксидной смолы.

Магнитопровод предназначен для предотвращения нагрева каркаса печи полями рассеяния вокруг индуктора. Магнитопровод набирают из листовой трансформаторной стали толщиной 0,3–0,5 мм в виде пакетов длиной больше высоты индуктора и располагают по периметру индуктора.

Каркас печи выполняют из асбоцементных плит и профильной стали для обеспечения надежности и прочности, так как он принимает все нагрузки при расширении печи при нагреве, при ее наклоне, сливе металла и шлака.

Футеровка печи должна выдерживать механическое воздействие жидкого металла и большие скорости изменения температуры. Футеровка со стороны индуктора должна быть не спекшейся, что предотвращает образование сквозных трещин, а со стороны жидкого расплава должна иметь плотную спекшуюся поверхность. Футеровка печи состоит из подины, тигля и верхнего кольца. Сначала методом уплотнения сухой кварцевой массы изготавливают подину, затем с применением металлического шаблона – тигель. Используют кварцит влажностью 0,3% с добавлением борной кислоты 2,2%.

Механизм наклона в печи ИСТ 006 емкостью 60 кг выполнен в виде цапф на каркасе печи, а сам наклон производится электроталью на угол 96–100°.

Электрооборудование входит в комплект печной установки и состоит из трансформатора, конденсаторных батарей, преобразователя частоты тока, щитов управления и питающих кабелей. Печь подключается к сети высокого напряжения (до 36 В) через высоковольтный выключатель. Трансформатор имеет несколько регулировочных ступеней на вторичной стороне, что позволяет подводить необходимые напряжения к индуктору в зависимости от режима работы печи. Для компенсации индуктивной мощности индуктора предназначены две конденсаторные батареи, что дает возможность для любого режима работы печи получать значение  $\cos \varphi$ , близкое к единице. Индукцион-

ные тигельные печи, работающие на повышенной частоте, имеют преобразователь частоты (тиристорный или машинный).

Система охлаждения печной установки представляет собой замкнутый водяной контур, в котором вода циркулирует по индуктору печи, трубчатому теплообменнику, конденсаторным батареям с помощью электронасосов. Для компенсации утечек воды предусмотрена система добавления воды из бака.

Принцип действия индукционной печи заключается в выделении теплоты при протекании по проводнику индуктированного в нем тока. Через индуктор пропускается переменный ток, создающий переменное магнитное поле. Это поле наводит (индуцирует) в нагреваемом металле вихревые токи, вследствие чего в нем выделяется теплота. Скорость нагрева зависит от теплофизических свойств нагреваемого металла и параметров магнитного и электрического полей. Индуктором в виде катушки с большим числом витков создается сильное магнитное поле, способное довести металл до расплавления и перегреть. Переменное магнитное поле вызывает вихревое электрическое поле в шихте, заполняющей тигель, возникают вихревые токи (токи Фуко), которые нагревают шихту. Массивные тела имеют небольшое электрическое сопротивление, поэтому вихревые токи в них могут быть большими.

Магнитное поле характеризует магнитная индукция:

$$B = \mu\mu_0 H,$$

где  $B$  – магнитная индукция, Тл ( $1 \text{ Тл} = 1 \text{ Вб/м}$ );  $\mu$  – магнитная проницаемость вещества в тигле;  $\mu_0$  – абсолютная магнитная проницаемость, Гн/м; ( $\mu_0 = 125 \cdot 10^{-8} \text{ Гн/м}$ );  $H$  – напряженность магнитного поля, А/м.

$$H = \frac{In}{l},$$

где  $I$  – сила тока в катушке, А;  $n$  – число витков;  $l$  – длина катушки, м.

Магнитный поток равен произведению магнитной индукции на площадь:

$$\Phi = BF,$$

где  $\Phi$  – магнитный поток, Вб;  $F$  – площадь потоков, м<sup>2</sup>.

Электрическое поле, вызванное согласно закону электромагнитной индукции, характеризуется электрическим напряжением:

$$U = 4,44 f \Phi,$$

где  $U$  – электрическое напряжение, В;  $f$  – частота тока, питающего индуктор, Гц;  $\Phi$  – максимальное значение магнитного потока, Вб.

### **Оборудование, приборы, материалы**

Установка индукционная тигельная ИСТ006, потенциометр, термопара, ложка, изложница.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством печи.
2. Изучить технические параметры установки.
3. Подготовить составляющие шихты и загрузить их в тигель.
4. Включить печь на 5–10 мин на пониженную мощность и далее выбрать максимальный режим расплавления. Отметить время начала плавки.
5. После расплавления металла переключить печь на пониженную мощность. Замерить температуру.
6. Перегреть металла и замерить температуру.
7. Выпустить металл в изложницу.
8. Отметить время окончания плавки.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Краткое описание устройства индукционной печи.
3. Схема печи.
4. Оценка состояния футеровки.
5. Оценка состава шихты и укладка в тигель. Описание материала шихты.
6. Режим расплавления.

7. Режим нагрева.
8. Режим выдержки металла в тигле.
9. Общее время плавки.
10. Температурный режим плавки.
11. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Опишите устройство индукционной тигельной печи?
2. Каково назначение индукционной печи?
3. Что представляет собой индуктор печи?
4. Какие требования предъявляются к футеровке печи?
5. Какое электрооборудование входит в комплекс печной установки?

## Лабораторная работа № 5 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМ ПО РАЗЪЕМНОЙ МОДЕЛИ

Цель – ознакомление студентов с технологическим процессом изготовления литейных форм по разъемной модели. Приобретение практических навыков формовки в опоках вручную.

Формовка по постоянным моделям является наиболее распространенным вариантом изготовления литейных полуформ. Модели бывают разъемные, неразъемные или с отъемными частями. Разъемные модели применяют при ручной, машинной и автоматической формовке из песчано-глинистых смесей (рис. 5.1). Литьем в песчаные разовые сырые или сухие формы изготавливают около 80% общего количества отливок.

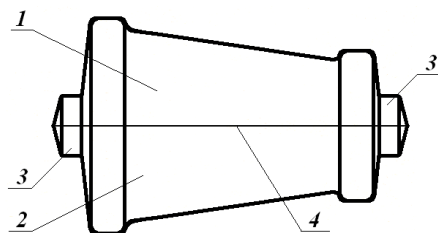


Рис. 5.1. Разъемная модель:

1 – верхняя полумодель; 2 – нижняя полумодель; 3 – стержневые знаки; 4 – плоскость разъема

Модель служит для образования и воспроизведения конфигурации отливки в форме. Материалом для моделей служит обычно дерево в индивидуальном производстве и металл (алюминий, чугун) или пластмасса в серийном производстве.

Модели делают разъемными с целью упрощения изготовления и облегчения извлечения их из формы. Для центрирования частей модели и предотвращения смещения при формовке они снабжаются шкантами.

Кроме основных моделей, образующих внешнюю конфигурацию отливок, имеются стержневые ящики и модели литниковых систем, с помощью которых при формовке образуется си-

стема каналов, через которые жидкий металл поступает в полость формы. Обычно литниковая система состоит из литниковой чаши (воронки), стояка, шлакоуловителя, питателя. Стержневые ящики используют для изготовления песчаных стержней, которые после установки и фиксации в форме служат для выполнения внутренних полостей в отливках. Части модели, служащие для опорных поверхностей в форме, на которые устанавливаются стержни (знаки стержня), называются стержневыми знаками. Их выполняют в стержневых ящиках, окрашивают в черный цвет. Они служат для образования опорных поверхностей на стержне. Формовку осуществляют на модельных плитах. Модель, стержневые ящики и плиты, а также модели литниковых систем, проверочные шаблоны и другие приспособления для формовки составляют модельный комплект.

Формовка вручную является самой трудоемкой работой при производстве отливок. При изготовлении полуформы и для удержания формовочной смеси во время уплотнения применяют опоки – жесткие рамки. Опоки изготавливают из чугуна, стали, алюминиевых сплавов, дерева. Обычно используют пару опок для верхней и нижней полуформы, которые фиксируются на модельных плитах и между собой при сборке формы по системе штырь-втулка. Для лучшего удержания уплотненной формовочной смеси в опоках делают по периметру разреза буртики и шпоны (крестовины) на крупных опоках.

### **Оборудование, материал, инструмент**

Модели верха и низа, стержневой ящик, модели литниковой системы, опоки верха и низа, подмодельная плита, трамбовка, гладилка, лопата, молоток, вентиляционная игла, формовочная смесь, графит серебристый.

### **Порядок выполнения работы**

1. Подготовить модели и элементы литниковой системы, опоки, плиты, инструменты.
2. Подготовить формовочную смесь, разделительный состав.

3. Из формовочной смеси изготовить полуформы по разъемным моделям в такой последовательности:

– установить нижнюю половину модели 1 (рис. 5.2, а) на подмодельную плиту и припылнить графитом;

– установить опоку 3, заполнить объем опоки формовочной смесью (рис. 5.2, б);

– уплотнить трамбовкой 4 смесь вокруг модели и далее весь объем послойно, добиваясь равномерного уплотнения (рис. 5.2, в);

– срезать излишки смеси линейкой 5 (рис. 5.2, г);

– готовую полуформу перевернуть на 180°, полость разъема загладить гладилкой и присыпать графитом. Установить вторую половину модели по центрирующим шкантам и модели литниковой системы (в том числе выпор, стояк) (рис. 5.2, д.);

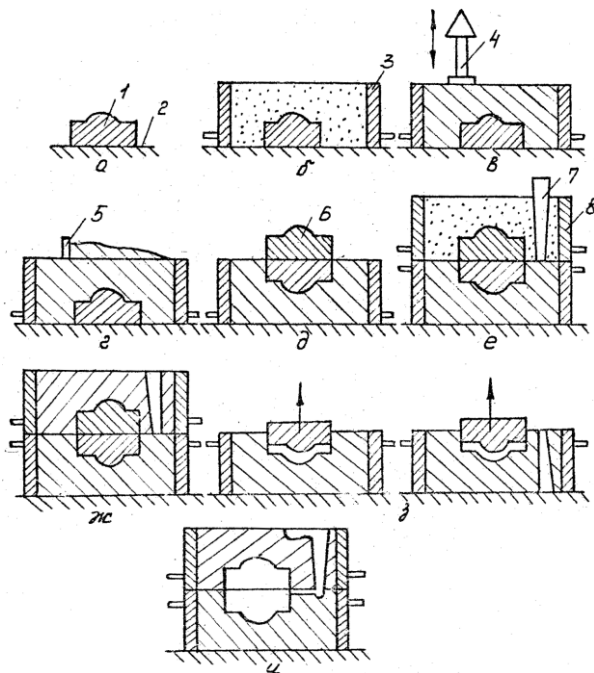


Рис. 5.2. Последовательность операций при формовке по разъемной модели:

1, 6 – модели нижняя и верхняя; 2 – подмодельная плита; 3 – опока нижняя; 4 – трамбовка; 5 – линейка; 7 – стояк; 8 – опока верхняя

– по фиксирующим штырям установить верхнюю опоку на нижнюю, заполнить объем опоки смесью, поддерживая при необходимости стояк и выпор, и уплотнить смесь; срезать излишек смеси и оформить гладилкой литниковую воронку вокруг стояка (рис. 5.2, е);

– извлечь модели стояка и выпоров, слегка раскачивая и постукивая (рис. 5.2, ж);

– снять верхнюю полуформу и перекантовать (перевернуть) на 180°;

– протянуть модели из верхней и нижней полуформ крючком, слегка постукивая;

– отделать гладилкой поверхность полуформ и литниковой системы или при необходимости прорезать элементы литниковой системы; припылить полуформы для получения более чистой поверхности (рис. 5.2, з); собрать форму. Поставить стержни, если это необходимо, и установить по фиксирующим или сборочным штырям верхнюю полуформу на нижнюю (рис. 5.2, и).

4. Оценить качество изготовления полуформы и формы.

5. Подготовить расплав.

6. Залить форму расплавом.

7. Выдержать отливки в формах.

8. Выбить отливки из форм.

9. Выбить стержни из отливок и очистить поверхность отливки.

10. Оценить качество отливок, выявить поверхностные дефекты.

11. При формовке необходимо соблюдать правила техники безопасности. Работать исправным инструментом. Рабочее место содержать в чистоте. Запрещается проводить формовку вблизи заливаемых форм.

## Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Общие сведения о формовке.

3. Перечень операций при изготовлении форм.

4. Эскизы моделей. Эскизы формы в сборе.
5. Оценка качества поверхности отливок с описанием дефектов и вероятных причин их образования.
6. Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1. Охарактеризуйте схему технологического процесса изготовления отливок.
2. В чем состоит сущность способа изготовления отливок в песчано-глинистых формах?
3. Какую модельно-опочную оснастку и какой инструмент применяют при ручном изготовлении литейных форм?
4. Какие формовочные материалы применяют для изготовления литейных форм и стержней?
5. Назовите основные элементы литниковой системы.
6. Какие дефекты возникают в отливках при усадке? Назовите причину образования усадочных раковин, пор, газовых дефектов.

## **Лабораторная работа № 6**

### **РАСЧЕТ ПОКОВКИ ДЕТАЛИ И ВЫБОР ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ**

Цель работы – ознакомление с основами объемной штамповки, расчет поковки детали и выбор заготовки для ее получения методом горячей объемной штамповки в открытом штампе.

Объемная штамповка – придание заготовке заданной формы и размеров путем принудительного заполнения материалом рабочей полости штампа, называемой ручьем. Различают горячую и холодную объемную штамповку.

Горячая объемная штамповка (рис. 6.1) применяется в машиностроении шире, чем холодная, и позволяет получать более сложные по форме поковки. Масса поковки обычно не превышает 50 кг, и только в отдельных случаях достигает 0,2–3 т. Для горячей объемной штамповки используют штамповочные молоты, прессы, горизонтально-ковочные машины и другое оборудование. Холодная штамповка осуществляется в основном на механических и гидравлических прессах, а также на специальных холодновысадочных и других автоматах.

Объемную штамповку производят как в открытых (для штамповки с облоем), так и закрытых (для безоблойной штамповки) штампах.

Открытый штамп состоит из половин, у которых вдоль внешнего контура штамповочного ручья имеется облойная канавка, выполненная в виде углубления небольшой высоты. При штамповке в магазин облойной канавки вытекает избыточный металл заготовки, который образует на поковке облой, компенсирующий неточность объема исходной заготовки.

В процессе штамповки в открытых штампах различают два основных периода. В первый период происходит заполнение полости штампа с одновременным вытеканием металла в облой; во второй период в облой вытекает излишек металла, имеющийся в заготовке, и происходит доштамповка поковки по высоте. Большое сопротивление течения металла, создающегося в конце штамповки мостиком облойной канавки, имеющим вид узкой

щели, и быстрое охлаждение относительно тонкого слоя способствует лучшему заполнению ручья штампа. Облой после штамповки удаляют на кривошипных, а с крупных поковок – на гидравлических прессах в обрезных штампах.

Закрытый штамп также состоит из двух половин, в которых металл деформируется в замкнутом пространстве ручья без образования облоя (следовательно, затраты, связанные с обрезкой, отсутствуют, а расход металла меньше). Однако для такой технологии требуются более точные по массе заготовки.

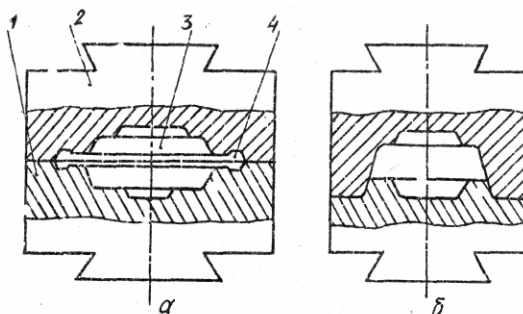


Рис. 6.1. Горячая объемная штамповка:

*a* – открытый штамп: 1 – нижняя половина штампа, 2 – верхняя половина штампа, 3 – поковка, 4 – зазор; *б* – закрытый штамп

Технологический процесс объемной штамповки в открытых штампах простых по форме поковок включает следующие операции:

- осадка исходной заготовки в торец;
- последующая штамповка в чистовом ручье;
- срезка облоя в обрезном штампе;
- очистка от окалины.

Таким способом изготавливают поковки типа шестерен, крестовин, дисков и других простых по форме деталей.

Оптимальная форма и размеры заготовки перед штамповкой должны обеспечивать наилучшее заполнение ручья штампа металлом, а также исключать образование так называемых «зажимов» – одного из самых распространенных видов брака при штамповке круглых в плане поковок. «Зажимы» возникают при

большой высоте заготовки, когда по мере движения верхней половины штампа металл начинает касаться дна ручья раньше, чем боковых стенок.

Образование «зажимов» можно предотвратить, если применять заготовку с диаметром, близким к диаметру наружной полости штампа. При этом первая стадия операции штамповки – открытая прошивка – будет сведена к минимуму. К тому времени ручей штампа еще не успевает заполниться металлом, он коснется боковых стенок штампа и начнет вытекать в облой.

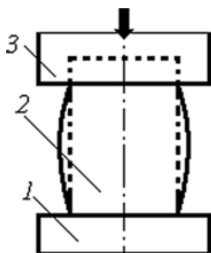


Рис. 6.2. Схема осадки прутковой заготовки:

1 – нижний боек; 2 – заготовка;  
3 – верхний боек

Заготовки требуемых размеров для штамповки в чистовом ручье, как правило, изготавливают путем осадки исходных прутковых заготовок на молотах или гидравлических прессах (рис. 6.2).

Осадка ведется до тех пор, пока не будет получена заготовка с требуемыми высотой  $H_3$  и диаметром  $D_3$ .

