

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ.
ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

ПРАКТИКУМ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
МЕТОДАМ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2010

УДК 620:621.9

Авторы:

В.С. Медко, В.П. Третьяков, Л.А. Ушомирская, А.И. Фоломкин

Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Практикум по технологическим методам получения и обработки заготовок: Учебное пособие. В.С. Медко, В.П. Третьяков Л.А. Ушомирская, А.И. Фоломкин. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2009.

Учебное пособие соответствует государственным образовательным стандартам направлений подготовки и специальностей в области техники и технологии и содержанию примерной учебной программы дисциплины ОПД.Ф.03 “Материаловедение. Технология конструкционных материалов”

Учебное пособие предназначено для студентов электромеханического и механико-машиностроительного факультета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета обучающихся по направлениям и специальностям: 150407 - “Полиграфические машины и автоматизированные комплексы” 140600 - “Электротехника, электромеханика и электротехнологии (бакалавр)” 654500 - “Электротехника, электромеханика и электротехнологии (инженер)” 140200 – “Электроэнергетика (бакалавр)” 654900 – “Электроэнергетика (инженер)” при изучении дисциплины “Материаловедение. Технология конструкционных материалов”

Содержит сведения по методике проведения лабораторных работ в учебных мастерских, относящихся к способам получения заготовок, обработке заготовок технологическими методами резания и обработке с применением электрофизических и электрохимических технологий.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения физических величин	4
1. Железоуглеродистые сплавы, классификация сталей и их свойства	6
2. Обработка металлов резанием на токарных станках	15
3. Обработка металлов резанием на вертикально-фрезерных станках	26
4. Обработка сложнопрофильных изделий на электроискровом станке	36
5. Обработка на электрохимическом станке модели СНЭ-20МК	42
6. Обработка металлов резанием на станке модели 16К20Ф3 NC201M	50
7. Литейное производство	59
8. Сварочное производство	75
Приложение. Нормальные ряды частот и подач	93
Литература	94

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

№ п.п.	Физическая величина		Единица измерения физической величины	
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
1	2	3	4	5
1	Время	τ	секунда	с
2	Высота неровностей профиля поверхности по десяти точкам	Rz	микрометр	мкм
3	Глубина резания	t	метр	м
4	Диаметр	D, d	метр	м
5	Длина	ℓ	метр	м
6	Емкость электрическая	C	фарада	Ф
7	Зазор межэлектродный боковой	δ_b	метр	м
8	Коэффициент выхода по току	k_η	безразмерный	-
9	Масса	m	килограмм	кг
10	Мощность	N	ватт	Вт
11	Напряжение	σ	Паскаль	Па
12	Объем	V	метр в кубе	м ³
13	Относительное сужение	ψ	процент	%
14	Относительная деформация	δ_5, δ_{10}		
15	Относительное удлинение	δ	процент	%
16	Погрешность обработки	Δ	метр	м
17	Площадь	S	Метр в квадрате	м ²
18	Подача за один оборот	s_o	Метр за оборот	м/об
19	Подача в одну минуту	s_m	Метр за минуту	м/мин
20	Подача на один зуб	s_z	Метр на один зуб	м/зуб
21	Припуск	Z	метр	м

1	2	3	4	5
22	Производительность	P		
23	- по объему	P_V	метр кубический в секунду	$\text{м}^3/\text{с}$
24	- по массе	P_m	килограмм в секунду	кг/с
25	Сила электрического тока	I	ампер	А
26	Скорость главного движения резания	v	метр в секунду	м/с
27	Скорость подачи	v_s	метр в секунду	м/с
28	Сопротивление электрическое	R	ом	Ом
29	Среднее арифметическое отклонение профиля поверхности от средней линии	R_a	микрометр	мкм
30	Частота вращения	n	секунда в минус первой степени	с^{-1}
31	Число режущих лезвий	z	штук	Шт
32	Число рабочих ходов	i	ход	ход

1. ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫЕ СПЛАВЫ, КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ И ИХ СВОЙСТВА

Цель работы: знание принципов обозначения сталей; освоение методики построения диаграмм растяжения образцов материалов и определение основных механических характеристик сталей.

Общие сведения

По назначению все материалы подразделяются на конструкционные, инструментальные и материалы с особыми свойствами. В свою очередь все материалы делятся на металлические и неметаллические.

Конструкционные металлические материалы делятся на две большие группы: черные и цветные. К черным металлам относят железо и его сплавы – чугуны и стали, а так же кобальт и никель. Остальные металлы и сплавы составляют группу цветных.

Стали, являются наиболее многочисленными широко применяемыми сплавами в промышленности как основной машиностроительный материал и представляют собой сплавы железа с углеродом, содержание углерода в которых не превышает 2,14%.

В зависимости от химического состава различают углеродистые и легированные стали, в которые вводят легирующие. Легирование производится с целью изменения механических (прочности, пластичности, вязкости), физических (электропроводности, магнитных характеристик, радиационной стойкости), химических (коррозионной стойкости в разных средах) свойств.

В зависимости от способа производства различают стали выплавляемые в электропечах, мартеновских печах кислородно-конвертерным способом и т.д.

По способу раскисления различают кипящие, спокойные и полуспокойные стали.

По качеству углеродистые стали, подразделяются на стали обыкновенного качества и качественные стали. Качество стали, определяется содержанием вредных примесей: серы и фосфора. Стали обыкновенного качества содержат не более 0,05% серы и не более 0,04% фосфора. Качественные стали, содержат не более 0,04% серы и не более 0,035 % фосфора, кроме того, они менее загрязнены неметаллическими включениями и газами.

Легированные стали бывают качественные, высококачественные (серы и фосфора до 0,025) и особовысококачественные (серы и фосфора до 0,015%).

Маркировка сталей

Стали обыкновенного качества обозначают согласно ГОСТ 380-2005. Буквы Ст обозначают “сталь”, цифры, следующие за этими буквами, – ус-

ловный (порядковый) номер стали в зависимости от химического состава, при этом, чем больше номер, тем больше в ней углерода и выше прочность, но ниже пластичность; буква Г – повышенное содержание марганца (0,8–1,1 %). Буквы в конце марки означают: кп – сталь кипящая (обычно раскисленная только ферромарганцем); пс – полуспокойная (обычно раскисленная ферромарганцем и алюминием); сп – сталь спокойная (полностью раскисленная ферромарганцем, алюминием и феррокремнием).

Например: Ст5пс, Ст3, Ст2кп.

Качественные стали, маркируют следующим образом. Вместо “Ст” пишется “Сталь”, а содержание углерода указывают в начале марки цифрой, соответствующей его содержанию в сотых долях процента.

Например: сталь 20, сталь 45, сталь 30 (сталь 45 содержит: 0,45% углерода (С), остальное железо (Fe)).

Легированные стали маркируют комбинацией цифр и заглавных букв русского алфавита. Первые две цифры обозначают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Следующие далее буквы являются сокращенным обозначением введенных легирующих элементов (табл. 1). Цифры, стоящие после букв, обозначают соответственно содержание этих элементов в целых процентах.

Если в конце марки отсутствует буква – это легированная качественная сталь. Буква А в конце маркировки указывает на то что сталь высококачественная, а буква Ш указывает, что эта сталь особо высококачественная.

Например: 40Х, 38ХМ10А, 12Х13 (сталь 12Х13 содержит: 0,12 % углерода (С), 13 % хрома (Cr), остальное железо (Fe)).

Инструментальные стали классифицируются на углеродистые, низколегированные и высоколегированные (быстрорежущие).

Таблица 1.

Обозначение элементов в марках легированных сталей

Обозначение легирующего элемента	Наименование легирующего элемента	Обозначение легирующего элемента	Наименование легирующего элемента
А	Азот	П	Фосфор
Б	Ниобий	Р	Бор
В	Вольфрам	С	Кремний
Г	Марганец	Т	Титан
Д	Медь	Ф	Ванадий
Е	Селен	Х	Хром
К	Кобальт	Ц	Цирконий
М	Молибден	Ч	Редкоземельный элемент
Н	Никель	Ю	Алюминий

Углеродистые инструментальные стали маркируют буквой У, а следующая за ней цифра показывает содержание углерода в десятых долях процента.