Требуемый размер осажженной заготовки определяется по формуле:

$$D_3 = \sqrt[3]{\frac{4G_3}{\pi\rho \frac{H_3}{D_3}}} \quad (1)$$

где  $G_3$  – масса заготовки;  $\rho$  – плотность материала заготовки (поковки).

Масса заготовки, необходимая для получения штампованной поковки на молоте или прессе:

$$G_3 = G_{\text{п}} + G_{\text{об}} + G_{\text{ут}}, \quad (2)$$

где  $G_{\text{п}}$  – масса поковки;  $G_{\text{об}}$  – масса облоя (учитывается только при штамповке в открытом штампе);  $G_{\text{ут}}$  – масса отхода металла на угар, образующийся в результате нагрева заготовок перед штамповкой.

Массу облоя ориентировочно подсчитывают по формуле:

$$G_{об} = (0,5 \div 0,8)F_{об}\rho L, \quad (3)$$

где  $F_{об}$  – площадь поперечного сечения канавки для облоя;  $L$  – периметр поковки по линии разъема.

Ориентировочно площади поперечного сечения канавки для облоя в зависимости от массы поковки приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Площади поперечного сечения канавки для облоя  
в зависимости от массы поковки

$G_{об}, \text{ кг}$	<0,5	0,5- 1,5	1,5- 5,0	5,0- 12,0	12,0- 25,0	25,0- 40,0	40,0- 100,0	>100,0
$F_{об}, \text{ см}^2$	1,1	1,6	2,4	3,2	4,2	5,3	11,2	19,5

Масса отхода металла на угар  $G_{уг}$  при нагреве в пламенной печи принимается равной  $1,5 \div 3,0\%$  массы поковки с облоем, а при электронагреве  $0,5 \div 1,0\%$ , т.е.

$$G_{уг} = (0,015 \div 0,03)(G_{п} + G_{об}) \quad \text{или} \quad G_{уг} = (0,005 \div 0,01)(G_{п} + G_{об}). \quad (4)$$

Масса поковки определяется по формуле

$$G_{п} = V_{п}\rho, \quad (5)$$

где  $V_{п}$  – объем поковки;  $\rho$  – плотность материала поковки.

Объем поковки находится по чертежу поковки (объем поковки сложной формы подсчитывается как сумма составляющих элементарных объемов простой формы).

Чертеж поковки составляется на основе чертежа детали в следующей последовательности: выбирают плоскость разъема, назначают припуски, допуски и напуски, определяют величину штамповочных уклонов и радиусы скруглений, назначают базы для последующей механической обработки.

Плоскостью разъема называют плоскость, делящую поковку на две плоскости, каждая из которых штампуется соответствующей частью штампа. Правильный выбор плоскости разъема должен обеспечивать благоприятное расположение волокон, заполнение полости штампа по схеме осадки, а не выдавливания, простоту обработки штампа, удобство укладки и фиксации поковки, надежное удаление поковки из верхней и нижней частей штампа.

Припуски при горячей штамповке назначают с целью учета дефектного слоя металла, искривления поковки, вмятин от окислы и др. при последующей механической обработке.

Допуски учитывают недоштамповку поковок, износ ручья, сдвиг штампов. Допуск определяет допустимые отклонения размеров поковки и равен разности между наибольшими и наименьшими значениями одного и того же размера поковки.

Напусками называют дополнительные объемы металла, назначаемые в целях упрощения конфигурации поковки, облегчения извлечения из ручьев. Например, малые отверстия (диаметром менее 30 мм) не штампуют, а закрывают напусками.

Штамповочные уклоны также являются напусками. Они предназначаются для облегчения извлечения поковок из штампа. Наружные уклоны  $\alpha$  назначают до  $7^\circ$ , а внутренние  $\beta$  – до  $10^\circ$ .

Радиусы скруглений обеспечивают облегченное течение металла, повышение стойкости штампа, благоприятное расположение волокон, исключают появление «зажимов» и складок. Внутренние радиусы  $R$  принимают примерно в 3-4 раза больше наружных радиусов  $r$ .

Назначение припусков, допусков и напусков производится по ГОСТ 7505-89 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски». Для ориентировочных расчетов можно воспользоваться следующими эмпирическими формулами:

а) припуск на размеры по высоте

$$P_H = 0,06H + 0,0017D + 2,8; \quad (6)$$

б) допуск на размеры по высоте

$$\Delta_H = 0,028H + 0,0004D + 0,5; \quad (7)$$

в) припуск на диаметры

$$P_D = 0,08H + 0,002D + 10; \quad (8)$$

г) допуски на диаметры

$$\Delta_D = 0,03H + 0,0003D + 1,2; \quad (9)$$

Во всех формулах:  $H$  – размер участка детали по высоте;  $D$  – диаметр участка детали. Все размеры в мм.

На рис. 6.3 приведен пример чертежа поковки.

Высота осажженной заготовки для получения из нее поковки определяется по следующей эмпирической формуле

$$H_3 = D_p \left( \begin{array}{l} 0,291 + 0,119 \frac{H_{\text{п}}}{D_{\text{п}}} - 0,921 \cdot 10^{-3} G_3 - 0,801 \cdot 10^{-1} S + \\ + 1,360 \frac{H_{\text{п}}^2}{D_{\text{п}}^2} + 0,594 \cdot 10^{-3} G_3 + 0,904 \cdot 10^{-2} S \end{array} \right), \quad (10)$$

где  $H_{\text{п}}$  – максимальная высота поковки;  $D_{\text{п}}$  – максимальный диаметр поковки;  $S$  – степень сложности поковки.

$$\text{Пределы значений } \frac{H_3}{D_3} = 2,197 \text{К } 0,091; \quad \frac{H_{\text{п}}}{D_{\text{п}}} = 1,035 \text{К } 0,085;$$

$$G_3 = 1,55 \dots 139 \text{ кг}; \quad S = 0,95 \dots 5,5.$$

Степень сложности поковки рассчитывается по формуле

$$S = \frac{\frac{P_{\text{п}}^2}{F_{\text{п}}} H_{\text{п}} D_{\text{п}}}{4(H_{\text{п}} + D_{\text{п}})^2} \cdot \frac{4R_{\text{шп}}}{D_{\text{п}}}, \quad (11)$$

где  $P_{\text{п}}$  – периметр осевого сечения поковки;  $F_{\text{п}}$  – площадь осевого сечения поковки;  $R_{\text{шп}}$  – абсцисса центра тяжести половины осевого сечения поковки.

Выбор исходной прутковой заготовки производится, исходя из полученных значений  $D_3$  и  $H_3$  и диаметров промышленно выпускаемых стальных прутков круглого сечения (ГОСТ 2590-2006 «Прокат сортовой стальной горячекатаный круглый. Сортамент»)  $D_0 = \dots 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 60, 62, 63, 65, 67, 68, 70, 72, 73, 75, 78, 80, 82, 85, 87, 90, 92, 95, 97, 100, 105, 110, 115, 120, 125, 130, 135, 140, 145, 150, 155, 160, 165, 170, 175, 180, 185, 190, 195, 200, 210, 220, 230, 240, 250, 260, 270$ .

Если диаметр заготовки под штамповку  $D_3$  оказывается равным диаметру стандартного прутка  $D_0$ , то исходной заготовкой является отрезанный от этого прутка цилиндр высотой  $H_3$ . В этом случае необходимость в осадке исходной заготовки отпадает.

В случае, когда диаметр заготовки под штамповку не совпадает с диаметром стандартного прутка ( $D_3 > D_0$ ), для изготовления исходной заготовки выбирают пруток ближайшего меньшего диаметра ( $D_0 < D_3$ ). От этого прутка нарезаются исходные заготовки высотой  $H_0$ , рассчитываемой по формуле:

$$H_0 = H_3 \frac{D_3^2}{D_0^2}. \quad (12)$$

Эти исходные заготовки осаживаются на молоте или прессе до получения заготовок под штамповку с требуемым диаметром  $D_3$  и высотой  $H_3$  (см. рис. 6.2).

Экономичность метода горячей объемной штамповки может быть оценена по коэффициенту использования металла (КИМ), который определяется по формуле

$$\text{КИМ} = \frac{G_{\text{д}}}{G_0} = \frac{V_{\text{д}}}{V_0}, \quad (13)$$

где  $G_{\text{д}}$ ,  $V_{\text{д}}$  – соответственно масса и объем детали, полученной механической обработкой поковки;  $G_0$ ,  $V_0$  – соответственно масса и объем исходной заготовки.

### Порядок выполнения работы

1. Для приведенной на рис. 6.3 стальной поковки ассиметричной детали (шестерни), изготавливаемой в закрытом штампе, считая, что на основании чертежа самой детали уже назначены все припуски, напуски и допуски в соответствии с формулами (6) – (9), дальнейший ход расчетов будет идти в следующей последовательности.

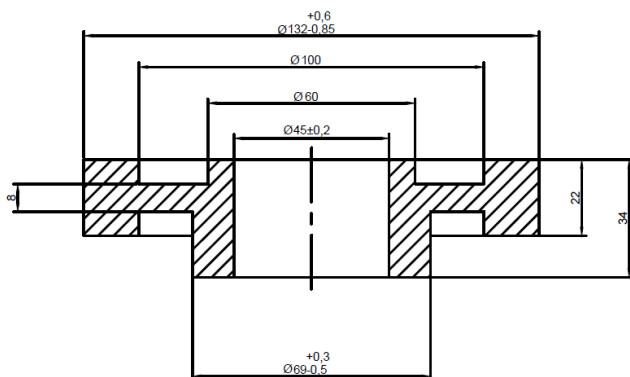


Рис. 6.3. Чертеж поковки шестерни

2. Вычислим соотношение

$$\frac{H_{\text{II}}}{D_{\text{II}}} = \frac{34}{132} = 0,258.$$

Данное значение входит в пределы  $\frac{H_{\text{п}}}{D_{\text{п}}} = 1,035 \text{К } 0,085$ .

3. Определим по формуле (11) степень сложности поковки:

$$S = \frac{\frac{P_{\text{п}}^2}{F_{\text{п}}} H_{\text{п}} D_{\text{п}}}{4(H_{\text{п}} + D_{\text{п}})^2} \cdot \frac{4R_{\text{шп}}}{D_{\text{п}}} = \frac{\frac{370}{1773} 34 \cdot 132 \cdot 4 \cdot 41,75}{4 \cdot (34 + 132)^2 \cdot 132} = 3,98.$$

Данное значение входит в пределы  $S = 0,95 \dots 5,5$ .

4. Определим по формуле (5) массу поковки:

$$G_{\text{п}} = V_{\text{п}} \rho = 232,53 \cdot 7,85 = 1825 = 1,825 \text{ кг.}$$

Данное значение входит в пределы  $G_3 = 1,55 \dots 139 \text{ кг.}$

5. Масса отхода металла на угар при нагреве в пламенной печи определим по формуле (4):

$$G_{\text{уг}} = (0,015 \div 0,03)(G_{\text{п}} + G_{\text{об}}) = 0,03 \cdot 1,825 = 0,055 \text{ кг.}$$

6. В соответствии с формулой (2) масса заготовки составит:

$$G_3 = G_{\text{п}} + G_{\text{об}} + G_{\text{уг}} = 1,825 + 0,055 = 1,88 \text{ кг.}$$

7. Определим по формуле (10) соотношение

$$\frac{H_3}{D_3} = 0,291 + 0,119 \cdot 0,258 - 0,921 \cdot 10^{-3} \cdot 1,88 - 0,801 \cdot 10^{-1} \cdot 3,98 + 1,360 \cdot 0,258^2 + 0,594 \cdot 10^{-3} \cdot 1,88 + 0,904 \cdot 10^{-2} \cdot 3,98 = 0,129.$$

Данное значение входит в пределы  $\frac{H_3}{D_3} = 2,197 \text{К } 0,091$ .

8. Определим по формуле (1) диаметр заготовки:

$$D_3 = \sqrt[3]{\frac{4G_3}{\pi \rho \frac{H_3}{D_3}}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,88}{3,14 \cdot 0,129 \cdot 7,85}} = \sqrt[3]{2,365} = 133,5 \text{ мм.}$$

9. Найдем высоту заготовки:

$$H_3 = 0,129 \cdot 133,3 = 17,22 \text{ мм.}$$

10. Поскольку стандартного прутка диаметром  $D_3 = 133,5 \text{ мм}$  не существует, то выбираем стандартный пруток диаметром 130 мм. Исходные заготовки изготавливаем из этого прутка, для чего нарезаем из него цилиндры высотой  $H_0$ .

$$H_0 = H_3 \frac{D_3^2}{D_0^2} = 17,22 \left( \frac{133,5}{130} \right)^2 = 18,17 \text{ мм.}$$

11. Для получения требуемых заготовок под штамповку производим осадку прутковых заготовок до диаметра поковки (132 мм). При этом высота заготовки станет равна:

$$H_0'' = 18,17 \left( \frac{130}{132} \right)^2 = 17,63 \text{ мм.}$$

Относительная осадка составит:

$$\varepsilon_z = \frac{H_0 - H_0''}{H_0} 100\% = \frac{18,17 - 17,63}{18,17} 100\% = 2,97\%.$$

В результате осадки должны получить заготовку под штамповку с требуемыми размерами  $H'_3$  и  $D'_3$ .

### Содержание отчета

1. Тема. Цель работы.
2. Сведения о сущности, основных особенностях и технологических возможностях метода горячей объемной штамповки.
3. Схемы магнитно-импульсной обработки металлов давлением (см. рис. 6.1 и 6.2).
4. Расчет поковки и заготовки для нее по чертежу, приведенном на рис. 6.3.
5. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что понимается под горячей объемной штамповкой?
2. Какова масса поковок, получаемых штамповкой?
3. Краткое описание процесса формообразования поковки в открытом штампе при горячей объемной штамповке.
4. Основные операции технологического процесса получения поковки методом горячей объемной штамповки.
5. Назначение припусков, допусков, напусков, штамповочных уклонов и радиусов скруглений на поковках.
6. Перечислите кузнечно-штамповочное оборудование, применяемое для горячей объемной штамповки.
7. Приведите виды брака поковок.
8. Почему коэффициент использования металла после механической обработки поковок не равен 100%?

## Лабораторная работа № 7

### МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Цель работы – ознакомление с основами магнитно-импульсной обработки металлов давлением (МИОМД), инструментом и оборудованием. Иллюстрация технологических возможностей метода на примере магнитно-импульсной раздачи на конус конца трубчатой заготовки.

МИОМД относится к новым высокоэнергетическим импульсным методам деформирования и основано на обработке металлов давлением импульсного магнитного поля.

Магнитно-импульсная обработка основывается на использовании сил электромеханического взаимодействия между вихревыми токами, наведенными в стенках обрабатываемой детали при пересечении их силовыми магнитными линиями импульсного магнитного поля, и самим магнитным потоком импульса. В отличие от других известных методов деформирования при магнитно-импульсной обработке электрическая энергия непосредственно преобразуется в механическую и импульс давления магнитного поля действует непосредственно на заготовку без участия какой-либо передающей среды. Это позволяет осуществлять деформирование как в вакууме, так и в любой среде, не препятствующей распространению магнитного поля.

В установку для магнитно-импульсной обработки обычно входят зарядное устройство  $1$ , состоящее из высоковольтного трансформатора и выпрямителя, коммутирующее устройство  $3$ , включающееся при подаче поджигающего импульса на вспомогательный электрод и вызывающее разряд батареи высоковольтных конденсаторов  $2$  на индуктор  $4$  (рис. 7.1).

При прохождении разрядного тока через индуктор в окружающем его пространстве образуется электромагнитное поле, которое в соответствии с законом электромагнитной индукции, наводит токи в заготовке  $5$ . В результате взаимодействия тока, наведенного в заготовке, с электромагнитным полем индуктора возникает магнитное давление  $F_m$  на заготовку, вызывающее ее деформацию.

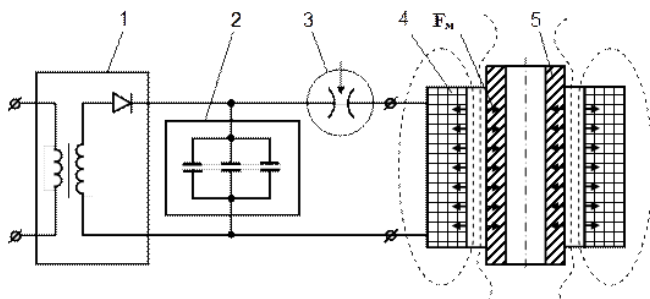


Рис. 7.1. Схема установки для магнитно-импульсной обработки:  
 1 – зарядное устройство; 2 – высоковольтные конденсаторы; 3 – коммутирующее устройство; 4 – индуктор; 5 – заготовка

Электродинамические силы взаимодействия между индуктором и деформируемой металлической заготовкой зависят от электрических и магнитных характеристик, а также размеров и взаимного расположения индуктора и заготовки.

Основные особенности метода заключаются в следующем:

- давление импульсного магнитного поля действует в течение 10–200 мкс и может достигать 350–500 МН/м<sup>2</sup>;

- скорость деформирования заготовки составляет 30–500 м/с, поэтому процесс можно считать высокоскоростным;

- отсутствует непосредственный механический контакт рабочего инструмента (индуктора) с заготовкой: усилия, деформирующие ее, передаются без какой-либо промежуточной среды, что позволяет одним и тем же индуктором производить формовку и сборку различных деталей и узлов, а также деформировать предварительно окрашенные, оксидированные или плакированные заготовки без нарушения их покрытия;

- ввиду больших скоростей деформирования возникают инерционные силы, которые на первом этапе деформирования препятствуют деформации заготовки, а на последующих – способствуют ей;

- усилия распределяются равномерно по окружности трубчатой заготовки и объемно по толщине ее стенки;

- при обработке деталей из плохо проводящих электрический ток материалов возможен нагрев заготовки до 200–300 °С за один разряд;

– кратковременность приложения нагрузки, высокие скорости деформирования обуславливают возможность изготовления оснастки из менее прочных материалов (малоуглеродистая сталь, дерево, бетон и т.д.);

– для возможности наведения вихревых токов в деформируемой заготовке необходимо, чтобы заготовка имела замкнутый контур.