Например У7, У9, У10, У12, У7Ф (например: У9 содержит 0,9 % углерода (С), остальное железо (Fe); У7А содержит 0,7% углерода(С), остальное железо (Fe)).

Быстрорежущие сложнолегированные стали обозначают буквой Р (от английского rapid - быстрый), следующая за ней цифра указывает содержание вольфрама. Содержания углерода в этих сталях около 1%.

Например Р6М5, Р18, Р9 (например Р9М5 содержит: около 1 % углерода (С), 9 % вольфрама (W), 5 % молибдена (Mo))

Исследуемые механические свойства сплавов.

Поведение металлов и сплавов под действием внешних нагрузок характеризуется их механическими свойствами.

Результаты определения механических свойств используются в расчетной конструкторской практике при проектировании машин и конструкций.

Наибольшее распространение имеют следующие виды механических испытаний.

1. Статические кратковременные испытания однократным нагружением на одноосное растяжение-сжатие, твердость, изгиб и кручение.
2. динамические испытания с определением ударной вязкости и ее составляющих - удельной работы зарождения и развития трещин.
3. Испытания переменной нагрузкой с определением предела выносливости материала

Статические испытания

При статических испытаниях определяют показатели прочности и пластичности.

Прочность характеризует величину внешней нагрузки, которую материал выдерживает без разрушения. Показателями прочности являются предел пропорциональности σ_{pi} , предел текучести (физический σ_m или условный $\sigma_{0,2}$), временное сопротивление разрыву (предел прочности) σ_b .

Пластичность - способность материала остаточно изменять свою форму и размеры без разрушения. Показатели пластичности - относительное удлинение (δ_5 , δ_{l0} - индекс указывает длину исследуемого образца) и относительное сужение ψ .

Показатели прочности и пластичности определяют по результатам испытания стандартных образцов из исследуемых материалов на растяжение. При испытании на растяжение образцы (рис.1) чаще всего изготавливают цилиндрическими с диаметром рабочей части d_0 и длиной рабочей части $l_0 = 5 \cdot d_0$ или $l_0 = 10 \cdot d_0$. Концевые утолщенные участки служат для размещения в захватах разрывной машины.

Растяжение образцов проводят на испытательных машинах, прикладывая растягивающую силу P , измеряемое в ньютонах (Н) и записывая диаграмму растяжения в координатах сила (P) – абсолютная деформация (Δl). Абсолютная деформация – это удлинение образца под действием силы P равная:

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

где l_1 - рабочая длина образца при растяжении.

типичный вид диаграммы для малоуглеродистой стали, приведен на рис. 2.

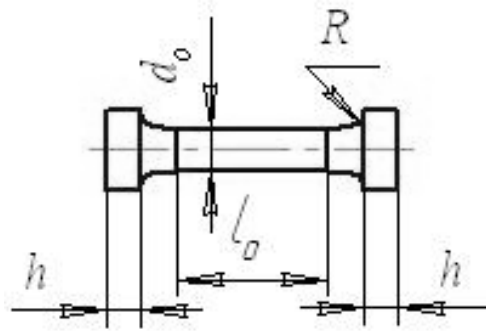


Рис. 1. Образец для испытаний на растяжение

Приведенная на рис.2 диаграмма иллюстрирует поведение материала при данных размерах образца. Для получения графика характеризующего непосредственно изучаемый материал, диаграмму растяжения изображают в координатах: напряжение (σ) – относительная деформация (ε) (рис. 3.).

Для этого, ординаты кривой изображающие силу (P), делят на первоначальную площадь сечения образца F_0 , а абсциссы Δl – на рабочую длину образца до испытаний l_0 . Таким образом, в новой диаграмме по вертикали откладываются напряжения в МПа:

$$\sigma = \frac{P}{F_0}, \quad (1)$$

где $F_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$ – площадь поперечного сечения образца, m^2 .

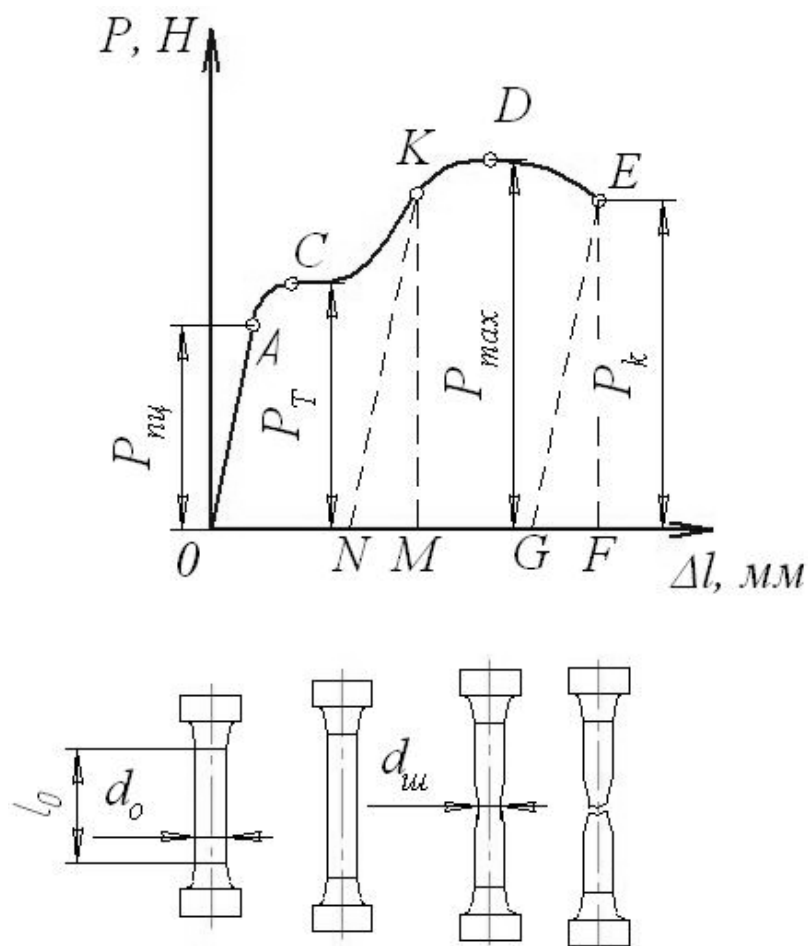


Рис. 2. Диаграмма нагрузка - абсолютная деформация

При этом соответствующее относительное удлинение в %, откладываемое по горизонтали, определяется следующим образом:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100; \quad (2)$$

На диаграммах рис. 2 и рис. 3 имеется ряд характерных участков и точек, соответствующие различным стадиям деформации образца.

Точка *A* на рис. 2 соответствует наибольшей предельной нагрузке $P_{нч}$, до которой соблюдается линейная зависимость между нагрузкой и удлинением образца. На участке *OA* справедлив закон Гука:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}; \quad (3)$$

где E – модуль упругости, МПа;

σ - нормальное напряжение, возникающее в поперечном сечении образца, МПа;

ε - относительная деформация образца, %.

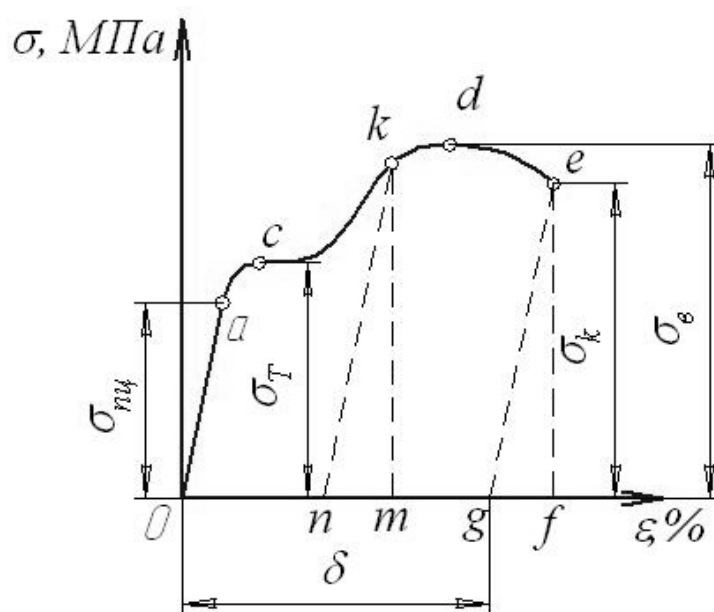


Рис. 3. Диаграмма напряжение – относительная деформация

Соответствующее напряжение в точке *a* (рис. 3) называется пределом пропорциональности и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{mц} = \frac{P_{mц}}{F_0}; \quad (4)$$

Точка *C* на рис. 2 соответствует нагрузке P_T , при которой образец деформируется без возрастания нагрузки или как говорят материал начинает «течь» образуя на диаграмме так называемую площадку текучести *CD*. Соответствующее напряжение в точке *c* (рис. 3) называется пределом текучести и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\dot{o}} = \frac{P_{\dot{o}}}{F_0}; \quad (6)$$

После стадии текучести материал снова приобретает способность увеличивать сопротивление дальнейшей деформации. Точка *D* на рис. 2 соответствует максимальной предельной нагрузке P_{max} , после которой начинается местное сужение образца в виде шейки, в результате чего происходит падение нагрузки. Соответствующее напряжение в точке *d* (рис. 3) называется пределом прочности или временное сопротивление и рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\sigma} = \frac{P_{max}}{F_0}; \quad (7)$$

Точка *E* на рис. 2 соответствует нагрузке P_k , при которой образец разрушается.

Для материалов, диаграмма которых не имеет резко выраженной площадки текучести, предел текучести условно определяют как напряжение, при котором остаточная деформация составляет 0,2 % рабочей длины образца, а условный предел текучести в этом случае обозначают $\sigma_{0,2}$.

При испытаниях образцов на растяжение определяют так же характеристики пластичности, к которым относится относительное удлинение:

$$\delta = \frac{l_e - l_o}{l_o} \cdot 100\%; \quad (8)$$

где l_e - длина рабочей части образца после испытаний.

После разрыва образца измеряют его диаметр в наиболее тонком месте шейки, вычисляют соответствующую площадь сечения F_k . Относительное остаточное сужение площади начального сечения образца при разрыве рассчитывают по формуле:

$$\psi = \frac{F_o - F_k}{F_o} \cdot 100\%; \quad (9)$$

Еще одной из важных механических характеристик материала является его твердость. Твердостью называют свойство материала оказывать сопротивление деформации в поверхностном слое при местных контактных воздействиях. Различают следующие методы определения твердости: по Бринеллю; по Роквеллу; по Виккерсу.

Одним из наиболее распространенных методов является определение твердости по Бринеллю.

Испытание по методу Бринелля состоит во вдавливании в образец стального шарика, из углеродистой закаленной стали диаметром D (рис. 4), под действием постоянной нагрузки P и измерении диаметра отпечатка. Число твердости по Бринеллю HB (Па) определяется по формуле

$$HB = \frac{P}{F} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}; \quad (10)$$

где F – площадь отпечатка, m^2 ;

D , – диаметр шарика, м;

d , – диаметр отпечатка, м;

P , – величина нагрузки, Н.

В данной работе для определения твердости приняты следующие значения $D = 0,01$ м, $P = 30000$ Н.

Порядок выполнения работы.

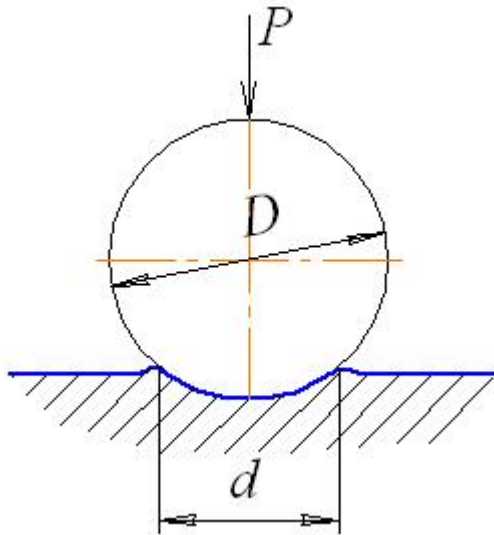


Рис. 4. Схема испытаний по методу Бринелля

1. Получить от преподавателя образец, испытанный на разрыв, и соответствующую диаграмму растяжения $P_i = f(\Delta l_i)$ с исходными данными.

2. Найти по диаграмме численные значения усилий: P_{np} , $P_{0,2}$, P_{σ} .

3. По формулам 2, 4 и 5 рассчитать σ_{np} , $\sigma_{0,2}$, σ_{σ} .

4. Дополнительно произвести расчет σ в трех точках

5. Измерить длину рабочей части образца после испытания и диаметр шейки $d_{ш}$.

6. Рассчитать показатели пластичности δ_5 , ψ по формулам 6,7.

7. Построить диаграмму в координатах напряжение ($\sigma_i = P_i / F_0$, МПа) и относительная деформация ($\epsilon_i = \Delta l_i / l_0 \cdot 100$, %) используя значение σ_{np} , $\sigma_{0,2}$, σ_{σ} и дополнительные значения σ_i , в двух - трех точках.

8. Измерить твердость этого образца на приборе Бринелля. Диаметр отпечатка определяют как среднее арифметическое по измерению в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

9. По полученным значениям $\sigma_{0,2}$, σ_{σ} , δ_5 , ψ , HB выбрать по таблице 2 соответствующий материал и расшифровать марку стали.

10. Получите индивидуальное задание для самостоятельной работы по расшифровке марок сталей (табл. 3).

Таблица 2.

Механические свойства сталей.

№ п/п	Марка стали	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_{σ} , МПа	δ_5 , %	ψ , %	HB , МПа, не более
1	2	3	4	5	6	7
1	Ст3сп	250	380-490	25	-	-
2	Ст4кп	270	420-540	24	-	-
3	Ст3пс	290	500-640	20	-	-
4	10	210	340	31	60	1430-1870
5	20	250	420	25	55	1630-2070
6	30	300	500	21	50	1790-2290
7	40	340	580	19	45	1870-2410

1	2	3	4	5	6	7
8	08	200	330	33	60	1310
9	60	410	690	12	35	2290
10	50Г	400	660	13	40	2170

Таблица 3

Индивидуальное задание

1	Ст3сп, сталь 45, сталь 9Х5ВФ, У8, Р6М5
2	Ст4пс, сталь 20Х, сталь 3Х4В3М3Ф2, У10, Р18
3	Ст3кп, сталь 40, сталь 30ХГТ, У12, Р9
4	Ст2пс, сталь 20, сталь 12Х2Н4, У10, Р6М3
5	Ст4сп, сталь 30Х, сталь 18ХГТ, У11, Р12М3Ф2К8
6	Ст2кп, сталь 50Г, сталь 15ХСНД, У9, Р12Ф3
7	Ст4кп, сталь 65, сталь 30ХМ, У13, Р8М3
8	Ст3пс, сталь 65Г, сталь 18Х2Н4ВА, У10, Р12
9	Ст4кп, сталь 40Х, сталь 30ХГС, У8, Р18
10	Ст5пс, сталь 20, сталь 30ХГС, У10А, Р9
11	Ст2, сталь 45, сталь 30ХГТ, У12, Р8М3
12	Ст1пс, сталь 30, сталь 18ХГТ, У8, Р12
13	Ст6кп, сталь 40Х, сталь 15ХСНД, У10, Р12Ф3

Содержание отчета.