По характеру деформирования заготовок МИОМД можно разделить на три основные технологические схемы:

– обжим трубчатых заготовок (спираль индуктора охватывает заготовку);

– раздача трубчатых заготовок (индуктор находится внутри заготовки);

– плоская листовая штамповка (индуктор находится под заготовкой, а с противоположной стороны помещается технологическая оснастка – матрица).

Применение МИОМД необычайно широко: используя различные схемы осуществления этого метода, можно выполнять до 80% общего количества операций листовой штамповки, получать изделия из труб, прессовать порошки, производить клепку и т.п.

Преимущества метода МИОМД:

– улучшение технических характеристик обрабатываемого материала (точность, чистота поверхности, прочность и др.);

– большая технологическая гибкость процесса. Одним и тем же индуктором можно формовать детали различных конфигураций, плавно управляя и меняя величину электромагнитного импульса;

– отсутствие передаточной среды при формообразовании. Это позволяет формовать металлические заготовки через изоляционные покрытия, перегородки, стенку вакуумной камеры;

– магнитно-импульсная обработка металлов в современных магнитно-импульсных установках имеет низкий уровень шума;

– управление и контроль над работой производится одним рабочим;

– процесс легко поддается автоматизации и механизации, что при необходимости позволяет обеспечить высокую производительность и технико-экономические показатели технологического процесса;

- простота технологической оснастки;
- простота обслуживания оборудования;
- отсутствие агрессивной среды.

К недостаткам магнитно-импульсной обработки следует отнести: невысокий КПД процесса; сложность обработки деталей с отверстиями или пазами, мешающими прохождению тока; недостаточную долговечность индукторов при работе в электрических полях высокой напряженности; сложность обработки деталей большой толщины.

Эффективность деформирования при МИОМД зависит от многих факторов, но в первую очередь следует выделить электропроводность обрабатываемой заготовки и ее геометрические размеры.

Наиболее эффективно и просто магнитно-импульсное деформирование может быть использовано для материалов с высокой электропроводностью (медные, алюминиевые, магниевые и т.п.). Обработку материалов, электропроводность которых примерно в пять раз ниже электропроводности меди, рекомендуется производить с применением проводящей прокладки («спутника»), либо с использованием метода низкотемпературного охлаждения.

Верхний предел толщины стенки заготовки, обрабатываемый методом МИОМД, зависит от энергоемкости оборудования, материала заготовки и стойкости индуктора. Опыт внедрения метода показал, что верхняя граница толщины стенки заготовки составляет: для меди и ее сплавов – 4 мм, для алюминиевых сплавов – до 3 мм, для пластичных сталей – до 2 мм, для труднодеформируемых сталей и сплавов – до 1 мм.

Нижний предел толщины стенки заготовки определяется исходя из электропроводности материала заготовки и матрицы и частоты разрядного контура магнитно-импульсной установки.

Размеры заготовки (диаметр, обрабатываемая площадь) определяются толщиной ее стенки, энергоемкостью оборудования, конструктивными возможностями выполнения индуктора и технологической оснастки. Максимальный диаметр раздаваемых трубчатых заготовок, как правило, не превышает 500 мм, однако иногда может достигать 1000 мм. Минимальный диаметр при раздаче трубы должен быть не менее 20–30 мм, при мень-

шем диаметре невозможно обеспечить соответствующую прочность индуктора.

Минимальный диаметр обжимаемой заготовки из цветных сплавов может быть равен 5 мм, а из сталей – 10 мм.

Обрабатываемая площадь листовых заготовок может достигать 1 м<sup>2</sup>.

Инструментом для деформирования деталей давлением импульсного магнитного поля является индуктор, основным элементом которого является токопроводящая спираль, форма которой определяет конфигурацию магнитного поля. Спираль изготавливается навивкой или вытачивается из цельной заготовки из материалов с высокой электропроводностью для снижения потерь на джоулев нагрев. В значительной мере надежность и долговечность индуктора зависят от качества применяемой изоляции, которая должна обладать высокой электрической и механической прочностью.

Для увеличения КПД индуктора его форма должна быть близка к форме обрабатываемой заготовки. С этой целью используются специальные экраны, вставки, конденсаторы магнитного поля, которые увеличивают местную напряженность магнитного поля во много раз по сравнению с напряженностью на других участках спирали.

Технологические операции, производимые при магнитно-импульсной обработке, можно разбить на три группы: обжим, раздача, плоская штамповка.

1. **Обжим.** При этой операции обрабатываемая деталь помещается внутрь индуктора, причем индуктор в поперечном сечении может быть круглым, прямоугольным, овальным и т.д.

На рис. 7.2 приведены примеры деталей, полученные путем обжатия:

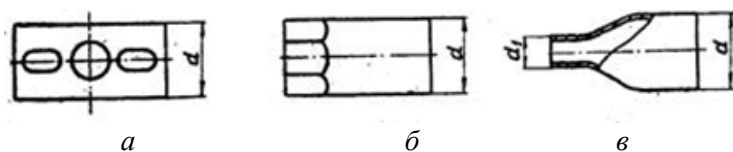


Рис. 7.2. Обжим труб:

*a* – вырубка отверстий в цилиндрической заготовке; *б* – обжим на шестигранник; *в* – обжим труб

Данный метод позволяет выполнять сборочные операции.

На рис. 7.3 приведены примеры сборочных операций:

– напрессовка кабельных наконечников (рис. 7.3, *а*). При этом методе электрическое сопротивление в переходе наконечник–кабель уменьшается, а механические характеристики становятся соизмеримыми с механическими характеристиками кабеля;

– напрессовка колечка на фарфоровом предохранителе (рис. 7.3, *б*). При этом получается плотное соединение;

– герметическое соединение двух трубок (рис. 7.3, *в*). Это соединение получается водо- и газонепроницаемым.

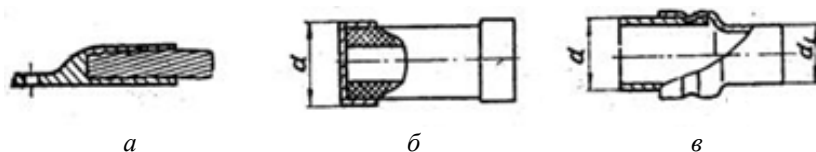


Рис. 7.3. Сборочные операции:

*а* – напрессовка кабельных наконечников; *б* – напрессовка колечка на фарфоровом предохранителе; *в* – герметическое соединение двух трубок.

**2. Раздача.** При этой операции индуктор вводится внутрь обрабатываемой детали, а сама деталь помещается в зажимные технологические приспособления.

Технологические приспособления-матрицы могут быть изготовлены из углеродистой стали или пластмассы.

При сборочных операциях заготовка, подлежащая раздаче, помещается внутрь детали, с которой она должна быть соединена.

Кольца с определенным шагом устанавливаются вдоль трубы и путем раздачи трубы прочно соединяются, образуя неразъемное соединение.

На рис. 7.4 приведены примеры деталей, полученных путем раздачи:

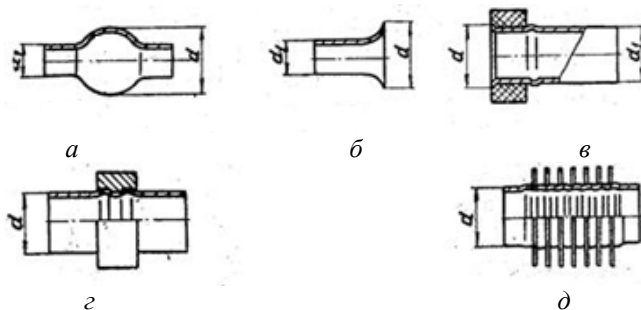


Рис. 7.4. Примеры деталей, полученных с помощью магнитно-импульсной обработки:

*a* – раздача труб с образованием полусферы; *б* – раздача труб с образованием конуса. При этом методе можно производить сборочные операции; *в* – развальцовка труб в изоляционном материале; *г* – развальцовка труб в металлических деталях; *д* – раздача труб в радиаторных кольцах

**3. Плоская штамповка.** При этой операции обрабатываемая листовая заготовка помещается между плоским спиральным индуктором и матрицей. Листовая заготовка должна плотно прилегать к индуктору и матрице, поэтому необходимо применять прижимное приспособление. Импульсный характер воздействия позволяет пользоваться негромоздкими и простыми конструкциями прижимных приспособлений.

Матрица может быть изготовлена из металла или пластмасс. Плоская штамповка позволяет производить технологические операции, приведенные на рис. 7.5.

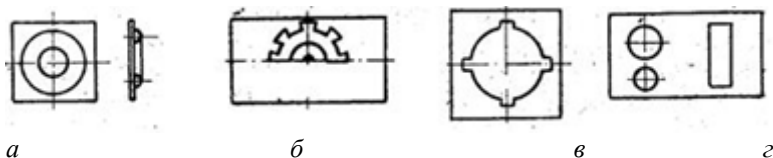


Рис. 7.5. Плоская магнитно-импульсная штамповка:

*a* – образование кольцевых и продольных зигов; *б* – чеканка рисунков, надписей и т. д.; *в* – вырубка деталей по контуру. Эта операция производится на матрицах, имеющих форму готовой детали; *г* – пробивка отверстий. Операция выполняется в матрицах, имеющих соответствующие отверстия

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия установки магнито-импульсной обработки металлов.
2. Установить индуктор токопроводами в зажимы-токовыводы установки и стянуть их.
3. Установить на индуктор трубчатый образец, прокладку и матрицу. При этом подобрать такую прокладку, чтобы длина раздаваемой части была 1–12 мм.
4. Произвести разряд установки.
5. Извлечь заготовку, осмотреть, произвести замер диаметра заготовки после раздачи.
6. Определить предельный коэффициент раздачи  $K_p$ .
7. Заполнить табл. 7.1.

Таблица 7.1

Результаты проведения эксперимента

Длина деформируемой части $L$ , мм	Наличие разрыва кромки (да, нет)	Конечный диаметр, $D_p$ , мм	Предельный коэффициент раздачи $K_p$

## Содержание отчета

1. Тема. Цель работы.
2. Краткое описание сущности, основных особенностей и технологических возможностей МИОМД.
3. Схемы рис. 7.1 и 7.2.
4. Заполненная табл. 7.1.
5. Эскиз деформированного образца с проставленными размерами.
6. Выводы.

## Контрольные вопросы

1. В чем сущность магнито-импульсной обработки металлов?
2. Каковы преимущества и недостатки МИОМД?
3. Где применяется метод МИОМД и на каких операциях возможно получение максимального эффекта?

## Лабораторная работа № 8 РУЧНАЯ ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА

Цель работы – изучение сущности способа ручной дуговой сварки плавящимся электродом, разработка технологического процесса ручной дуговой сварки (РДС).

Сварка – процесс получения неразъемного соединения деталей за счёт межатомных сил сцепления, что возможно при сближении атомов на расстояние, близкое к параметру кристаллической решетки.

Сварные соединения можно получать двумя принципиально разными способами – сваркой плавлением и сваркой давлением.

При сварке плавлением атомно-молекулярные связи между деталями создают, оплавляя их примыкающие кромки так, чтобы получилась смачивающая их общая жидкая ванночка. Жидкий металл затвердевает при охлаждении и соединяет части заготовки в единое целое. В образовании жидкой ванночки участвует металл от расплавления сварочного электрода или другого присадочного материала. При затвердевании жидкого металла получается сварной шов, который заполняет зазор между свариваемыми частями заготовки и образует неразъемное соединение.

При сварке давлением атомно-молекулярные связи между свариваемыми поверхностями заготовок создаются путем пластической деформации сжатием. Пластической деформации обычно предшествует нагрев для уменьшения усилия для деформации. Но в некоторых случаях сварка давлением осуществляется и без подогрева (сварка меди, алюминия).

РДС относится к способу сварки плавлением, т.е. способу соединения деталей посредством образования сварного шва из расплавляемых электродного и основного (свариваемые детали) металлов. Расплавление электрода и кромок детали в процессе сварки происходит за счет теплоты, выделяемой электрической сварочной дугой. Количество теплоты, выделяемой сварочной дугой, определяется по формуле

$$Q = U_d \cdot I_{св},$$

где  $Q$  – количество теплоты, Вт;  $U_d$  – напряжение дуги, В;  $I_{св}$  – сварочный ток, протекающий через дугу, А.

В процессе работы сварщик вручную перемещает электрод по стыку свариваемых деталей и по направлению к деталям по мере плавления электрода. В результате образуется сварной шов (рис. 8.1).

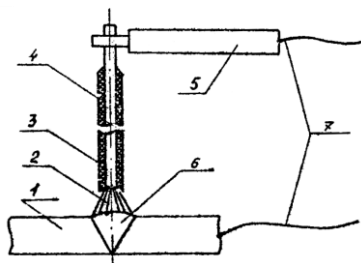


Рис. 8.1. Схема РДС плавящимся электродом:

1 – свариваемые детали; 2 – сварочная дуга; 3 – металлический стержень; 4 – обложка; 5 – держатель электрода; 6 – сварочный шов; 7 – подводящие провода

Для питания сварочной дуги применяют специальные источники переменного (сварочные трансформаторы) и постоянного (сварочные генераторы и выпрямители) тока.

РДС производится на сварочном посту, состоящем из источника сварочного тока, сварочных проводов, электрододержателя и стола, на котором располагаются свариваемые детали. Схема сварочного поста представлена на рис. 8.2.

Источники сварочного тока снабжены специальными регуляторами для изменения сварочного тока в процессе сварки.

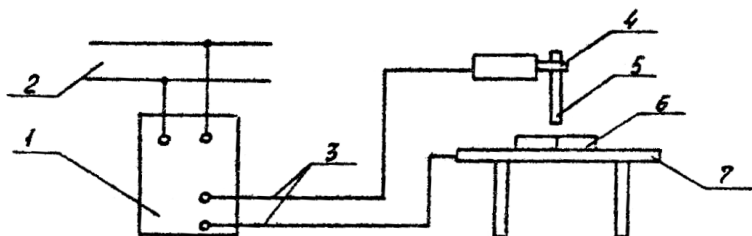


Рис. 8.2. Схема сварочного поста для РДС:

1 – источник сварочного тока; 2 – сеть переменного тока; 3 – сварочные провода; 4 – электрододержатель; 5 – электрод; 6 – свариваемые детали; 7 – стол

**Сварочные электроды.** Для образования сварного шва, т.е. для заполнения расплавленным металлом зазора между свариваемыми деталями применяют сварочные электроды, состоящие из металлического стержня и нанесенного на него покрытия. Стержни изготовляют из углеродистых и легированных сталей диаметром от 1 до 8 мм. На стержень нанесено покрытие, расплавляющееся в процессе сварки, которое обеспечивает:

- устойчивое горение дуги за счет введения в состав покрытия ионизирующих компонентов;

- защиту расплавленного металла шва от кислорода и азота воздуха за счет введения в состав покрытия компонентов, образующих вокруг сварочной ванны газовое облако, а на поверхности жидкого металла – шлак;

- раскисление металла сварочной ванны – удаление кислорода за счет введения в состав покрытия раскислителей;

- легирование металла шва за счет введения в состав покрытия легирующих элементов.

При сварке применяют различные марки электродов. Каждая марка обеспечивает получение сварного шва с определенными механическими свойствами и применяется для сварки определенного материала.

**Типы сварных соединений.** При РДС детали соединяют встык, втавр, углом или внахлестку (рис. 8.3).

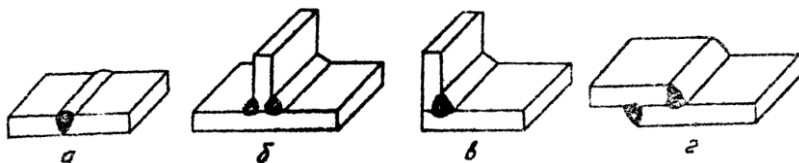


Рис. 8.3. Типы сварных соединений:

а – стыковое; б – тавровое; в – угловое; г – нахлесточное

Стыковые соединения сваривают стыковыми швами, которые выполняют без предварительной разделки кромок деталей, с V-образной и X-образной разделкой (рис. 8.4, а, б, в). Тавровые, угловые и нахлесточные соединения сваривают угловыми швами (рис. 8.4, г, д, е). Если выполнена разделка кромок, то сварные швы выполняют, как правило, многослойными.

Сварные швы могут располагаться на горизонтальной поверхности (нижнее положение шва), на вертикальной (вертикальное положение) и в потолочном положении.

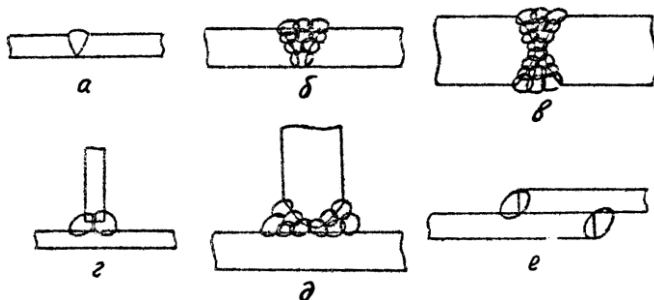


Рис. 8.4. Виды сварных швов:

*a* – стыковой без разделки; *б* – стыковой с V-образной; *в* – стыковой с X-образной; *г* – угловой без разделки; *д* – угловой с разделкой; *е* – угловой в нахлесточном соединении

**Техника РДС.** Дугу при сварке зажигают двумя способами: а) электродом касаются изделия и отводят его вертикально вверх на 2-4 мм; б) электродом «чиркают» по изделию, как при зажигании спички.