1. Цель работы, применяемое оборудование, приборы, материалы и измерительный инструмент.
2. Эскизы образца до и после испытания на разрыв и соответствующая ему диаграмма растяжения с исходными данными.
3. Расчет показателей прочности и пластичности.
4. Диаграмма напряжений $\sigma=f(\epsilon)$.
5. Схема измерения твердости.
6. Расчет твердости исследуемого образца по формуле 10.
7. Выбор марки стали по полученным механическим свойствам из таблицы 2 и ее расшифровка.
8. Расшифровка соответствующих марок сталей по индивидуальному заданию.
9. Выводы по работе.

2 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Цель работы: знания видов токарных работ, устройства и назначения токарно-винторезного станка, режущего инструмента и приспособлений, применяемых для токарных работ, умения выполнять расчеты параметров режима резания.

Общие сведения об обработке заготовок методом точения.

Токарные станки предназначены для обработки в основном деталей типа тел вращения, имеющие цилиндрические, конические, фасонные, сферические, винтовые поверхности, а так же торцевые плоскости.

На станках токарной группы выполняют обтачивание наружных и растачивание внутренних поверхностей заготовок, подрезание торцов, отрезание, сверление, зенкерование и развертывание отверстий, нарезание резьб и другие виды работ. При этом обеспечивается точность размеров не выше 6...8 качества точности и шероховатость поверхностей с параметром R_a до 2,5 мкм. Для выполнения указанных работ в качестве режущих инструментов на станках токарной группы используют резцы различных типов, сверла, зенкеры, зенковки, развертки, метчики и плашки.

Сущность процесса обработки на токарных станках и элементы режима резания

Обработка металлов резанием заключается в удалении с поверхности заготовки слоя металла, который, подвергаясь пластической деформации образует стружку.

В металлорежущих станках различают два вида рабочих движений: главное движение, определяющее скорость резания, и движение подачи обеспечивающее непрерывность процесс резания вдоль всей обрабатываемой поверхности.

При точении главным движением резания (D_r) является вращательное движение заготовки, а поступательное движение инструмента (D_s) - движением подачи (рис. 5).

На обрабатываемой резанием заготовке различают (рис. 1) обрабатываемую поверхность (1), с которой снимают стружку. Поверхность резания (2), образуемую режущей кромкой в результирующем движении резания и являющейся переходной между обрабатываемой и обработанной поверхностями. Обработанную поверхность диаметром d (3), полученную после снятия стружки.

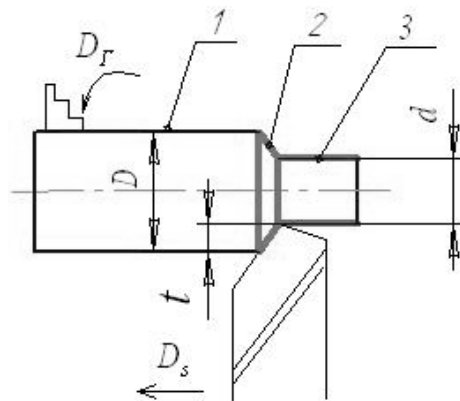


Рис. 5. Схема точения

Основными элементами, характеризующими процесс резания, являются скорость резания \mathcal{V} , подача s_m и глубина резания t .

Скоростью резания \mathcal{V} (м/мин) называют путь режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой заготовки в направлении главного движения за единицу времени. Скорость главного движения определяется по формуле:

$$\mathcal{V} = \pi D n / 1000; \quad (12)$$

где n -частота вращения заготовки, об/мин;

D – диаметр необработанной поверхности;

1000 -переводной коэффициент.

Подачей называется величина перемещения режущей кромки резца в направлении движения подачи в единицу времени (s_m , мм/мин) или за один оборот (s_o , мм/об). При точении различают подачи: продольную s_{np} , поперечную $s_{поп}$ и наклонную s_H - под углом к оси заготовки. Величина подачи в единицу времени s_m связана с подачей на оборот s_o следующей формулой:

$$s_m = s_o \cdot n \quad (13)$$

Глубиной резания (t) называется толщина снимаемого слоя металла, измеренная по перпендикуляру к обработанной поверхности детали, за один рабочий ход инструмента относительно обрабатываемой поверхности. При токарной обработке она подсчитывается как половина разности между диаметрами обрабатываемой (D) и обработанной поверхностями (d):

$$t = (D - d) / 2, \text{ мм}; \quad (14)$$

Время затраченное на обработку наружной цилиндрической поверхности (рис. 6), определяется по следующей формуле:

$$T = \frac{l + l_1 + l_2}{s_m} \quad (15)$$

где l – длина заготовки, мм;

l_1 – длина врезания, мм;

l_2 – длина перебега, мм.

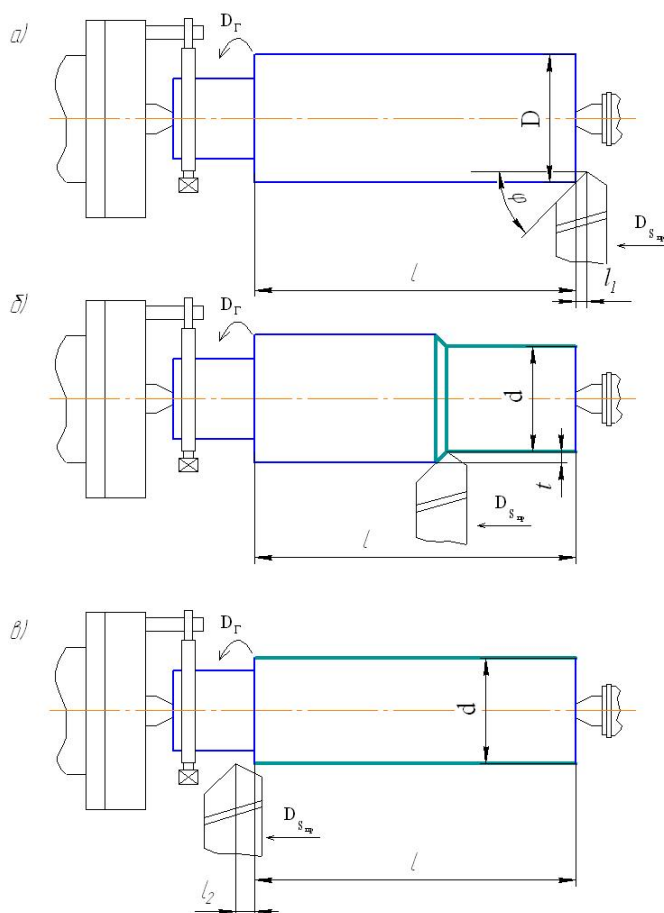


Рис. 6. Точение наружной цилиндрической поверхности: а- начальное положение резца, б - положение резца в процессе резания, в – конечное положение резца.

Длина врезания (рис. 6.а) рассчитывается по формуле:

$$l_1 = \frac{t}{\tan \varphi} + (0,5 \dots 3 \text{ мм}) \quad (16)$$

Длина перебега (рис.6.в) выбирается в зависимости от размеров заготовки из диапазона 1...3мм.

Виды токарных работ и режущий инструмент

Обтачивание наружной цилиндрической поверхности. При обтачивании наружной цилиндрической поверхности заготовки также, как и при всех других видах токарных работ, главное вращательное движение резания D_r совершает заготовка. Движение продольной подачи D_s выполняет инструмент, которым является токарный резец, перемещающийся вдоль оси заготовки. Для обтачивания применяют прямой проходной (рис. 7), отогнутый проходной (рис. 8) или проходной упорный резцы (рис. 9).