При медленном отрыве электрода от детали его конец и участок детали под электродом сильно разогреваются и электрод приваривается к детали. Такое явление называют «примерзанием». В таком случае электрод отрывают, покачивая из стороны в сторону. В условиях сварки сварщик зажигает дугу только при смене электрода. Чем опытнее сварщик, тем устойчивее горит дуга и тем реже происходит ее обрыв. Иногда после обрыва дуги на конце электрода затвердевает капля обмазки, которую надо сбить легким ударом.

При горении дуги необходимо поддерживать ее длину постоянной. Дуги бывают длинные и короткие. Длина дуги – расстояние между концом электрода и поверхностью детали.

Правильно выполненный сварной шов при короткой дуге и нормальном режиме сварки имеет форму правильного чешуйчатого валика.

При длинной дуге получается валик неправильной формы. Для правильного формирования валика необходимо, чтобы электрод был наклонен в сторону движения на  $15-20^\circ$  (рис. 8.5).

Во время сварки электроду сообщают несколько движений. Движение А – поступательное по оси электрода вниз. Скорость подачи электрода к дуге зависит от скорости, с которой происходит плавление электрода. Если электрод подавать медленнее, чем он плавится, то длина дуги будет возрастать до тех пор, пока не оборвется. При слишком быстрой подаче электрода произойдет короткое замыкание и дуга погаснет. Длина дуги зависит от скорости движения электрода.

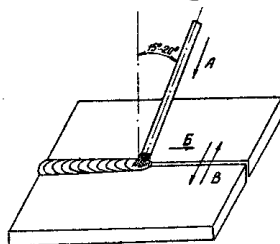


Рис. 8.5. Схема движений электрода во время сварки

Движение Б – вдоль валика наплавленного металла. Это движение начинают одновременно с возбуждением дуги, так как без этого движение валик не образуется. При слишком большой скорости перемещения электрода вдоль шва дуга не успевает достаточно полно проплавить основной металл и получается несплавление валика с деталью. При этом образуется валик малого сечения. Ширина валика при линейном перемещении электрода вдоль стыка обычно на 1–2 мм больше диаметра электрода. Такой валик называется ниточным.

Движение В – колебательное движение поперек шва для получения широкого валика. Колебательные движения электрода при наплавке уширенного валика могут быть различными. Чаще всего пользуются зигзагообразными движениями. При этом скорость перемещения электрода снижают в крайних точках траектории движения для лучшего провара краев шва. Чем шире размах колебаний, тем больше ширина шва, но тем меньше глубина провара.

Обычно ширина валика составляет 2,5 диаметра электрода. Для получения одинаковой ширины валика по всей его длине необходимо, чтобы поперечные колебания электрода были все время одинаковыми. Это достигается тренировкой и внимательным отношением к практическим занятиям.

**Дефекты сварного шва.** К дефектам наплавленного металла относят:

- 1) неравномерность ширины и высоты валика по его длине.  
Причина – неравномерная скорость перемещения электрода;
- 2) отсутствие сплавления валика с основным металлом.  
Причина – большая скорость сварки и сила тока;
- 3) незаполнение кратера: конец валика имеет углубление.  
Причина – неправильное окончание сварки.

**Техника безопасности при РДС.** При сварке необходимо пользоваться следующими способами защиты:

1. От излучения сварочной дуги. Электрическая дуга излучает видимые глазом световые и невидимые – инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Эти лучи в разной степени влияют на организм человека.

Ослепительно яркий свет дуги во много раз сильнее света, безопасно переносимого глазом. Длительное облучение светом дуги вызывает ослабление зрения. Инфракрасные лучи при длительном воздействии на глаза способствуют общей потере зрения. Ультрафиолетовые лучи поражают наружные части глаз, вызывая даже при кратковременном воздействии воспалительное заболевание. Они могут вызвать ожог на незащищенных участках кожи.

При выполнении сварочных работ кожа тела и глаза должны быть защищены от действия излучения сварочной дуги. Кожу тела защищают спецодеждой, глаза – специальными стеклами – светофильтрами, вставленными в щиток или в шлем, лицо – щитком или шлемом, кисти рук – рукавицами.

2. От ожога расплавленным или нагретым металлом. В процессе сварки во все стороны летят брызги расплавленного металла. Чтобы избежать попадания брызг на незащищенную поверхность тела, необходимо перед работой надеть спецодежду (брезентовую куртку и брюки, брезентовые рукавицы и головной убор). Опасно попадание брызг в карман, рукава, складки одежды, ботинки или сапоги. Горячие капли металла могут прожечь одежду и вызвать ожог, поэтому куртку необходимо носить навывпуск. Брюки должны закрывать ботинки, обувь должна быть плотно зашнурована.

3. От поражения электрическим током. Во избежание поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие

правила: не прикасаться голыми руками к токоведущим частям сварочных установок; надежно заземлять корпуса источников сварочного тока, рабочие столы, свариваемые изделия; провода должны иметь исправную изоляцию и регулярно проверяться. Категорически запрещается производить смену электродов без рукавиц. Сварщикам категорически запрещается производить исправление в силовых электрических цепях. При обнаружении повреждения электрической цепи необходимо прекратить работу и немедленно доложить учебному мастеру. По окончании работы и во время перерывов общий рубильник должен быть выключен.

**Разработка технологии РДС.** При разработке технологии РДС определяют марку электрода, его диаметр, сварочный ток, форму разделки кромок деталей, напряжение дуги, вид тока и скорость сварки.

Тип и марку электрода выбирают по справочнику в зависимости от марки материала свариваемых деталей. При этом стараются, чтобы механические свойства наплавленного металла и свариваемых деталей были одинаковыми. В промышленности применяют большое количество различных марок электродов (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Условия выбора типа и марки электрода для сварки

Тип электрода*	Марка электрода	Род тока, полярность	Назначение электродов
Э42	ОММ-5; ЦМ7; АНО-5, АНО-6; АНО-1	Переменный	Низкоуглеродистые и низколегированные стали
Э46	АНО-3, АНО-4	Переменный	
Э50А	УОНИ-13/55	Постоянный прямая	Легированные стали
Э85	УОНИ-13/85	Постоянный, прямая	

\*Тип электрода определяется механическими свойствами и химическим составом металла шва. Цифры в обозначении типа электрода – предел прочности  $\sigma_b$ ; буква А означает, что металл шва имеет пониженное содержание вредных примесей (*S* и *P*).

Диаметр электрода  $d_3$  выбирают в зависимости от толщины свариваемых деталей (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Условия выбора диаметра электрода

Толщина свариваемых деталей, мм	1-2	3-5	4-8	8-10	>10
Диаметр электрода, мм	1-2	3-4	4-6	6-7	7-8

Сварочный ток зависит от диаметра электрода. Его рассчитывают по формуле

$$I_{\text{св}} = Kd_3,$$

где  $I_{\text{св}}$  – сварочный ток, А,  $d_3$  – диаметр электрода, мм.

Коэффициент  $K$  считают равным 50 при сварке в нижнем положении и равным 30 при сварке в вертикальном положении.

Выбор формы разделки кромок зависит от толщины свариваемых деталей. При толщине деталей до 6 мм сварку производят без разделки кромок; при толщине до 15 мм форма разделки V-образная, свыше 15 мм – X-образная.

Напряжение дуги выбирают в зависимости от марки электрода. Оно находится в пределах от 20 до 30 В и колеблется от длины сварочной дуги.

Вид тока зависит от марки электрода.

Скорость сварки (скорость перемещения электрода) выбирают в зависимости от диаметра электрода, расположения сварного шва в пространстве и толщины свариваемых деталей. Максимальная скорость сварки составляет 30 м/ч.

### Оборудование, инструменты и материалы

РДС, как правило, выполняется в отдельной кабине, снабженной приточно-вытяжной вентиляцией. Рабочее место (сварочный пост) для РДС должен иметь: сварочный аппарат (источник питания дуги) постоянного или переменного тока; стол сварщика (металлический с массивной чугунной или стальной плитой); сборочно-сварочные приспособления; электрододержа-

тель; защитный щиток или маску со светофильтром. В целях электробезопасности сварочный аппарат следует располагать вне кабины.

В качестве вспомогательного инструмента на рабочем месте нужно иметь молоток для отбивки шлака, стальные щетки для зачистки кромок изделий и сварных швов от брызг металла и вырубки наплывов после сварки.

Для разметки деталей и проверки правильности сборки необходимо иметь стальные пластины для наплавки валиков и электроды типа Э42.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с сущностью РДС плавящимся электродом, оборудованием и его расположением на сварочном посту, технической защиты при РДС.

2. Под руководством учебного мастера научиться зажигать дугу, поддерживать ее горение, получить валик шва на стальной пластине.

3. Оценить качество шва.

4. Разработать технологический процесс РДС деталей согласно методике (положение шва, материал, толщина указываются преподавателем).

5. Расчеты приводятся в отчете, результаты расчета заносятся в табл. 8.3.

6. Сделать вывод по работе.

Таблица 8.3

Технологический процесс

Эскиз деталей, материал и размеры	Марка электрода	$d_{э}$ , мм	$I_{св}$ , А	Форма разделки кромок	$U_{д}$ , В	Тип источника тока	$V_{св}$ , м/ч

## Содержание отчета

1. Тема, цель работы.
2. Краткий конспект общих сведений.
3. Схема РДС плавящимся электродом, схема сварного поста, его характеристика, описание оборудования и приспособлений, на которых выполнялась работа.
4. Расчет технологического процесса сварки; технологический расчет в виде таблицы.
5. Описание качества наплавленного валика, его дефекты по внешнему осмотру.

## Контрольные вопросы

1. Что такое сварка?
2. Что такое РДС?
3. Что такое электрод и каково его назначение?
4. Каково назначение обмазки электрода?
5. Какие источники постоянного и переменного сварочного тока Вам известны?
6. Что такое сварочный пост?
7. Назовите типы сварных соединений.
8. Что такое стыковое соединение?
9. Что такое разделка кромок? Для чего ее выполняют?
10. Назовите способы разжигания дуги.
11. Что такое «примерзание» электрода?
12. Как обрывать электрод, если он «примерз»?
13. Каким образом необходимо поддерживать длину дуги во время сварки?
14. Какие дефекты может иметь сварной шов?
15. Какие поражающие факторы имеют место при сварке?
16. Как выбрать марку электрода?

## Лабораторная работа № 9 КОНТАКТНАЯ ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА

Цель работы – ознакомление с сущностью процесса, технологией и оборудованием, применяемым при электрической контактной точечной сварке.

Точечной контактной сваркой называют технологический процесс получения неразъемных сварных соединений в отдельных точках с помощью местного нагрева и приложения давления (рис. 9.1).

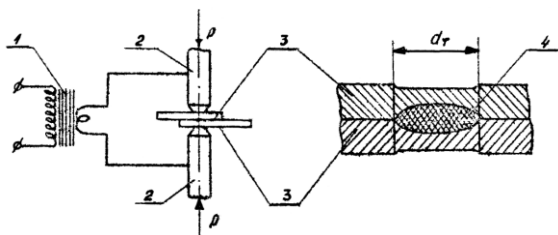


Рис. 9.1. Схема электрической контактной точечной сварки:  
1 – сварочный трансформатор; 2 – электроды; 3 – свариваемые заготовки; 4 – сварная точка;  $P$  – давление, приложенное к электродам;  $d_t$  – диаметр сварной точки

Заготовки, собранные внахлестку, устанавливают между электродами машины и сдавливают друг с другом. При этом создается надежный контакт между свариваемыми заготовками в зоне сжатия и между заготовками и электродами для нужного токоподвода. При прохождении тока заготовки нагреваются, особенно интенсивно нагреваются участки металла, прилегающие к контакту между заготовками, так как эти участки менее подвержены охлаждающему действию электродов. Теплота, выделяющаяся в контакте, определяется по формуле Джоуля–Ленца:

$$Q = I_{св}^2 R_{об} t,$$
$$R_{об} = R_k + 2R_M,$$

где  $Q$  – теплота, Дж;  $I_{св}$  – сварочный ток, А;  $R_{об}$  – общее сопротивление зоны контакта, Ом;  $R_k$ ,  $R_M$  – сопротивление контакта и металла, Ом;  $t$  – время прохождения тока, с.

В момент образования в зоне сварки расплавленного ядра заданных размеров ток выключают, а заготовки некоторое время продолжают сдавливать электродами (проковка). Это необходимо для кристаллизации жидкого металла и образования плотного контакта между свариваемыми изделиями.

Этот вид сварки широко применяется на заводах автомобильной и авиационной промышленности, в радиоэлектронике и приборостроении для сварки листовых заготовок одинаковой и разной толщины, пересекающихся стержней, листовых заготовок со стержнями или профильными заготовками: уголками, швеллерами и др.

Точечная сварка позволяет соединять заготовки из сталей различных марок – углеродистых и легированных, цветных металлов, а также из разнородных материалов.

Технологический процесс точечной сварки включает следующие операции. Перед сваркой производят правку, очистку поверхности и сборку деталей. Правку применяют при необходимости устранить местные неровности, чтобы в местах сварки не было зазоров. Поверхность деталей в местах сварки с двух сторон зачищают от ржавчины, окалины, масла и других загрязнений до чистого металла.

Зачистку осуществляют механическим (абразивными кругами, вращающейся щеткой и др.) или химическим способом (в сернокислых ваннах с последующей нейтрализацией в щелочной ванне, промывкой проточной водой и просушкой горячим воздухом). Для удаления масла и грязи ограничиваются протиркой бензином или ацетоном. Детали из алюминиевых сплавов обрабатывают в ваннах с раствором ортофосфорной кислоты и хромпика с последующей промывкой в холодной воде, протиркой салфетками или волосяными щетками с дополнительной промывкой в теплой воде и окончательной просушкой горячим воздухом.

Техническая характеристика точечной сварочной машины МТ-1215 (рис. 9.2).

Сварочный ток, А	- 12500
Мощность, кВА	- 50
Первичный ток, А	- 149
Толщина свариваемых деталей, мм	от 0,5 до 4

Максимальный темп работы, точек/мин	- 210
Число ступеней регулировки	- 8
Пределы регулировки вторичного напряжения, В	- 2,2-4,4
Максимальное усилие сжатия электродов, Н	- 6300
Ход верхнего электрода, мм	- 30
Расход охлаждающей воды, л/ч	- 210
Габаритные размеры, мм	- 1574×430×1230
Масса, кг	- 445

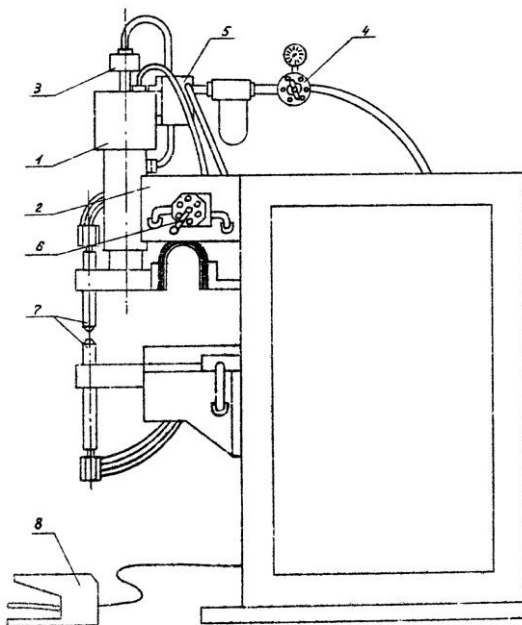


Рис. 9.2. Схема точечной машины МТ-1215:

1 – пневматический цилиндр; 2 – кронштейн; 3 – гайка для регулирования хода верхнего поршня; 4 – регулятор давления сжатого воздуха; 5 – электропневматический клапан; 6 – ручной клапан; 7 – электроды; 8 – управляющая педаль

Правила техники безопасности при работе на точечной сварочной машине:

1. Запрещается работать на машине, не ознакомившись с устройством и назначением узлов.

2. Запрещается переключать ступени трансформатора, если машина находится под напряжением.

3. Запрещается работать на машине при открытых дверцах.

4. Корпус машины и корпус сварочного трансформатора должны быть заземлены.

5. Для защиты от ожогов искрами нужно иметь прозрачные очки, брезентовые рукавицы и фартук.

Основными дефектами сварных соединений, полученных точечной сваркой, являются непровар, перегрев наружной поверхности, трещины, раковины и глубокие вмятины.

*Непровар*, или малый диаметр ядра, наблюдается при недостаточной силе тока или малом времени включения, завышенном давлении и большом диаметре контактной поверхности электродов; при увеличении шунтирования тока вследствие малого шага или случайного контактирования с токоведущими частями машины; при плохой сборке и зачистке заготовок.

*Перегрев наружной поверхности*, или выплеск расплавленного металла ядра на поверхность. Причины: недостаточное давление и малые размеры контактной поверхности электродов; завышенный ток и длительность включения; плохая зачистка поверхностей заготовок и электродов; близость электродов к кромке детали; перекося деталей относительно электродов.

*Трещины радиальные и раковины* возникают при малом времени включения тока, малом времени проковки и недостаточном давлении на электродах; при запаздывании приложения ковочного усилия; а также из-за некачественной очистки, правки и подгонки заготовок.

*Глубокие вмятины* от электродов на поверхности деталей. Причины: завышенная сила тока, длительность включения и давления; недостаточное усилие на электродах и малые размеры их контактной поверхности; перекося заготовки относительно электродов.

Контроль качества сварки производят внешним осмотром, выборочными механическими испытаниями на прочность, про-

веркой на герметичность, применением металлографического анализа.

Внешний осмотр с помощью лупы и простых измерительных приборов позволяет проверить глубину и правильность формы отпечатка точек, наличие прожогов, трещин и других наружных дефектов.

Посредством механических испытаний производят текущий контроль качества сварки. Путем разрушения простейших образцов устанавливают наличие и размер ядра, сравнительную прочность соединения и основного металла. Испытания производят на отрыв и на срез сварной точки (рис. 9.3).

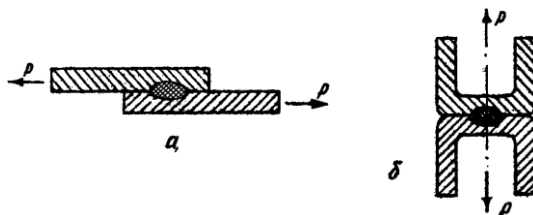


Рис. 9.3. Схема испытания сварного соединения:  
а – на срез; б – на отрыв

Сварку считают качественной, если при испытании образца на отрыв разрушение происходит по основному металлу с образованием сквозного отверстия. При этом диаметр вырванной точки и разрушающая нагрузка должны быть не ниже заданных в технической документации на изготовление сварной конструкции. Дополнительно производят испытания на срез сварной точки с целью определения разрушающей нагрузки.

Текущий контроль прочности изделий на производстве осуществляют выборочными механическими испытаниями всего изделия или вырезанных из него образцов. Непровар определяют путем осторожного отгибания кромки, соединения. При этом плохо сваренная точка или шов разрушаются. Технологическая проба на прочность шва заключается в отрыве сваренных деталей. Разрушение должно идти по основному металлу.

### ***Порядок работы на точечной сварочной машине***

1. Включить рубильник и водяное охлаждение машины.
2. Зачистить детали от грязи и оксидных пленок.
3. Сложить заготовки внахлестку.
4. Установить выбранный технологический режим сварки.
5. Сварить заготовки между собой на подобранном режиме.

Для этого необходимо:

- а) установить собранные заготовки на нижний электрод;
- б) сжать заготовки pedalью между электродами;
- в) включить сварочный ток и, не снимая усилия сжатия, сварить заготовки;
- г) отпустить pedalю и освободить сваренное изделие, передвинуть его и повторить операции а, б, в, сварить в следующем месте, получив ряд точек.

### ***Выбор параметров технологического режима***

Одним из основных усилий получения качественного сварочного соединения является правильный выбор параметров технологического режима сварки. К ним относят силу и плотность тока, время включения тока, усилие сжатия, форму и диаметр контактной поверхности электродов, время предварительного сжатия и время проковки.

*Сила и плотность тока.* С увеличением толщины свариваемых листов сила тока должна расти. Для сварки деталей из малоуглеродистых сталей сила тока

$$I_{\text{св}} = 6500 \cdot \delta;$$

где  $I_{\text{св}}$  – сила тока, А;  $\delta$  – толщина свариваемого листа, мм.

При сварке деталей повышенной электро- и теплопроводности плотность тока увеличивают. Время включения тока необходимо увеличивать с толщиной свариваемых заготовок. Оно определяется по эмпирическим формулам для различных материалов:

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| а) малоуглеродистой стали                                 | $t_{\text{св}} = (0,2-0,4)\delta;$   |
| б) нержавеющей стали                                      | $t_{\text{св}} = (0,1-0,15)\delta;$  |
| в) незакаливающихся алюминиевых сплавов типа АМг, АМц     | $t_{\text{св}} = (0,15-0,2)\delta;$  |
| г) закаливающихся алюминиевых сплавов типа Д16, Д16Т, Д20 | $t_{\text{св}} = (0,08-0,12)\delta.$ |

*Усилие сжатия* возрастает с увеличением толщины и твердости свариваемого материала. При расположении точек вблизи элементов жесткости усилие сжатия следует увеличивать.

*Форма и диаметр контактной поверхности электродов.* Рабочим концам электродов придают плоскую или сферическую форму; для сварки заготовок из сталей – плоскую с диаметром контактной поверхности

$$d_3 = 5,5\sqrt{\delta},$$

где  $\delta$  – толщина свариваемых заготовок, мм.

Для сварки заготовок из легких сплавов – сферическую форму с радиусом  $R = 50\delta$ .

*Время предварительного сжатия* должно быть достаточным для того, чтобы до включения тока механизм сжатия успел свести электроды и развить полное сварочное давление.

Таблица 9.1

Ориентировочные режимы  
контактной точечной сварки металлов

Толщина детали, мм	Диаметр контактной поверхности электрода, мм	Усилие, приложенное к электроду, Н	Продолжительность сварочного тока, с	Сварочный ток, кА
Малолуглеродистые стали				
0,5	4	500-1000	0,10-0,20	4-5
1,0	5	1000-2000	0,20-0,40	6-8
1,5	6	1500-3500	0,24-0,50	8-12
2,0	8	2500-5000	0,26-0,60	9-14
3,0	10	5000-8000	0,60-1,00	14-18
Нержавеющие стали				
0,2	2,5	450-900	0,02-0,06	2-3
0,5	4,0	900-1800	0,04-0,06	3-4
1,0	5,0	2000-4000	0,10-0,16	4,5-6
2,0	8,0	4500-7000	0,20-0,28	6-10
2,5	9,0	6000-8000	0,20-0,30	8-11

*Время проковки* определяется длительностью нахождения уже сваренной точки под сжимающим действием электродов.

Оно должно быть достаточным для полного затвердевания и упрочнения ядра с тем, чтобы под действием сил, возникающих при усадке остывающего металла, и сил упругости заготовок, стремящихся восстановить первоначальную форму, не произошел разрыв еще не остывшего ядра.

### **Оборудование, инструменты и материалы**

Точечная сварочная машина МТ-1215, машина для испытания на разрыв, штангенциркуль, заготовки для сварки.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с сущностью способа электрической точечной сварки, его технологическими особенностями и методикой выбора параметров режима сварки.

2. Для заданных образцов с учетом их толщины и марки металла рассчитать технологические режимы сварки.

3. Сварить образцы на выбранном режиме.

4. Изменив по указанию преподавателя один из параметров режима сварки, провести сварку следующей пары образцов.

5. Произвести контроль качества полученного сварного соединения на срез сварной точки путем испытания образцов на разрывной машине.

6. Построить график зависимости разрушающего усилия при испытании на срез от изменения параметра технологического режима сварки.

7. Заполнить табл. 9.2.

8. Оформить отчет о работе по прилагаемой форме.

Таблица 9.2

Выбранные режимы сварки и результаты испытаний

Толщина детали, мм	Диаметр контактной поверхности электрода, мм	Усилие на электродах, Н	Продолжительность включения сварочного тока, с	Сварочный ток, А	Разрушающее усилие точки, Н
1					
2					

## Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Оборудование, материалы, инструмент. Схема машины для точечной сварки.
4. Порядок и методика выполнения работы. Описание процесса получения сварной точки.
5. Таблица выбранных режимов сварки и результаты испытаний (табл. 9.2).
6. График зависимости усилия при испытании на срез от изменяемого параметра режима сварки.
7. Анализ полученных результатов.
8. Выводы.

## Контрольные вопросы

1. Что такое контактная точечная сварка?
2. Почему электроды выполняют из медного сплава?
3. Для чего необходимо водяное охлаждение электродов?
4. От каких параметров сварки зависит количество тепла, выделяемое при прохождении тока?
5. Как производят правку и очистку деталей перед сваркой?
6. Для чего производят зачистку изделий перед сваркой?
7. Какие толщины деталей можно сваривать контактной точечной сваркой?
8. Что такое непровар и чем он вызывается?
9. Назовите причины возникновения трещин в сварном соединении.
10. Назовите методы контроля сварного соединения.
11. Какие параметры сварки вы знаете?
12. От чего зависят сила и плотность тока?

## Лабораторная работа № 10 ПАЙКА МЯГКИМИ ПРИПОЯМИ

Цель работы – ознакомление с технологическим процессом пайки мягкими припоями и приобретение навыков самостоятельной работы по пайке деталей.

Пайкой называется образование соединения с межатомными связями в результате нагрева соединяемых материалов ниже температуры их плавления, смачивания их припоем, затекания припоя в зазор и последующей его кристаллизации (рис. 10.1).

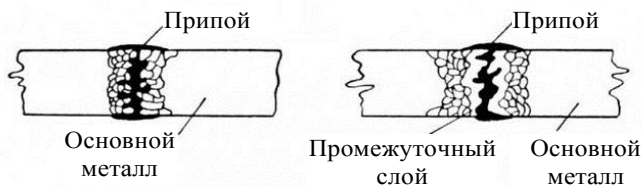


Рис. 10.1. Схема паяного соединения

Свойство материалов образовывать паяное соединение при заданном режиме пайки называется паяемостью.

Растекание расплавленного припоя по паяемой поверхности и его взаимодействие с основным металлом условно протекает в три стадии.

1. Фронтальное перемещение припоя по поверхности металла характеризуется слабым взаимодействием припоя и основного материала; при повышении температуры или по мере увеличения выдержки эта стадия переходит в следующую.

2. Локальное перемещение припоя и растворение паяного металла в жидком припое характеризуется образованием легкоплавких структур (эвтектик, твердых растворов с минимумом на кривой ликвидуса).

3. Фронтальное растворение металла в припое характеризуется интенсивным общим взаимодействием припоя с паяным металлом.

Формирование конкретных структур в той или иной стадии определяется продолжительностью и температурой пайки, а также природой взаимодействующих металлов.

Наиболее прочные и пластичные паяные швы обеспечиваются при образовании твердых растворов, которые возникают при пайке металлов, обладающих общим типом кристаллических решеток и имеющих близкие значения межатомных расстояний.

Менее прочным является шов с эвтектической структурой. Такая структура образуется, если пайка осуществляется припоями эвтектического состава или когда основной металл и металлы, входящие в состав припоя, недостаточно сходны по типу кристаллических решеток.

Преимущества пайки:

- 1) возможность соединения за один прием множества заготовок;
- 2) возможность соединения разнородных металлов и металлов с неметаллами;
- 3) незначительное коробление и деформация изделий;
- 4) возможность разъединения (распаивания) деталей;
- 5) процесс пайки легко механизуется и автоматизируется.

**Виды пайки:**

1) капиллярная пайка – припой заполняет зазор и держится там за счет капиллярных сил;

2) диффузионная пайка – пайка с длительной выдержкой. При этом возможно в месте спая образование твердого раствора, повышающего прочность соединения, тугоплавких и хрупких интерметаллидов, повышающих жаропрочность соединения;

3) контактно-реактивная – между соединяемыми металлами или между соединяемыми металлами и прослойкой другого металла в результате контактного плавления образуется сплав, который заполняет зазор и при кристаллизации образует паяное соединение;

4) пайка-сварка – соединение с оплавлением одной кромки более легкоплавкого металла.

Наиболее распространена капиллярная пайка.

Способы пайки:

- 1) пайка в печах;
- 2) индукционная;
- 3) сопротивлением;
- 4) погружением в расплавы солей или припоев;
- 5) радиационная;
- 6) горелками;
- 7) паяльниками, в том числе:
  - а) с периодическим нагревом;
  - б) с непрерывным нагревом;
  - в) абразивные;
  - г) ультразвуковые.

Наиболее простой способ пайки – паяльниками; наиболее производительные – печной, индукционный, погружением.

**Припой** должен хорошо растворять основной металл, обладать смачивающей способностью, быть дешевым и недефицитным. Припои представляют собой сплавы цветных металлов сложного состава. Все припои по температуре плавления подразделяют на особолегкоплавкие ( $t_{пл} \leq 145$  °С), легкоплавкие (145–450 °С), среднетемпературные (450–1100 °С) и тугоплавкие (>1050 °С). К особолегкоплавким и легкоплавким припоям относятся оловянно-свинцовые на основе висмута, индия, кадмия, цинка, олова, свинца; средне- и высокоплавким припоям – медные, медно-цинковые, медно-никелевые, с благородными металлами (серебром, золотом, платиной). Припои изготавливают в виде прутков, проволок, полос, листов, спиралей, дисков, колец, зерен и др., укладываемых в место соединения.

*Припои на основе меди* применяются для пайки талей, латуны, бронзы, никеля и других металлов. Они обладают хорошими технологическими свойствами, высокой прочностью при температурах 500–600 °С, коррозионностойкие. Недостаток – высокая температура плавления. Из припоев на основе меди находят применение чистая медь (М00, М0, М1, М2), сплавы меди с цинком (ПМЦ-36, ПМЦ-48, Л63, ЛОК 62-06-04), сплавы меди с марганцем, сплавы меди с фосфором (ПМФ7).

*Серебряные припои* обладают хорошей жидкотекучестью, высокой прочностью и пластичностью, сравнительно низкой

температурой плавления (ниже 800 °С). Они применяются для пайки сплавов на основе меди и никеля. Для стали – ограниченное. Недостаток – содержит серебро, дорогой и дефицитный металл. Марки припоев – ПСр70 (4% Zn), ПСр65 (15% Zn), ПСр45 (25% Zn), ПСр25 (35% Zn), ПСр12М (36% Zn), ПСр10 (37% Zn). Цифра в марках припоя показывает содержание серебра в % масс.

*Припои для пайки алюминия и его сплавов* изготавливают на основе алюминия, цинка, олова. Припои на основе алюминия обладают высокой коррозионной стойкостью, высокой прочностью (150–160 МПа), применяется пайка горелками, погружением в соляные ванны. Паяные соединения на основе цинка подвергаются анодированию. Припои на основе олова (Sn + Zn) используют при абразивной и ультразвуковой пайке.

*Оловянно-свинцовые припои* используют для низкотемпературной пайки сталей, сплавов на основе меди, никеля и других металлов. Паяное этими припоями соединение обладает высокими технологическими свойствами и коррозионной стойкостью, достаточной прочностью. Марки припоев: ПОС90, ПОС61, ПОС40, ПОС10, ПОССу18-2, ПОССу4-6. В последних двух марках содержится до 6% масс. сурьмы, которая повышает прочность и снижает склонность к старению. Наилучшими технологическими свойствами обладают ПОС61, ПОС40. Недостаток оловянно-свинцовых припоев – дороговизна и дефицитность сплавов.

*Свинцовые припои* – сплавы свинца с серебром, кадмием или цинком. Они имеют сравнительно высокую температуру плавления, обладают хорошей хладостойкостью. Наиболее распространенные марки свинцовых припоев – ПСр3; ПСр2,5; ПСр7,5.

*Кадмиевые припои* – сплавы кадмия с цинком, оловом или серебром. Они имеют более высокую прочность и пластичность, чем оловянно-свинцовые. Однако их технологические свойства ниже. Они находят применение при пайке меди, алюминия, медных сплавов.

*Индиевые сплавы* – сплавы индия с оловом, цинком или кадмием. Это низкотемпературные припои. Хорошо смачивают

металлы, стекло, керамику, полупроводники. Припои на основе индия применяют при пайке металлов с неметаллами.

**Флюсы** – химически активные вещества, используемые для растворения окисной пленки и защиты поверхности паяемого металла от окисления в процессе пайки.

Требования к флюсам:

- 1) должны иметь достаточную жидкотекучесть;
- 2) способствовать формированию шва;
- 3) не изменять свой состав в процессе пайки;
- 4) не оказывать коррозионного воздействия на металлы.

*Марки и составы флюсов*

1. Флюсы на основе соединений бора: тетраборнокислый натрий (бура) –  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ; борная кислота –  $\text{H}_2\text{BO}_3$ ; борный ангидрид –  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Флюсы этих составов применяются при температурах пайки более  $800^\circ\text{C}$  медноцинковыми и серебряными припоями. С помощью их паяют углеродистые стали, чугуны, сплавы меди. Для нержавеющей и легированных сталей эти флюсы непригодны.

2. Флюсы на основе фторидов металлов: № 209, 284 фтористый калий + фторборат калия + борный ангидрид; №18В фтористый калий + борная кислота. Эти флюсы обеспечивают удаление прочных окислов и применяются для пайки конструкционных, нержавеющей, жаропрочных сталей, никелевых и медных сплавов серебряными припоями. Температура пайки не ниже  $600^\circ\text{C}$ . Неприменимы для пайки алюминиевых и магниевых сплавов.

3. Флюсы на основе хлористых соединений содержат в своем составе  $\text{KCl}$ ,  $\text{LiCl}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{ZnCl}_2$  и другие. Температура пайки с такими флюсами от  $400$  до  $600^\circ\text{C}$ . Применяются для пайки алюминиевых и магниевых сплавов. Водные растворы хлористого цинка используют для пайки черных и цветных металлов. В раствор хлористого цинка часто вводят 10-20% хлористого аммония, который усиливает химическую активность и растекание флюса.

4. Окисные флюсы (измельченное стекло) перспективны для высокотемпературной пайки сталей.

5. Флюсы на основе канифоля применяются при низкотемпературной пайке, в тех случаях, когда нельзя изделие промыть.

Они не вызывают коррозии, но менее активны при пайке. Канифоль применяют кусковую и растворы ее в спирте. Применяют для пайки меди, медных и никелевых сплавов, оцинкованного железа.

### **Приборы, оборудование, материалы**

Электрический паяльник, припой оловянно-свинцовистый, флюс (канифоль или раствор хлористого цинка), медные и стальные пластинки.

### **Порядок выполнения работы**

При подготовке изделия к пайке очищают поверхность при помощи шкурок, металлических щеток, шлифовальных кругов или пескоструйных аппаратов.

Зачищенное место покрывают флюсом (канифолью), который дополнительно очищает поверхность соединяемых частей от загрязнений, растворяет окисные пленки, способствует лучшему затеканию расплавленного припоя в зазоры между поверхностями.