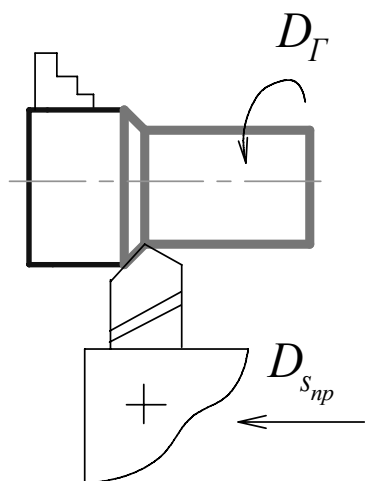


Рис. 7

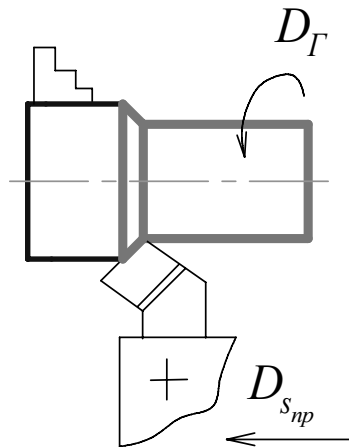


Рис. 8

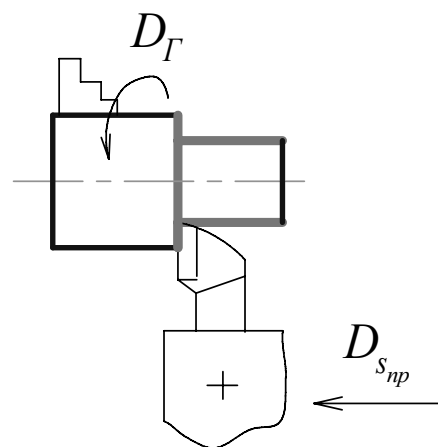


Рис. 9

Отогнутые резцы удобны при обтачивании поверхностей заготовок, находящихся около кулачков патрона. Проходные упорные резцы используются для точения небольших уступов на поверхности заготовки и обтачивания нежестких валов.

Подрезание торцов. Торцовые поверхности заготовки подрезают подрезными резцами (рис. 10), осуществляющими движение поперечной подачи $D_{s_{поп}}$. Часто для этих целей применяют и проходные отогнутые резцы, имеющие более массивную режущую часть по сравнению с подрезными резцами и допускающие более высокие режимы резания (рис. 11).

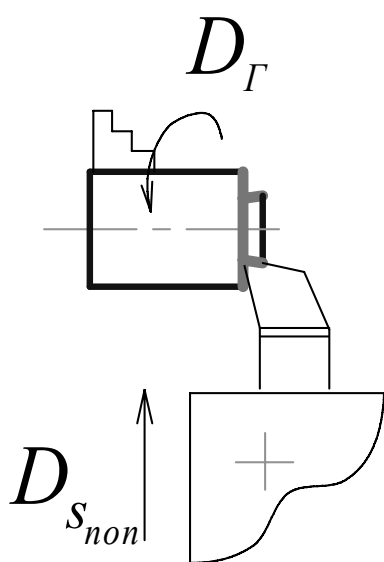


Рис. 10.

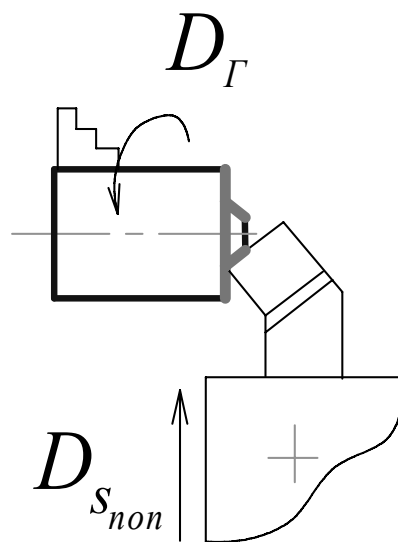


Рис. 11.

Торцовые поверхности подрезают, как правило, с движением подачи D_s резца от периферии к центру.

Точение наружных канавок и отрезание. Для точения канавок (рис. 12), а также отрезания (рис. 13) используют соответственно канавочные и отрезные резцы, осуществляющие при резании движение поперечной подачи $D_{s_{поп}}$. Точение узких канавок осуществляют за один рабочий ход резца, а широких — несколькими рабочими ходами, последовательно переставляя резец из одного положения в другое вдоль оси заготовки после точения резцом узкой канавки.

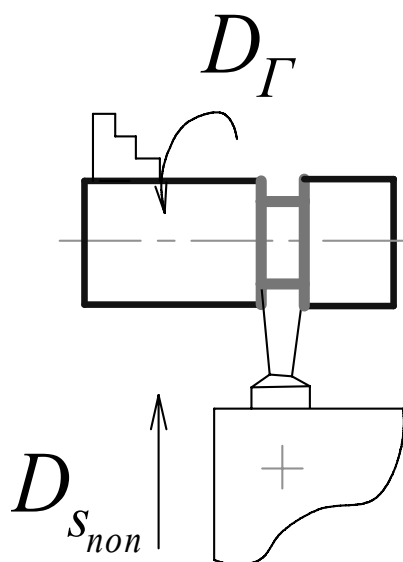


Рис. 12.

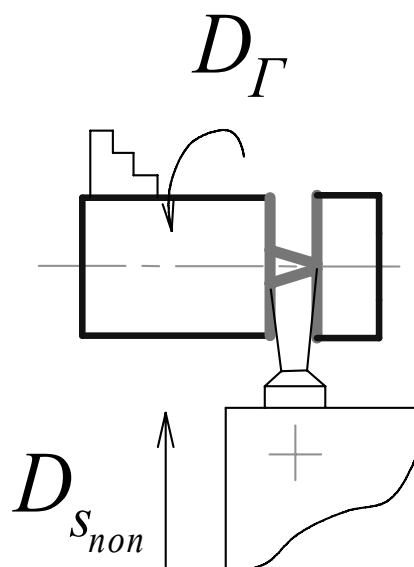


Рис. 13.

Резцы для точения канавок, а также отрезные резцы следует устанавливать строго по высоте центров станка. Это особенно важно при работе отрезными резцами. Расположение их выше или ниже оси центров может привести к поломке резца.

Точение фасонных поверхностей. К фасонным поверхностям, обрабатываемым на токарных станках, относят поверхности вращения, имеющие сложный наружный контур. Такие поверхности могут иметь, например, рукоятки различной формы, маховики с фасонными ободами, шаровые (сферические) и т. п. детали.

Фасонные поверхности можно получать фасонными резцами (рис. 14.), либо проходными резцами путем комбинирования продольного и поперечного движений подачи.

Токарный фасонный резец при движении с поперечной подачей $D_{сноп}$ снимает широкую стружку, а это может вызвать вибрацию обрабатываемой заготовки и резца. Поэтому этим методом выполняют точение фасонных по-

верхностей шириной до 40 мм с малыми подачами и пониженной скоростью резания.

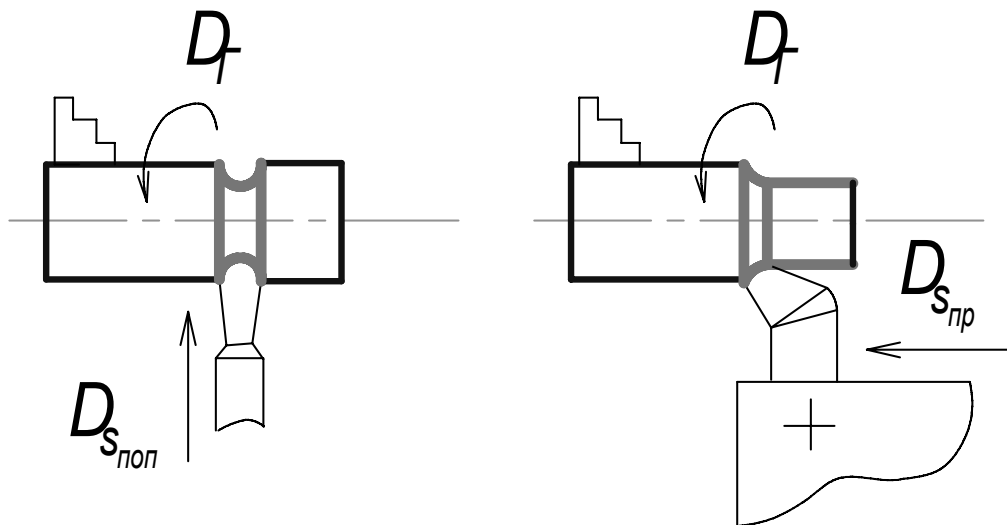


Рис. 14.

Обработка отверстий. Для обработки отверстий на токарных станках в качестве режущих инструментов применяют сверла, зенкеры и развертки, а также расточные резцы. Тот или иной инструмент выбирают в зависимости от вида заготовки, требуемой точности обработки, размеров и параметров шероховатости обработанной поверхности.

При сверлении отверстий на токарных станках заготовка, закрепленная в патроне, совершает вращательное движение D_r , а сверло, установленное в задней бабке станка, получает движение продольной подачи $D_{s_{пр}}$ вручную с помощью маховика (рис. 15.). Повышение точности просверленного отверстия достигают последующим зенкерованием, развертыванием или растачиванием отверстия.

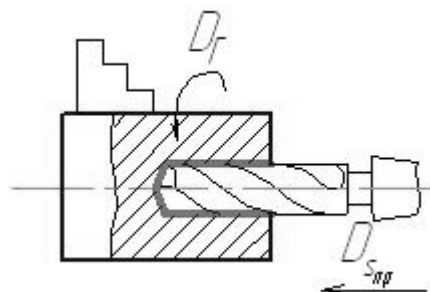


Рис. 15.

Растачивание отверстия (рис. 16, 17) — операция более сложная, чем обтачивание наружных поверхностей, так как размер поперечного сечения резца должен быть значительно меньше диаметра отверстия, а вылет резца из резцедержателя несколько больше длины растачиваемого отверстия. При

расточивании отверстия значительной длины возможен изгиб резца и сильные вибрации при высоких скоростях резания. В связи с этим растачивание отверстий на токарных станках с помощью расточных резцов применяют в тех случаях, когда диаметры отверстий большие или когда сверление и зенкерование не обеспечивают необходимой формы уступов обработанных поверхностей внутри отверстия.

Растачивание сквозных отверстий осуществляют проходными расточными резцами с движением продольной подачи $D_{сп}$ (рис. 16). Глухие и ступенчатые поверхности растачивают упорными расточными резцами (рис. 17). Для получения торцевой поверхности внутри отверстия расточному резцу в конце его продольного хода ($D_{сп}$) придают движение поперечной подачи ($D_{сноп}$).

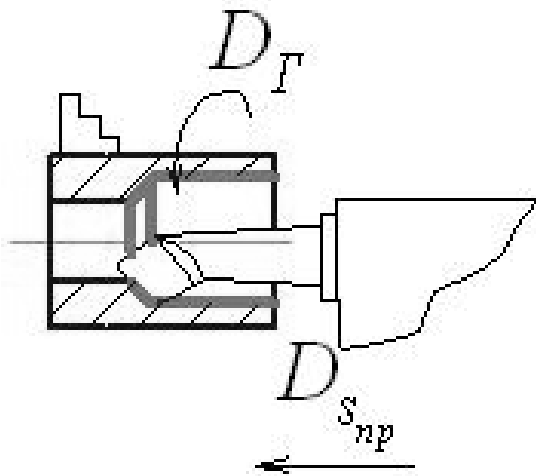


Рис. 16.

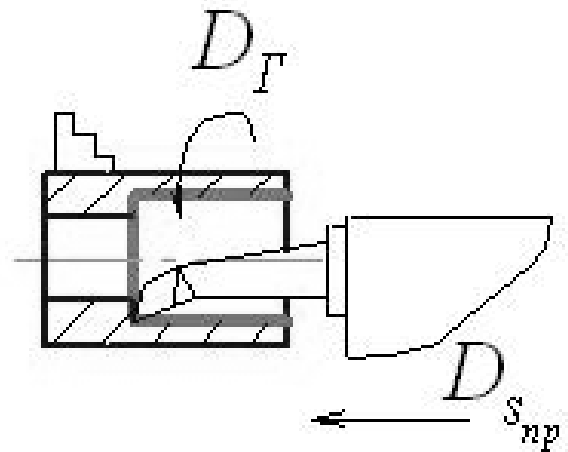


Рис. 17.

Нарезание резьбы. Наиболее распространенным способом нарезания резьбы (наружной и внутренней) на токарно-винторезных станках является нарезание резьбовыми резцами (рис. 18).

За каждый оборот заготовки резец должен получать продольное перемещение (подачу), равное шагу резьбы, т. е. скорость продольного перемещения резца точно увязывается с шагом нарезаемой резьбы и частотой вращения заготовки.

При нарезании на токарных станках наружной резьбы небольших размеров используют плашки, а для внутренней — метчики. Шаг нарезанной на заготовке резьбы при этом получается такой же, как у резьбового инструмента.

Станина 2 служит для монтажа на ней всех основных узлов и частей станка. Она снабжена направляющими для продольного перемещения суппорта 10 и задней бабки 11.

Передняя бабка 6 предназначена для размещения в ней коробки скоростей 5, с помощью которой изменяют частоту и направление вращения шпинделя 14. На правый конец шпинделя, являющегося пустотелым валом, устанавливают различные приспособления для закрепления заготовки. На рис. 5 таким приспособлением является трехкулачковый самоцентрирующий патрон.

Продольный суппорт 10, установленный на направляющих станины, перемещается по ним и обеспечивает подачу резца вдоль оси заготовки (D_{snp}). По направляющим продольного суппорта перпендикулярно оси вращения заготовки перемещаются поперечные салазки 7 (D_{snon}) на которых смонтирован верхний суппорт 9 и четырехпозиционный поворотный резцедержатель 8. В резцедержателе устанавливают и закрепляют резцы, которым вместе с суппортом сообщают движения продольной и (или) поперечное подач. Установку резца в резцедержатели осуществляют при помощи специальных металлических подкладок строго на уровне оси центров станка. В том случае если резец установлен не на уровне оси центров изменяется геометрия режущего инструмента, что может привести к его повышенному износу и поломке.

К продольному суппорту крепят фартук 10 станка. В фартуке смонтированы механизмы и передачи, преобразующие вращательное движение ходового винта 14 и ходового вала 13 в поступательное перемещение продольного суппорта и поперечных салазок.

Коробка подач 3 предназначена для изменения скоростей продольного и поперечного движений подачи суппорта, с которым она соединена с помощью ходового винта 14 и ходового вала 13. Передачу вращательного движение выходного вала коробки подач к механизмам суппорта через ходовой винт используют только при нарезании резьбы. Для выполнения всех других видов токарных работ движение от коробки подач к суппорту поступает через ходовой вал.

Гитара сменных зубчатых колес 4 является звеном передачи движения от шпинделя станка к коробке подач и настраивается при нарезании точных и нестандартных резьб. Заменяя одни зубчатые колеса гитары другими, можно получить любую подачу суппорта.

Заднюю бабку 11 применяют для создания дополнительной опоры заготовки при изготовлении длинных деталей, а также для закрепления сверл, зенкеров, разверток, метчиков и плашек и сообщения им движения подачи.

Механизм быстрого перемещения 13 используют для сокращения непроизводительных затрат времени на вспомогательные передвижения суппорта. Механизм состоит из электродвигателя, вмонтированного в заднюю стойку станины, и клиноременной передачи, с помощью которой передаются вращение на ходовой вал.

Последовательность выполнения работы

1. Изучите виды токарных работ, режущий инструмент и приспособления для закрепления заготовки. Ознакомьтесь с этими элементами технологической системы по демонстрационным стендам.

2. Изучите устройство и назначение токарно–винторезного станка модели 16К20.

3. Проследите за выполнением на станке учебным мастером следующих токарных работ: точение, подрезание, сверление, нарезание резьбы, отрезание заготовки.