Поверхность после обработки флюсом залуживают, т.е. покрывают слоем припоя, после чего соединяемые части фиксируют неподвижно и разогревают место соединения. Припой расплавляется в зазоре и при охлаждении затвердевает, образуя монолитное соединение.

Подготовка жала паяльника к пайке производится аналогично подготовке поверхности изделий, предназначенных для пайки.

Температуру припоя и основного металла в зоне пайки поддерживают на 50–60 °С выше температуры плавления припоя. Для сокращения времени разогрева стержень паяльника надо прикладывать не острием, а плашмя. Наибольшая прочность соединения достигается при толщине слоя припоя 0,07–0,1 мм. После окончания пайки выступающие приливы отпиливают напильником, а поверхность шва зачищают шкуркой. Шов должен быть чистым, без наплывов припоя.

## **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Перечень применяемого оборудования и материалов.  
Марки и названия используемых припоя и флюсов.
3. Описание технологического процесса пайки.
4. Схемы паяных соединений.
5. Оценка качества паяного шва по внешнему виду.
6. Выводы.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое пайка?
2. Каковы преимущества пайки перед сваркой?
3. Что такое капиллярная пайка?
4. В чем сущность диффузионной пайки?
5. Какие способы пайки существуют?
6. Что такое припой? Назовите виды припоя.

## Лабораторная работа № 11 ГЕОМЕТРИЯ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ

Цель работы – ознакомление с типами и назначением токарных резцов, определение углов заточки токарных резцов в статике.

**Резец** – инструмент, с помощью которого производится снятие стружки при точении и строгании. Резцы предназначаются для черновой, чистовой и тонкой обработки плоскостей, цилиндрических, конических и других поверхностей тел вращения. Токарные резцы классифицируются по следующим признакам (рис. 11.1).

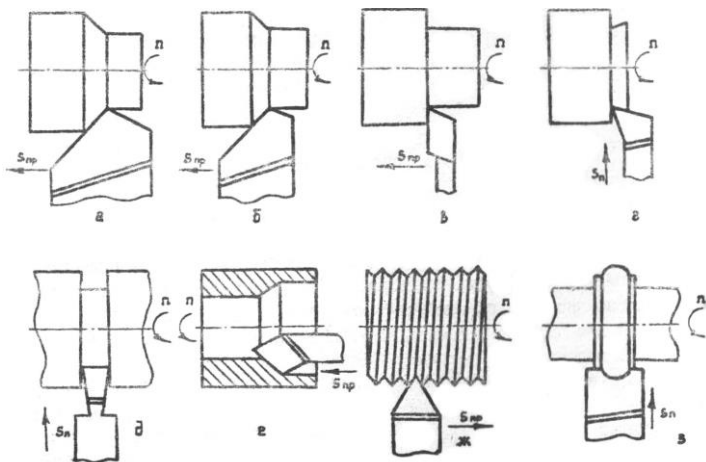


Рис. 11.1. Классификация резцов по виду выполняемой работы: *а* – для чернового точения; *б* – для чистового точения; *в*, *з* – подрезные; *д* – отрезные (прорезные); *е* – расточные; *ж* – резьбовые; *з* – фасонные

По направлению подачи резцы делятся на правые и левые. Правые производят снятие стружки при движении справа налево, вторые – слева направо. По форме головки – на прямые, отогнутые, изогнутые, оттянутые. По конструкции резцы бывают цельные и составные. У составных резцов режущая часть изго-

тавливается из более твердого материала и прикрепляется к телу резца механическим способом или пайкой.

Любой резец состоит из двух частей: державки и режущей части. Основной частью резца является его режущая часть, которая ограничивается рядом поверхностей и кромок (рис. 11.2). Передняя поверхность 1 – поверхность, по которой сходит образующаяся в процессе резания стружка. Главная задняя поверхность 2 обращена к обрабатываемой поверхности детали. Вспомогательная задняя поверхность 3 – к обработанной поверхности детали.

Главное режущее лезвие 4 – линия пересечения главной задней и передней поверхностей. Вспомогательное режущее лезвие 5 – линия пересечения вспомогательной задней и передней поверхностей. Точка пересечения главного и вспомогательного режущих лезвий – вершина резца 6. Основную работу резания выполняет главное режущее лезвие.

При обработке резанием на изделии различают следующие поверхности: а) обрабатываемая, с которой снимается слой металла (эта поверхность исчезает после окончания обработки); б) обработанная, полученная в результате снятия слоя металла (до начала обработки она отсутствует); в) поверхность резания, непосредственно образованная главным режущим лезвием. Эта поверхность часто существует только в процессе резания, но иногда остается и по окончании обработки.

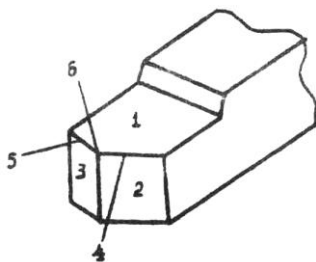


Рис. 11.2. Схема резца:

1 – передняя поверхность; 2 – главная задняя поверхность; 3 – вспомогательная задняя поверхность; 4 – главное режущее лезвие; 5 – вспомогательное режущее лезвие; 6 – вершина резца

Взаимное расположение поверхностей резца, а также расположение главного и вспомогательного режущих лезвий относительно поверхностей обрабатываемой детали определяется группой углов, которые в совокупности называются геометрией инструмента.

**Координатные плоскости и углы рабочей части инструмента.** Для определения углов, характеризующих геометрию инструмента, в системе резец – деталь различаются следующие координатные плоскости (рис. 11.3): плоскость резания  $1$  – плоскость, проходящая через главное режущее лезвие, касательно к поверхности резания; основная плоскость – плоскость, параллельная направлениям продольной  $S_{пр}$  и поперечной  $S_{поп}$  подачам резца; главная секущая плоскость  $2$  – плоскость, проходящая через главное режущее лезвие, перпендикулярно к его проекции на основную плоскость. Вспомогательная секущая плоскость – плоскость, проходящая через вспомогательное режущее лезвие, перпендикулярно к его проекции на основную плоскость.

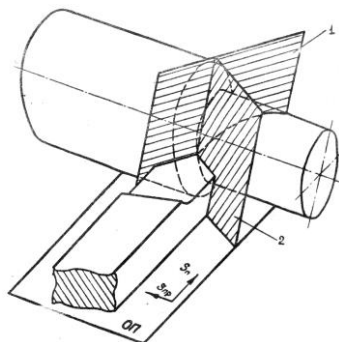


Рис. 11.3. Координатные плоскости в системе резец – деталь:  
 $1$  – плоскость резания;  $2$  – секущая плоскость; ОП – основная плоскость

Углы заточки инструментов рассматриваются двояко:

а) как углы, определяющие форму рабочей части инструмента. Эти углы называются углами резца в статике и измеряются в предположении, что режущее лезвие находится на уровне центров станка, а ось резца перпендикулярна продольной подаче;

б) как углы, определяющиеся фактическим расположением режущего лезвия относительно обрабатываемой детали. Это позволяет знать их истинную величину в процессе резания.

У резца различают главные и вспомогательные углы, а также углы в плане. Главные углы измеряются в главной секущей

плоскости N-N, вспомогательные – во вспомогательной  $N_1-N_1$ . Углы в плане рассматриваются в основной плоскости (рис. 11.4).

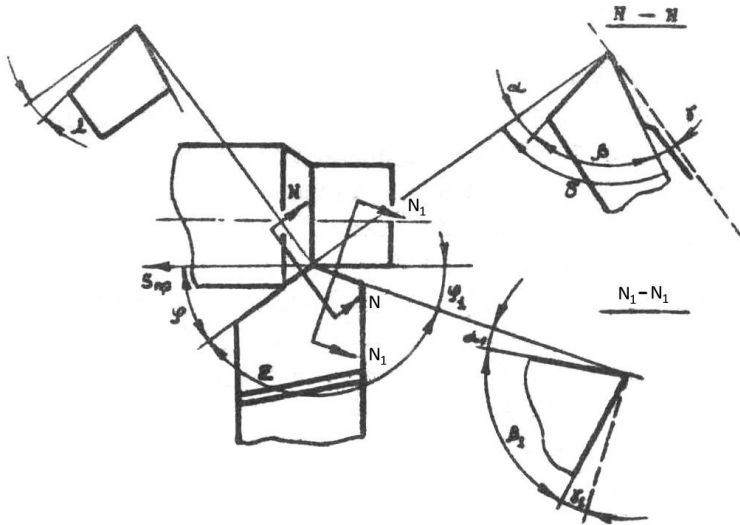


Рис. 11.4. Углы реза

*Главный задний угол  $\alpha$*  – между плоскостью резания и главной задней поверхностью. Этот угол обеспечивает уменьшение трения между обрабатываемой деталью и резцом и составляет 6–12°. Угол заострения  $\beta$  образован передней и главной задней поверхностями. Определяем толщину режущего клина. Чем больше этот угол, тем прочнее инструмент, тем лучше условия теплоотвода от режущего лезвия, но тем больше усилия резания. Угол заострения при обработке прочных материалов может достигать 90° и больше.

*Главный передний угол  $\gamma$*  – между плоскостью, перпендикулярной плоскости резания, и передней поверхностью. Величина переднего угла оказывает существенное влияние на процесс стружкообразования. Она может колебаться при обработке сталей от –10° до +25°. Чем больше передний угол, тем меньше деформация стружки и усилие резания. С увеличением угла  $\gamma$

уменьшается тепловая и механическая прочность режущего лезвия. Величина переднего угла  $\gamma$  определяется свойствами обрабатываемого материала и материала инструмента. При обработке легких сплавов его целесообразно увеличивать до  $40^\circ$ , для прерывистого и скоростного точения высокоуглеродистых сталей угол  $\gamma$  иногда принимают отрицательным до  $-5^\circ$ ,  $-10^\circ$ .

Угол резания  $\delta$  образован плоскостью резания и передней поверхностью.

При  $\delta < 90^\circ - \gamma > 0$ , если  $\delta > 90^\circ$ , то  $\gamma < 0$ .

Между углами в главной секущей плоскости существует следующее соотношение:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ. \quad (1)$$

$$\delta = \alpha + \beta = 90^\circ - \gamma. \quad (2)$$

Вспомогательные углы измеряются во вспомогательной плоскости  $N_1-N_1$ , аналогичны главным углам и обозначаются теми же буквами с индексом 1 (см. рис. 11.4).

Углы, измеряемые в основной плоскости, называются углами резца в плане.

Главный угол в плане  $\phi$  – между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. В зависимости от условий обработки угол  $\phi$  принимается от  $30^\circ$  до  $90^\circ$ . От его величины зависит форма сечения снимаемой стружки и соотношение усилия продольной подачи и радиального усилия.

Вспомогательный угол в плане  $\phi_1$  – между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Чем меньше  $\phi_1$ , тем чище обработанная поверхность. От угла  $\phi_1$  зависит сила трения между резцом и обработанной поверхностью.

Угол  $\phi_1$  для проходных резцов колеблется от  $0^\circ$  до  $45^\circ$ . Для отрезных и канавочных резцов  $\phi_1 \approx 2^\circ$ .

Угол при вершине резца  $\epsilon$  образован проекциями главного и вспомогательного режущих лезвий на основную плоскость. Чем больше угол  $\epsilon$ , тем лучше условия отвода тепла от кромок, больше механическая прочность и тепловая стойкость вершин резца.

Между углами в плане существует следующая зависимость:

$$\varphi + \varphi_1 + \varepsilon = 180^\circ. \quad (3)$$

Угол наклона главного режущего лезвия  $\lambda$  образован главным режущим лезвием и прямой, параллельной основной плоскости, лежащей в плоскости резания и проходящей через вершину резца. Угол  $\lambda$  принято считать положительным, если вершина резца является самой низкой точкой главного режущего лезвия.

При  $\lambda > 0$  стружка завивается в сторону обработанной поверхности;

при  $\lambda = 0$  стружка сходит перпендикулярно к главному режущему лезвию;

при  $\lambda < 0$  завивается в сторону обрабатываемой поверхности.

При  $\lambda > 0$  резцы лучше воспринимают ударную нагрузку и создаются более благоприятные условия для дробления стружки. Для обработки деталей из мягких материалов и при чистовой обработке используют резцы с  $\lambda < 0$ .

## **Оборудование, материалы и инструменты**

Для выполнения работы бригаде студентов из 2-3 человек выдается 4 токарных резца различных типов, угломерный инструмент.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с теоретическим материалом по теме работы.
2. Получить у учебного мастера 4 токарных резца.
3. Ознакомиться с предложенными резцами, определить тип каждого резца.
4. Нахождение на каждом резце главных, вспомогательных углов и углов в плане.
5. Измерение перечисленных углов каждого резца и внесение данных в табл. 11.1.
6. Оформление отчета.

Таблица 11.1

Тип резца	Основное назначение	Параметры							
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\varphi$	$\varphi_1$	$\varepsilon$	$\lambda$

### Содержание отчета

1. Тема. Цель работы.
2. Краткие теоретические данные по геометрии токарных резцов.
3. Классификация резцов по виду выполняемых работ.
4. Схема резца.
5. Углы резца.
6. Эскиз каждого из изучаемых резцов с указанием основных частей, поверхностей и кромок.
7. Таблица замеров.
8. Проверка соотношений углов резца.
9. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Назовите типы токарных резцов.
2. Назовите поверхности и кромки режущей части резца.
3. Приведите классификацию резцов по виду выполняемых работ.
4. Какие координатные плоскости для определения углов заточки используются в системе резец – деталь?
5. Что такое главный задний угол?
6. Как влияют углы заточки токарных резцов на стойкость резца, качество обработки и производительность?

## Лабораторная работа № 12 ОБРАБОТКА НА ТОКАРНО-ВИНТОРЕЗНЫХ СТАНКАХ

Цель работы – ознакомление с основными узлами и основными видами обработки заготовок на токарно-винторезных станках.

Точение – технологический метод обработки поверхностей тел вращения резанием токарными резцами на токарных станках. Токарно-винторезные станки применяют в условиях единичного (мелкосерийного) производства для обработки заготовок небольших партий.

Токарно-винторезный станок состоит из следующих узлов (рис. 12.1):

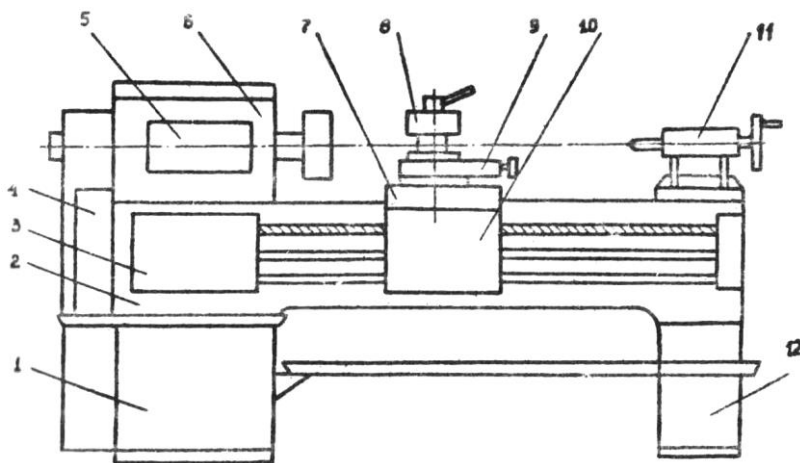


Рис. 12.1. Схема токарно-винторезного станка:

1 – передняя тумба; 2 – станина; 3 – коробка подачи; 4 – коробка сменных зубчатых колес; 5 – панель управления механизмами; 6 – передняя бабка; 7 – продольный суппорт; 8 – резцедержатель; 9 – верхний суппорт; 10 – фартук; 11 – задняя бабка; 12 – задняя тумба

Станина 2 горизонтальными призматическими направляющими служит для монтажа узлов станка и закреплена на двух

тумбах. В передней тумбе 1 смонтирован электродвигатель главного привода станка, в задней тумбе 12 – бак для хранения смазочно-охлаждающей жидкости и насосная станция для подачи жидкости в зоны обработки заготовок. В передней бабке 6, установленной с левой стороны станины, смонтированы коробка скоростей и шпиндель.

Механизмы и передачи коробки скоростей позволяют получать разные частоты вращения шпинделя станка. На шпинделе закрепляют зажимные приспособления для передачи крутящего момента обрабатываемой заготовке. На лицевой стороне передней бабки установлена панель управления 5 механизмами и передачи коробки скоростей.

Коробку подач 3 крепят к лицевой стороне станины. В коробке подач смонтированы механизмы и передачи, позволяющие получать разные скорости движения суппортов. С левой стороны станины установлена коробка 4 сменных зубчатых колес, необходимых для наладки станка на нарезание резьбы.

Продольный суппорт 7, установленный на направляющих станины, перемещается по ним и обеспечивает продольную подачу резца. По направляющим продольного суппорта перпендикулярно к оси вращения заготовки перемещается каретка, на которой смонтирован верхний суппорт 9. Поперечная каретка обеспечивает поперечную подачу резцу. Верхний поворотный суппорт можно устанавливать под любым углом к оси вращения заготовки, что необходимо при обработке конических поверхностей заготовок.

На верхнем суппорте смонтирован четырехпозиционный поворотный резцедержатель 8, в котором можно одновременно закреплять четыре резца. К продольному суппорту крепят фартук 10 станка, в котором смонтированы механизмы и передачи, преобразующие вращательное движение ходового валика или ходового винта в поступательные движения суппорта. Задняя бабка 11 установлена с правой стороны и перемещается по ее направляющим. В пиноли задней бабки устанавливают задний центр или инструмент для обработки отверстий (сверла, зенкеры и др.).