4. Получите индивидуальное задание для самостоятельной работы (табл. 4) по разработке последовательности переходов токарной обработки и выбору инструмента для заданного установа. Выполните перечисленные далее действия.

4.1. Перерисуйте чертеж детали в отчет и обозначьте на чертеже обрабатываемые поверхности арабскими цифрами.

Примечание: Обрабатываемые поверхности выделите на чертеже детали утолщенными линиями.

4.2. Для каждой из обрабатываемых поверхностей выберите режущий инструмент.

4.3. Выполните расчеты, необходимые для наладки станка на обработку цилиндрической поверхности. Рассчитайте режимы резания n , s_0 , t , используя формулы (12, 13, 14), округлите полученные значения n , s_0 до станочных значений $n_{ст}$, $s_{ост}$ указанных в приложении. Опишите процесс наладки станка для обработки цилиндрической поверхности.

4.4. Нарисуйте технологические эскизы обработки заготовки и каждого перехода в отдельности с указанием на них режущих инструментов и рабочих движений резания.

Таблица 4

Индивидуальные задания

№ п/п	Эскиз детали	Размеры детали, мм						Элементы режима реза- ния для раз- мера d	
		L	l_1	l_2	d	d_1	d_2	s_o мм/об	ϑ , м/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		50	28	30	40	38	42	21	70
2		50	26	28	38	36	40	25	75
3		50	24	26	36	34	38	26	80
4		50	26	30	34	32	36	27	85
5		50	24	30	32	30	34	28	90
6		60	28	30	50	48	52	29	95
7		60	26	28	48	46	50	30	100
8		60	24	26	46	44	48	31	105
9		60	26	30	44	42	46	32	110
10		60	24	30	42	40	44	33	115
11		50	28	32	40	42	44	35	70
12		50	26	30	38	40	42	36	75
13		50	24	28	36	38	40	37	80
14		50	26	30	34	36	38	38	85
15		50	24	28	32	34	36	39	90
16		60	28	30	50	52	54	40	95
17		60	26	28	48	50	52	41	100
18		60	24	26	46	48	50	42	105
19		60	26	30	44	46	48	43	110
20		60	24	30	42	44	46	44	115
21		50	28	32	40	20	42	45	70
22		50	26	30	38	18	40	46	75
23		50	24	28	36	16	38	47	80
24		50	26	30	34	14	36	48	85
25		50	24	28	32	14	34	49	90
26		60	28	30	50	20	52	50	95
27		60	26	28	48	18	50	51	100
28		60	24	26	46	16	48	52	105
29		60	26	30	44	14	46	53	110
30		60	24	30	42	14	44	54	115

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31		50	15	10	22	20	30	55	70
32		50	15	10	20	18	30	56	75
33		50	20	15	24	22	30	57	80
34		50	20	15	26	24	36	58	85
35		50	18	10	22	20	30	59	90
36		60	18	8	20	18	30	60	95
37		60	20	12	24	22	30	61	100
38		60	20	12	26	24	36	62	105
39		60	22	14	24	22	30	63	110
40		60	22	14	26	24	36	64	115

Содержание отчета

1. Наименование и модель станка;
2. Основные узлы токарно-винторезного станка;
3. Рабочие движения на токарном станке (табл. 5.);

Таблица 5

Рабочие движения на станке

Движущийся узел	Название движения	Характер движения	Размерность движения

4. Условия правильной установки резца на станке;
5. Номер, формулировка, исходные данные индивидуального задания, а так же п. 4.1-4.4 раздела "последовательность выполнения работы".

3 . ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ НА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ

Цель работы: знания видов фрезерных работ, устройства и назначения вертикально-фрезерного станка, режущего инструмента, применяемого для фрезерных работ, умения выполнять расчеты параметров режима резания.

Общие сведения об обработке заготовок методом фрезерования

Фрезерование является одним из распространенных технологических методов обработки резанием плоских и фасонных поверхностей, прямых и винтовых канавок, сложных поверхностей типа "зубья зубчатых колес", "штицы", "шпоночные канавки" и пр. При этом обеспечивается точность размеров не выше 9...10 качества и шероховатость поверхности с парамет-

рами $Ra = 2,5...200$ мкм. Фрезерование выполняют на фрезерных станках многолезвийным режущим инструментом - фрезами.

Сущность процесса обработки на фрезерных станках и элементы режима резания

Технологический метод формообразования поверхностей фрезерованием характеризуется главным вращательным движением инструмента и обычно поступательным движением подачи заготовки (рис. 20).

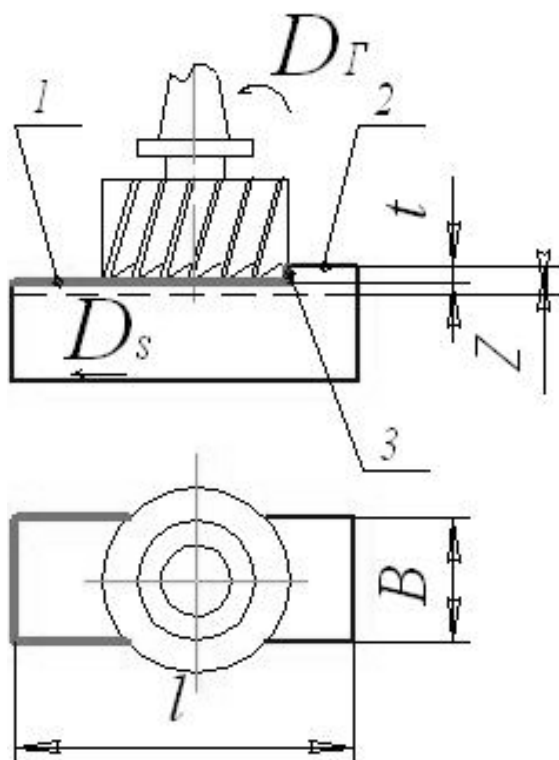


Рис. 20

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.

Установка режима резания на станке осуществляется по заданным параметрам элементов режима резания: скорости

главного движения резания \mathcal{Q} , м/мин; величины подачи заготовки s_m , мм/мин; глубины резания t , мм.

На основе заданной или выбранной по справочнику скорости главного движения резания необходимо рассчитать частоту вращения шпинделя n (об/мин) по формуле:

$$n = 1000 \mathcal{Q} / \pi D_{фр} \quad (17)$$

где $D_{фр}$ - диаметр фрезы, мм.

Полученное значение расчетной частоты вращения шпинделя следует округлить до ближайшей меньшей станочной частоты $n_{ст} \leq n$ в соответствии с приложением.

При фрезеровании различают три вида подач: минутную подачу s_m (мм/мин) - величина перемещений стола с заготовкой за минуту; подача на оборот s_o (мм/об) - величина перемещения стола с заготовкой за время поворота

фрезы на один оборот; подача на зуб s_z (мм/зуб), которая равна перемещению стола с заготовкой за время поворота фрезы на угловой шаг зубьев. Минутная подача рассчитывается по формуле:

$$S_M = S_o \cdot n_{cm} = S_z \cdot Z \cdot n_{cm} \quad (18)$$

где Z - число зубьев фрезы.

Полученное расчетом по формуле (17) значение минутной подачи s_M округляется до ближайшей меньшей станочной величины подачи указанной в приложении.

Глубина резания t мм - это слой материала, снимаемый фрезой за один проход фрезы.

Основное время при фрезеровании плоскости торцевой фрезой (рис. 21) определяется по следующей формуле:

$$T = \frac{l + l_1 + l_2}{s_M} \quad (19)$$

где l - длина заготовки;

l_1 - длина врезания;

l_2 - длина перебега.

Длина врезания рассчитывается по формуле:

$$l_1 = 0,5 \left(D_{фр} - \sqrt{D_{фр}^2 - B^2} \right) + (0,5 \dots 3 \text{ мм}) \quad (20)$$

где $D_{фр}$ - диаметр фрезы;

B - ширина фрезерования.