Корпус задней бабки смещается относительно ее основания в поперечном направлении, что необходимо при обтачивании наружных конических поверхностей. Для предохранения работающего от травмирования сходящей стружкой на станке устанавливают специальный защитный экран.

Элементы режима резания: скорость резания, подача и глубина резания. Совокупность этих величин определяет режим резания.

Скорость резания – путь точки режущего лезвия инструмента относительно заготовки в направлении главного движения в единицу времени. Скорость резания измеряют в метрах в минуту при всех видах обработки резанием, кроме шлифования, полирования и некоторых других.

Если главное движение является вращательным (точение), то скорость резания (в м/мин):

$$V = \pi \cdot D_{\text{заг}} \cdot n / 1000,$$

где  $D_{\text{заг}}$  – наибольший диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм;  $n$  – частота вращения заготовки, об/мин.

Глубина резания  $t$  – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к последней, за один рабочий ход инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Глубину резания измеряют в миллиметрах. При точении цилиндрической поверхности глубину резания  $t$  определяют как полуразность диаметров до и после обработки:

$$t = (D_{\text{заг}} - d) / 2,$$

где  $d$  – диаметр обработанной цилиндрической поверхности, мм.

Подача  $S$  – путь точки режущего лезвия инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один оборот. Различают подачи: продольную –  $S_{\text{пр}}$ ; поперечную –  $S_{\text{п}}$  и др.

При черновой и получерновой обработке глубина резания обычно равна припуску на обработку, но не более 8 мм. При чистовой обработке на окончательных операциях припуск составляет не более 0,5 мм. При получистовой обработке  $t = 0,5-1,5$  мм.

Подача ограничивается шероховатостью обрабатываемой поверхности, прочностью механизма подачи, жесткостью заготовки и прочностью инструмента. При черновом наружном точении резцами и пластинами из твердого сплава и быстрорежущей стали подача выбирается по табл. 12.1.

Таблица 12.1

Подача при черновом наружном точении  
резцами и пластинами из твердого сплава  
и быстрорежущей стали

Диаметр детали, мм	Обрабатываемый материал					
	Сталь конструкционная и легированная			Чугун и медные сплавы		
	Подача S (мм/об) при глубине резания t (мм)					
	до 3	3-5	5-8	до 3	3-5	5-8
до 20	0,3-0,4					
20...40	0,4-0,5	0,3-0,4		0,4-0,5		
40...60	0,5-0,9	0,4-0,8	0,3-0,7	0,6-0,9	0,5-0,8	0,4-0,7
60...100	0,6-1,2	0,5-1,1	0,5-0,9	0,8-1,4	0,7-1,2	0,6-1,0

Скорость резания определяют исходя из выбранных глубины резания ( $t$ ), подачи ( $S$ ) и периода стойкости режущего инструмента ( $T$ ) по эмпирической формуле:

$$V = (C_v \cdot K_v) / (T^m \cdot t^x \cdot S^y),$$

где  $K_v$  – произведение ряда коэффициентов, учитывающих качество обрабатываемого материала ( $K_{mv}$ ), качество материала резца ( $K_{nv}$ ) и т.д. Значения коэффициентов  $K_v$ ,  $C_v$  и показателей степени  $m$ ,  $x$ ,  $y$  выбираются по справочнику (Справочник технолога машиностроителя / под ред. А.М. Малова. Т. 2. М.: Машиностроение, 1972.) Результаты расчета скорости резания при черновом наружном точении резцами с пластинами из твердого сплава и из быстрорежущей стали обобщены в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Скорость резания при черновом наружном  
точении резцами с пластинами из твердого сплава  
и из быстрорежущей стали

Глубина резания $t$ , мм	Обрабатываемый материал							
	Сталь конструкционная и легированная				Серый чугун НВ 180-200			
	Скорость резания $V$ (м/мин) при подаче $S$ (мм/об)							
	0,3	0,5	0,6	0,8	0,3	0,5	0,6	0,8
до 3	100	83	78	70	69	60	55	50
до 4	96	90	75	66	66	57	53	47
до 6	82	80	70	62	62	54	50	44

**Обтачивание наружных цилиндрических поверхностей**  
производят прямыми или отогнутыми проходными резцами с продольной подачей (рис. 12.2. а); гладкие валы – при установке заготовки на центрах. В начале обтачивают один конец заготовки на длину, необходимую для установки и закрепления хомутика, а затем ее поворачивают на  $180^\circ$  и обтачивают остальную часть.

Ступенчатые валы обтачивают по двум схемам: делением припусков на части (рис. 12.2. б) или делением длины заготовок на части (рис. 12.2. в). В первом случае обрабатывают заготовки с меньшими глубинами резания. Однако общий путь резца получается большим и резко возрастает основное (технологическое) время  $T_0$  (время, затрачиваемое непосредственно на процесс изменения формы и размеров заготовки и получения поверхности требуемой шероховатости):

$$T_0 = (L \cdot i) / (n \cdot S_{\text{пр}}),$$

где  $L$  – расчетная длина пути режущего инструмента относительно заготовки в направлении подачи, мм;  $n$  – частота вращения заготовки, об/мин;  $S_{\text{пр}}$  – продольная подача, мм/об;  $i$  – число рабочих ходов резца относительно заготовки, необходимое для снятия материала, оставленного на обработку поверхности.

Во втором случае припуск с каждой ступени срезается сразу за счет обработки заготовки с большой глубиной резания. При этом уменьшается  $T_0$ , но увеличивается требуемая мощность привода станка.

Нежесткие валы рекомендуется обрабатывать проходными резцами, у которых главный угол в плане  $\varphi = 90^\circ$ . При обработке заготовок валов такими резцами радиальная составляющая силы резания  $P_y$  близка к нулю, что снижает деформацию заготовок.

**Подрезание торцов.** Обычно перед обтачиванием наружных поверхностей заготовки подрезают несколько торцов. Торцы подрезают подрезными резцами с поперечной подачей к центру (рис. 12.2, з) или от центра заготовки. При подрезании с подачей от периферии к центру торец заготовки получается вогнутым вследствие воздействия на резец составляющих сил резания  $P_x$  и  $P_y$ . При подрезании от центра к периферии поверхность торца получается менее шероховатой, а торец выпуклым, при повторном проходе – плоским.

**Обтачивание галтелей.** Эту операцию выполняют проходными резцами с закруглением между режущими лезвиями по соответствующему радиусу с продольной подачей или специальными галтельными резцами с поперечной подачей (рис. 12.2, д).

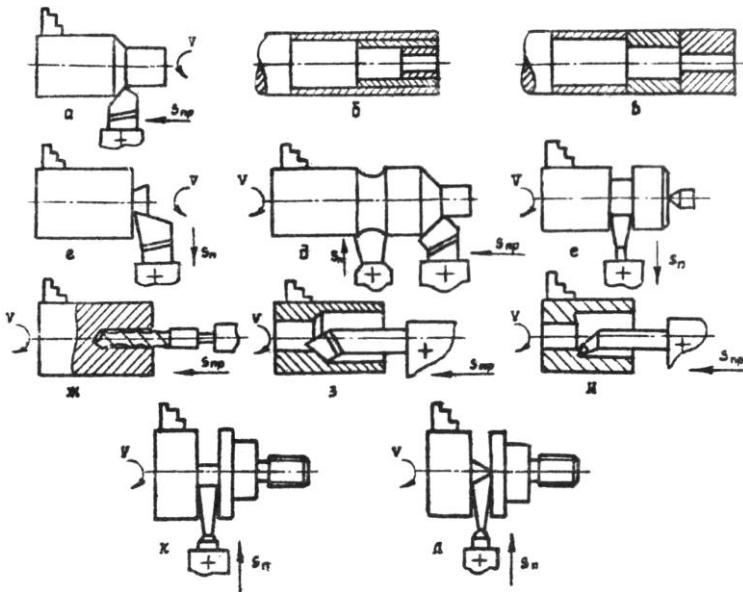


Рис. 12.2. Схемы обработки заготовок на токарно-винторезном станке

**Протачивание канавок.** Протачивают с поперечной подачей прорезными резцами (рис. 12.2. е), у которых длина главного режущего лезвия равна ширине протачиваемой канавки. Широкие канавки протачивают теми же резцами сначала с поперечной, а затем с продольной подачей.

**Сверление, зенкерование и развертывание отверстий.** Эти операции выполняют соответствующими инструментами, закрепленными в пиноли задней бабки. Схема сверления в заготовке цилиндрического отверстия показана на рис. 12.2, ж.

**Растачивание внутренних цилиндрических отверстий.** Растачивают расточными резцами, закрепленными в резцедержателе станка, с продольной подачей. Гладкие сквозные отверстия растачивают проходными резцами (рис. 12.2, з), ступенчатые и глухие цилиндрические отверстия – упорными расточными резцами (рис. 12.2, и). Обычно после растачивания глухого и ступенчатого отверстия на заданную длину продольную подачу выключают, включают поперечную подачу и подрезают внутренний торец (дно) отверстия.

**Отрезание обработанных деталей.** Отрезают отрезными резцами с поперечной подачей. При отрезании детали резцом с прямым режущим лезвием (рис. 12.2, к) разрушается образующая шейка, при этом приходится дополнительно подрезать торец готовой детали. При отрезании детали резцом с наклонным режущим лезвием (рис. 12.2, л) торец получается чистым и дополнительно подрезать его не требуется.

## **Оборудование, приспособление, инструмент**

Токарно-винторезный станок, резцы, заготовки.

### **Порядок выполнения работы**

1. Прослушать инструктаж по технике безопасности при работе на токарно-винторезном станке.
2. Ознакомиться с устройством токарно-винторезного станка и основными видами работ, выполняемых на нем.

3. Получить вариант задания у преподавателя на выполнение расчета режима резания для изготовления детали (табл. 12.3).
4. Расчет режима резания.
5. Оформить отчет.

Таблица 12.3

Данные для выполнения расчетов

Вариант задания	$D_{\text{заг}}$ , мм	$d_{\text{дет}}$ , мм	Материал заготовки
1	20	10	Сталь конструкционная
2	30	20	Сталь конструкционная
3	40	28	Серый чугун
4	50	40	Сталь конструкционная
5	60	48	Серый чугун

*Примечание.* Вид обработки – черновое наружное точение.

### Содержание отчета

1. Тема. Цель работы.
2. Эскиз токарно-винторезного станка с описанием основных узлов станка, а также основных видов работ, выполняемых на нем.
3. Эскиз заданной детали.
4. Расчет режима резания: глубина резания, подача и частота вращения заготовки.
5. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Из каких основных узлов состоит токарно-винторезный станок?
2. Какие два рабочих движения совершаются при обработке точением? Какое из них главное движение, а какое – движение подачи?
3. Какие операции выполняются на токарно-винторезном станке?
4. Какие параметры определяют режим резания?
5. Как рассчитывают режим резания?

## Лабораторная работа № 13 ОБРАБОТКА НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

Цель работы – ознакомление с обработкой заготовок на фрезерных станках.

Фрезерование – один из высокопроизводительных и распространенных методов обработки поверхностей заготовок многолезвийным режущим инструментом – фрезой.

Технологический метод формообразования поверхностей фрезерованием характеризуется главным вращательным движением инструмента и обычно поступательным движением подачи. Подачей может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно-фрезерные станки).

На фрезерных станках обрабатывают горизонтальные, вертикальные и наклонные плоскости, фасонные поверхности, уступы и пазы различного профиля. Особенностью процесса фрезерования является прерывистость резания каждым зубом фрезы. Зуб фрезы находится в контакте с заготовкой и выполняет работу резания только на некоторой части оборота, а затем продолжает движение, не касаясь заготовки до следующего врезания. Врезание зуба фрезы в заготовку сопровождается ударами, что приводит к неравномерности процесса резания, вибрациям и повышенному износу зубьев, а также отрицательно сказывается на точности и шероховатости обработанной поверхности.

Схемы фрезерования плоскости цилиндрической (*a*) и торцевой (*b*) фрезами показаны на рис. 13.1.

При цилиндрическом фрезеровании плоскостей работу выполняют зубья на цилиндрической поверхности фрезы. При торцовом фрезеровании плоскостей в работе участвуют зубья, расположенные на цилиндрической и торцевой поверхностях фрезы.

Цилиндрическое и торцевое фрезерование в зависимости от направления вращения фрезы и направления подачи заготовки можно осуществлять двумя способами:

1) встречным фрезерованием (против подачи), когда направления вращения фрезы и подачи заготовки не совпадают (рис. 13.1, *в*);

2) попутным фрезерованием (по подаче), когда направление вращения фрезы совпадает с направлением перемещения заготовки (рис. 13.1, *з*).

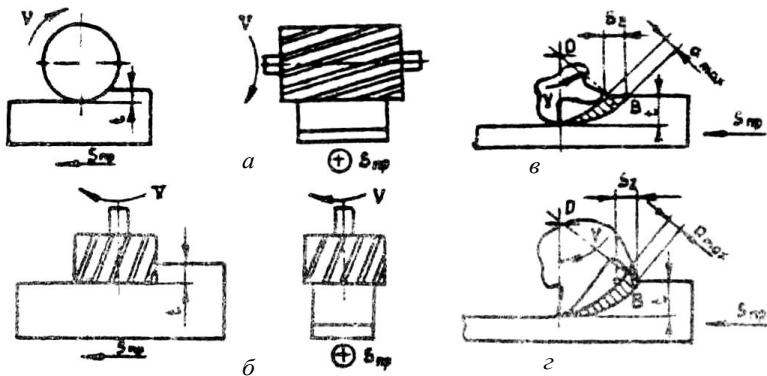


Рис. 13.1. Схемы фрезерования: цилиндрической (*а*) и торцевой (*б*) фрезами: встречного (*в*) и попутного (*з*): 1 – заготовка, 2 – фреза

При встречном фрезеровании нагрузка на зуб возрастает от нуля до максимума. При этом сила, действующая на заготовку, стремится оторвать ее от стола, что приводит к вибрациям и увеличению шероховатости обработанной поверхности. Преимуществом встречного фрезерования является работа зубьев фрезы «из-под корня», т.е. фреза подходит к твердому поверхностному слою снизу и отрывает стружку при подходе к точке В. Недостатком является наличие начального скольжения зуба по наклонной поверхности, образованной предыдущим зубом, что вызывает повышенный износ фрезы.

При попутном фрезеровании зуб фрезы сразу начинает срезать слой максимальной толщины и подвергается максимальной нагрузке. Это исключает начальное проскальзывание зуба, уменьшает износ фрезы и шероховатость обработанной поверх-

ности. Сила, действующая на заготовку, прижимает ее к столу станка, что уменьшает вибрацию.

**Элементы режима резания.** При фрезеровании к ним относят скорость резания  $V$ , подачу  $S$ , глубину резания  $t$ , ширину фрезерования  $B$ . Скорость резания, т.е. окружная скорость вращения фрезы (в м/мин):

$$V = \pi \cdot D \cdot n / 1000,$$

где  $D$  – диаметр фрезы, мм;  $n$  – частота вращения фрезы, об/мин.

Подача – величина перемещения обрабатываемой заготовки относительно вращающейся фрезы. Различают три размерности подачи: подачу на один зуб фрезы  $S_z$ , перемещение заготовки относительно фрезы за время ее углового поворота на один зуб; подачу на один оборот фрезы  $S_0$  – перемещение заготовки относительно фрезы за один ее оборот; минутную подачу,  $S_m$  – перемещение заготовки в минуту.

Эти подачи связаны между собой следующими зависимостями:

$$S_m = S_0 \cdot n = S_z \cdot Z \cdot n,$$

где  $Z$  – число зубьев фрезы.

Глубина резания  $t$  показана на рис. 13.1. Ширина фрезерования  $B$  – величина обрабатываемой поверхности, измеренная в направлении, параллельном оси фрезы при цилиндрическом фрезеровании и перпендикулярном к направлению подачи при торцевом фрезеровании.

**Силы резания.** В процессе фрезерования каждый зуб фрезы преодолевает силу сопротивления металла резанию. Фреза должна преодолеть суммарные силы резания, которые складываются из сил, действующих на зубья, находящиеся в контакте с заготовкой. При фрезеровании цилиндрической фрезой с прямыми зубьями равнодействующую сил резания  $R$ , приложенную к фрезе в некоторой точке  $A$ , можно разложить на окружную составляющую силу  $P$ , касательную к траектории движения точки режущего лезвия, и радиально составляющую силу  $P_y$ , направленную по радиусу (рис. 13.2, *a*). Силу  $R$  можно разложить также на горизонтальную и вертикальную составляющие силы  $P_H$  и  $P_V$ .

В зависимости от способа фрезерования (против подачи или по подаче) направление и величина оси изменяются.

При фрезеровании цилиндрической фрезой с винтовыми зубьями (рис. 13.2, б) в осевом направлении действует осевая сила  $P_0$ .

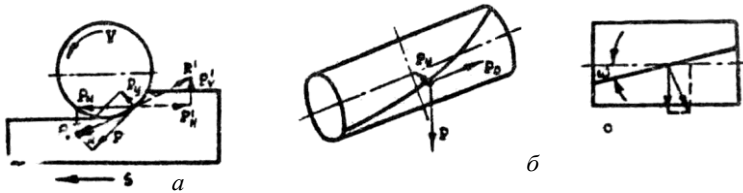


Рис. 13.2. Силы резания при работе цилиндрической фрезой

Чем больше угол наклона винтовых канавок  $\omega$ , тем больше будет сила  $P_0$ . При больших значениях силы  $P_0$  применяют две фрезы с разным направлением наклона зубьев. В этом случае осевые силы направлены в разные стороны и взаимно уравновешиваются. Окружная сила  $P$  производит основную работу резания. По этой силе определяют эффективную мощность  $N_e$  и рассчитывают детали и узлы механизма коробки скоростей на прочность. Радиальная сила  $P_y = (0,6-0,8) \cdot P$  действует на подшипники шпинделя и изгибает оправку, на которой крепят фрезу. Горизонтальная составляющая силы  $P_H$  действует на механизм подачи станка и элементы крепления заготовки. Осевая сила  $P_0 = (0,35-0,55) \cdot P$  действует на подшипники шпинделя станка и механизмы поперечной подачи стола; вертикальная составляющая сила  $P_v$  – на механизм вертикальной подачи стола. При встречном фрезеровании сила  $P_v$  прижимает фрезу к заготовке, а сила реакции  $P_v'$ , действующая на заготовку и направленная вверх, стремится оторвать заготовку от стола. При попутном фрезеровании, наоборот, сила  $P_v$  отжимает фрезу от заготовки, а сила реакции  $P_v'$ , действующая на заготовку и направленная вниз, прижимает ее к столу.

Сила резания,  $H$ :

$$P = C_p \cdot S_Z^{X_p} \cdot t^{Y_p} \cdot Z,$$

где  $C_p$  – коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал и условия обработки.

Коэффициент  $C_p$  и показатели степеней  $X_p$ ,  $Y_p$  приведены в справочниках по режимам резания.

Крутящий момент на шпинделе станка, Н·м:

$$M = P \cdot D / 2000,$$

где  $P$  – окружная сила резания. Эффективная мощность, кВт:

$$N_e = M \cdot n / 60 \cdot 10^3.$$

**Типы фрез.** В зависимости от назначения и вида обрабатываемых поверхностей различают следующие типы фрез: цилиндрические, торцевые, дисковые, концевые, угловые, шпоночные, фасонные. Фрезы изготавливают цельными или сборными с напайными и вставными ножами. Режущие лезвия могут быть прямыми или винтовыми. Фрезы имеют остроконечную или затылованную форму зуба. У фрез с затылованными зубьями передняя поверхность плоская, а задняя выполнена по спирали Архимеда; при переточке по передней поверхности профиль зуба фрезы сохраняется.

Цельные фрезы изготавливают из инструментальных сталей, корпуса напайных фрез – из конструкционных сталей; на рабочие части зубьев фрез припаивают пластинки из быстрорежущих сталей и твердых сплавов. У сборных фрез зубья (ножи) выполняют из быстрорежущих сталей или оснащают пластинками из твердых сплавов и закрепляют в корпусе фрезы различными механическими способами.

**Горизонтально-фрезерные станки.** В станине 1 горизонтально-фрезерного станка (рис. 13.3) размещена коробка скоростей 2. По вертикальным направляющим станины перемещается консоль 7. Заготовка, устанавливаемая на столе 4 в тисках или приспособлении, получает подачу в трех направлениях: продольном (перемещение стола по направляющим салазок 6), поперечном (перемещение салазок по направляющим консоли) и вертикальном (перемещение консоли по направляющим станины). Главным движением является вращение шпинделя. Коробка 8 размещена внутри консоли. В верхней части станины расположен хобот 3. По его направляющим перемещается подвеска

5 с подшипником для поддержания второго конца длинной оправки с фрезой.

Горизонтально-фрезерные станки, имеющие поворотную плиту, которая позволяет поворачивать рабочий стол в горизонтальной плоскости и устанавливать его на требуемый угол, называются универсальными.

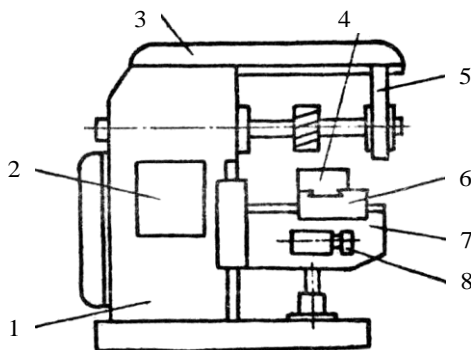


Рис. 13.3. Общий вид горизонтально-фрезерного станка:

1 – станина; 2 – коробка скоростей; 3 – хобот; 4 – стол; 5 – подвеска; 6 – салазки; 7 – консоль; 8 – коробка подач

*Вертикально-фрезерные станки* (рис. 13.4). Эти станки имеют много общих унифицированных деталей и узлов с горизонтально-фрезерными станками. В станине 1 размещена коробка скоростей 2. Шпиндельная головка 3 смонтирована в верхней части станины и может поворачиваться в вертикальной плоскости. При этом ось шпинделя 4 может поворачиваться под углом к плоскости рабочего стола 5.

Главным движением является вращение шпинделя. Стол, на котором закрепляют заготовку, имеет продольное перемещение по направляющим салазок 6. Салазки имеют поперечное перемещение по направляющим консоли 7, которая перемещается по вертикальным направляющим станины. Таким образом, установленная на столе 5 заготовка может получать подачу в трех направлениях. В консоли смонтирована коробка подач 8.

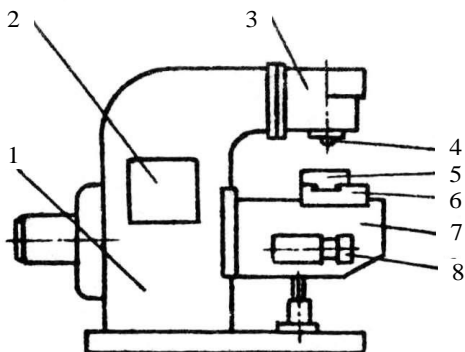


Рис. 13.4. Общий вид вертикально-фрезерного станка:

1 – станина; 2 – коробка скоростей; 3 – шпиндельная головка; 4 – ось шпинделя; 5 – стол; 6 – направляющие салазки; 7 – консоль; 8 – коробка подач

Движения, участвующие в формообразовании поверхностей в процессе резания указаны стрелками на схемах (рис. 13.5). Горизонтальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках цилиндрическими фрезами (рис. 13.5, а) и на вертикально-фрезерных станках торцевыми фрезами (рис. 13.5, б). Цилиндрическими фрезами целесообразно обрабатывать горизонтальные плоскости шириной до 120 мм, при этом длина фрезы должна быть немного больше ширины обрабатываемой заготовки. В большинстве случаев плоскости удобнее обрабатывать торцевыми фрезами.

Вертикальные плоскости фрезеруют на горизонтально-фрезерных станках торцевыми фрезами (рис. 13.5, в), а на вертикально-фрезерных – концевыми фрезами (рис. 13.5, г).

Наклонные плоскости и скосы фрезеруют торцевыми (рис. 13.5, д) и концевыми (рис. 13.5, е) фрезами на вертикально-фрезерных станках, у которых фрезерная головка со шпинделем поворачивается в вертикальной плоскости. Скосы фрезеруют на горизонтально-фрезерном станке одноугловой фрезой (рис. 13.5, ж).

Комбинированные поверхности фрезеруют набором фрез (рис. 13.5, з) на горизонтально-фрезерных станках. Точность

взаиморасположения обработанных поверхностей зависит от жесткости крепления фрез по длине оправки. С этой целью применяют дополнительные опоры (подвески), избегают использования несоразмерных по диаметру фрез (рекомендуемое отношение диаметров фрез не более 1,5).

Уступы и прямоугольные пазы фрезеруют дисковыми (рис. 13.5, и) и концевыми фрезами (рис. 13.5, к) на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках. Уступы и пазы целесообразно фрезеровать дисковыми фрезами, так как они имеют большее число зубьев и допускают работу с большими скоростями резания.

Фасонные пазы фрезеруют фасонной дисковой фрезой (рис. 13.5, л), угловые пазы – одноугловой и двухугловой (рис. 13.5, м) фрезами на горизонтально-фрезерных станках.

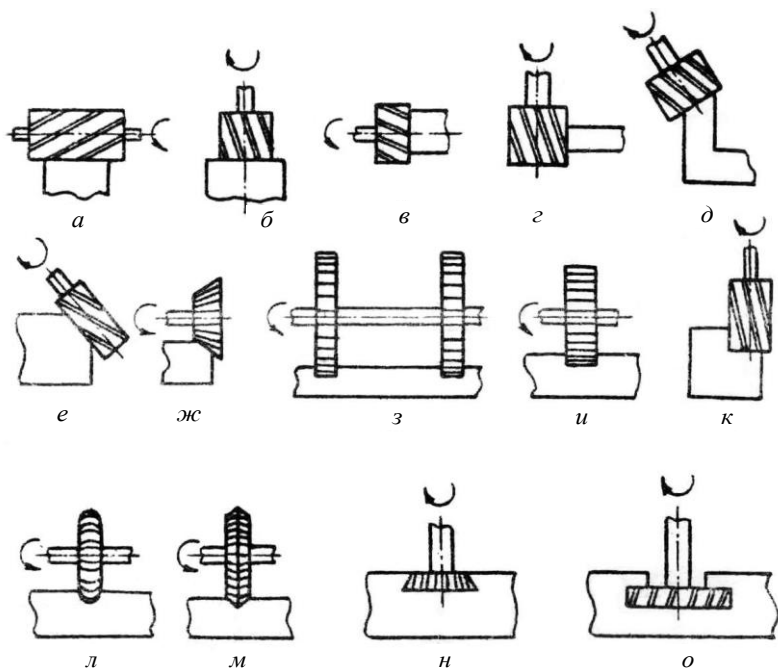


Рис. 13.5. Схемы фрезерования поверхностей

Паз типа «ласточкин хвост» фрезеруют на вертикально-фрезерном станке за два прохода: прямоугольный паз – концевой фрезой, затем скосы паза – концевой одноугловой фрезой (рис. 13.5, *н*).

T-образные пазы (рис. 13.5, *о*), которые широко применяют в машиностроении как станочные пазы, например, на столах фрезерных станков, фрезеруют обычно за два прохода: вначале паз прямоугольного профиля концевой, реже дисковой фрезой, затем нижнюю часть паза – фрезой для T-образных пазов.

### **Оборудование, инструменты и материалы**

Горизонтально-фрезерный станок, вертикально-фрезерный станок, наборы фрез для обработки на горизонтально-фрезерных и вертикально-фрезерных станках, заготовки.

### **Порядок выполнения работы**

1. Прослушать инструктаж по технике безопасности при работе на фрезерных станках.

2. Ознакомиться с устройством горизонтально-фрезерного и вертикально-фрезерного станка и основными видами работ, выполняемых на них.

3. Получить вариант задания у преподавателя на обработку фрезерованием заготовки шириной  $b$ , длиной  $l$  и припуском  $h$  (табл. 13.1).

4. Исходя из припуска на обработку, свойств обрабатываемого материала и режущего инструмента выбрать глубину резания  $t$  и определить число проходов  $i$ .

5. По табл. 13.2 выбрать подачу на зуб  $S_z$ , а по табл. 13.3 – скорость резания  $V$  для заданного варианта.

6. Подсчитать частоту вращения фрезы  $n_p$  и откорректировать ее по паспортным данным станка, принимая меньшее значение  $n_0$ .

7. Определить минутную подачу  $S_m$ , мм/мин, с учетом  $n_0$  и откорректировать ее также по паспорту станка.

8. Рассчитать основное машинное время:

$$T_m = L_{px} \cdot i / S_m, \text{ мин,}$$

где  $S_m$  – принятая минутная подача, мм/мин;  $i$  – число проходов,  $L_{px}$  – длина рабочего хода, мм; ( $L_{px} = l + l_1 + l_2$ , где  $l$  – длина обрабатываемой заготовки;  $l_1$  и  $l_2$  – перебег инструмента до и после обработки поверхности).

### Содержание отчета

1. Тема. Цель работы.
2. Эскиз горизонтально-фрезерного или вертикально-фрезерного станка с описанием основных видов работ, выполняемых на них.
3. Вариант задания по табл. 13.1.
4. Расчет режима резания с определением действительного значения скорости резания и подачи на зуб по табл. 13.2 и 13.3.
5. Выводы.

Таблица 13.1

Варианты задания к работе

Вариант	Заготовка		Размеры, мм			Характеристика фрез			
	Материал	Вид	$b$	$l$	$h$	Материал	Форма	Диаметр $D$ , мм	Число зубьев $Z$
1	Сталь 40Х НВ 235	Прокат	75	300	10	P18	Цилиндрическая	90	8
2	Сталь 65Г НВ 235	Прокат	100	250	10	Твердый сплав	Торцевая	150	12
3	Серый чугун НВ 240	Отливка	200	400	8	T30K4	Торцевая	250	18
4	Ковкий чугун НВ 170	Отливка	50	120	5	P9	Концевая	90	6
5	Ст 3 НВ 145	Покровка	100	150	15	P6M5	Концевая	90	6

Таблица 13.2

Выбор подачи на зуб  
при обработке фрезерованием

Материал фрезы	Твердость обрабатываемого материала, НВ	Подача $S_z$ , мм/зуб, при глубине резания $t$ , мм		
		До 2	2-5	> 5
Быстрорежущая сталь	< 229	0,2-0,3	0,15-0,25	0,12-0,2
	229-287	0,15-0,25	0,12-0,2	0,1-0,15
	287	0,12-0,2	0,1-0,15	0,07-0,12
Твердый сплав	< 229	0,15-0,2	0,12-0,18	0,1-0,15
	229-287	0,1-0,15	0,08-0,12	0,08-0,1
		0,08-0,1	0,06-0,1	0,06-0,08

Таблица 13.3

Выбор скорости резания  
при обработке, фрезерованием

Глубина резания, мм	Скорость резания $V$ , м/мин, при подаче $S_z$ , мм/зуб				
	0,01	0,1	0,15	0,2	0,3
Инструмент из быстрорежущей стали					
До 1	75	67	56	50	42
До 3	70	63	50	45	38
До 6	67	58	47	43	36
Инструмент из твердого сплава					
До 1	175	155	130	120	110
До 3	155	130	120	110	100
До 6	140	120	100	90	80

## Контрольные вопросы

1. Назовите типы фрезерных станков общего назначения.
2. Что относится к элементам режима резания при фрезеровании?
3. Назовите достоинства и недостатки встречного и попутного фрезерования.
4. Перечислите наиболее распространенные типы фрез и их применение.
5. Для чего необходимо знание составляющих сил резания при фрезеровании?
6. Каковы конструктивные особенности режущих элементов фрез?
7. По каким поверхностям затачивают фрезы?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология конструкционных материалов: учебник для студентов машиностроительных специальностей / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, Л.Н. Бухарин [и др.]; под редакцией А.М. Дальского. – Москва: Машиностроение, 2005. – 592 с.

2. Третьяков, А.Ф. Материаловедение и технологии обработки материалов: учебное пособие / А.Ф. Третьяков, Л.В. Тарасенко. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2014. – 544 с.

3. Технология металлов и сплавов: учебник / Н.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев, Н.Е. Стариков [и др.]; под редакцией А.Е. Гвоздева. – Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 480 с.

4. Евлампиев А.А. Основы литейного производства: учебное пособие / А.А. Евлампиев, Л.А. Иванова, А.В. Королев. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – 506 с.

5. Материаловедение: учебное пособие / И.Е. Илларионов, Э.Л. Львова, И.А. Стрельников, Е.А. Деревянных. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. – 222 с.

6. Технология конструкционных материалов: учебное пособие для вузов / А.Г. Алексеев, Ю.М. Барон, М.Т. Коротких [и др.]; под редакцией М.А. Шатерин. – Санкт-Петербург: Политехника, 2016. – 140 с.

7. Технологические процессы машиностроительных производств: сборник лабораторных работ / Н.А. Алексеева, Н.Ф. Быков, Г.А. Замрий [и др.]. – Чебоксары: Техма, 1994. – 132 с.

8. Ефимова Л.Б. Материаловедение и технология конструкционных материалов: лабораторный практикум / Л.Б. Ефимова. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2015. – 172 с.

9. Испытание и обработка материалов: практикум / И.Е. Илларионов, Н.Ф. Быков, Ю.Н. Степанов и др. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1994. – 116 с.

10. Технология конструкционных материалов: учебное пособие / И.Е. Илларионов, Э.Л. Львова, И.А. Стрельников, Г.А. Кравченко. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020. – 220 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1. Твердость металлов и способы ее измерения.....	3
Лабораторная работа № 2. Механические свойства металлов.....	10
Лабораторная работа № 3. Безобразцовый метод определения механических свойств.....	18
Лабораторная работа № 4. Устройство и характеристики плавки в индукционных печах .....	22
Лабораторная работа № 5. Изготовление песчано-глинистых форм по разъемной модели.....	27
Лабораторная работа № 6. Расчет поковки детали и выбор заготовки для ее получения методом горячей объемной штамповки.....	32
Лабораторная работа № 7. Магнитно-импульсная обработка металлов давлением .....	41
Лабораторная работа № 8. Ручная электродуговая сварка .....	49
Лабораторная работа № 9. Контактная точечная сварка.....	59
Лабораторная работа № 10. Пайка мягкими припоями .....	68
Лабораторная работа № 11. Геометрия токарных резцов .....	75
Лабораторная работа № 12. Обработка на токарно-винторезных станках .....	82
Лабораторная работа № 13. Обработка на фрезерных станках. ....	90
Список литературы.....	102

*Учебное издание*

ИЛЛАРИОНОВ Илья Егорович  
ИВАНОВА Людмила Александровна  
СТРЕЛЬНИКОВ Игорь Анатольевич

## **ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Практикум

Редактор *А.Н. Антонова*  
Компьютерная верстка и правка *Е.В. Ивановой*

Согласно Закону № 436-ФЗ от 29 декабря 2010 года  
данная продукция не подлежит маркировке

Подписано в печать 25.06.2021. Формат 60×84/16.  
Бумага газетная. Печать офсетная. Гарнитура Times.  
Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 5,56. Тираж 150 экз. Заказ № 528.

Издательство Чувашского университета  
Типография университета  
428015 Чебоксары, Московский просп., 15