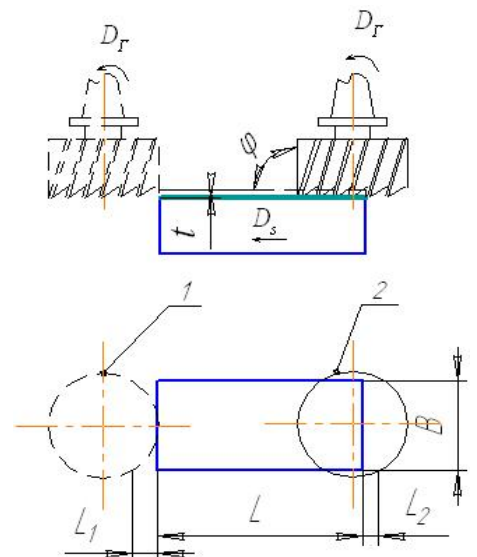
Длина перебега рассчитывается по формуле:

$$l_2 = 0,5 \left(D_{фр} - \sqrt{D_{фр}^2 - B^2} \right) - \frac{t}{\tan(\Psi)} + (0,5 \dots 3 \text{ мм}) \quad (21)$$

где Ψ - центральный угол, соответствующий дуге контакта фрезы с заготовкой.

Центральный угол рассчитывается по формуле:

$$\Psi = 2 \arcsin \left(\frac{B}{D} \right) \quad (22)$$



Виды фрезерных работ и типы фрез

Фрезерование плоскостей. При фрезеровании плоских поверхностей на заготовке также, как и при всех других видах фрезерных работ, главное вращательное движение резания D_r придают фрезе. Движение подачи D_s выполняет заготовка, перемещающаяся относительно фрезы.

Фрезерованием можно осуществлять обработку горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей (рис. 22, *а, в, г, д* и др.).

Для обработки горизонтальных плоскостей в качестве режущего инструмента чаще всего используют цилиндрические и торцовые фрезы. Схемы обработки таких поверхностей представлены соответственно на рис. 22, *а, б*.

Цилиндрическими фрезами обрабатывают поверхности шириной до 180 мм. Обработка поверхностей торцовыми фрезами, как правило, производительнее обработки цилиндрическими фрезами, так как при торцовом фрезеровании в резании участвует большее число зубьев. Жесткость закрепления торцовой фрезы также более высокая, что позволяет применять более производительные режимы резания. Торцовыми фрезами обрабатывают плоскости шириной до 2 м.

Вертикально расположенные плоскости фрезеруют торцовыми и концевыми фрезами в соответствии со схемами, приведенными на рис. 22, *в, г*. Концевые фрезы изготавливают диаметром до 80 мм.

Фрезерование наклонных плоскостей выполняют торцовыми, концевыми и угловыми фрезами (рис. 22, *д, е, ж*). При фрезеровании поверхностей этого типа торцовой или концевой фрезой требуется повернуть фрезу на угол наклона плоскости или наоборот – обеспечить соответствующий угол поворота заготовки.

Фрезерование фасонных поверхностей. Для обеспечения удобства фрезерования в чертежах деталей чаще всего предусматривают наличие фасонных поверхностей открытого типа, образующими которых являются прямые линии. Фрезерование фасонной поверхности представляет большие сложности, чем обработка плоскости, так как для этого необходима специально изготовленная фасонная фреза. Профиль такой фрезы в поперечном сечении соответствует фасонному профилю изготавливаемой детали (рис. 22, *и, у*).

Разрезание. Разрезание заготовки осуществляют дисковыми отрезными фрезами в соответствии со схемой, представленной на рис. 22, к. Заготовку при отрезных работах закрепляют в тисках так, чтобы фреза располагалась как можно ближе к губке тисков, но не задевала бы за нее. Изготавливают отрезные фрезы шириной до 28 мм.

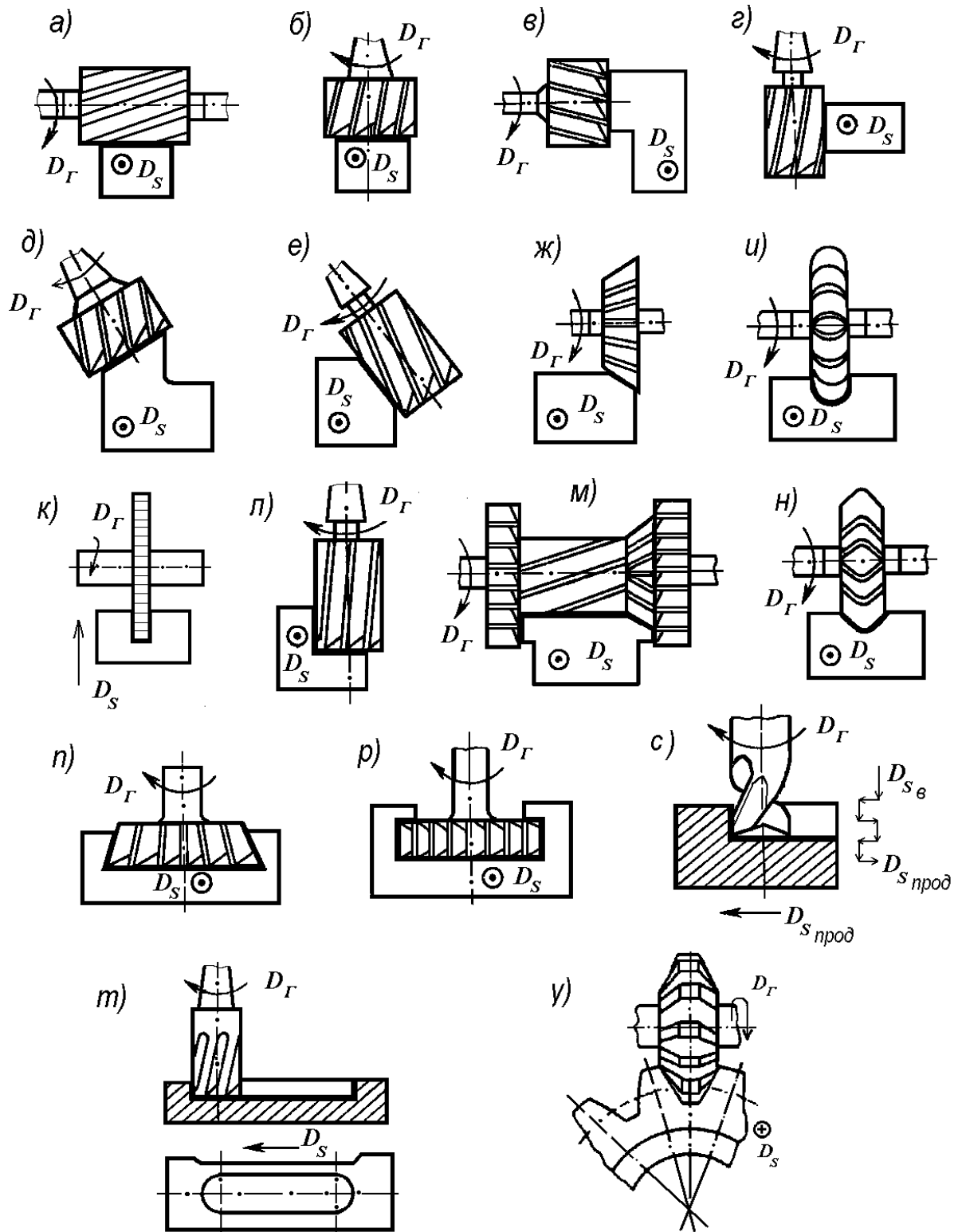


Рис. 22. Схемы фрезерования поверхностей

Фрезерование модулей поверхностей. Модулем поверхностей называют сочетание нескольких поверхностей на детали, возможно разного вида, предназначенных для выполнения определенной служебной функции. К модулям поверхностей относят уступы, пазы различной формы, сложные фасонные поверхности типа пазов зубчатых колес, шлицевые и более сложные поверхности.

На рис. 22, *л* представлена схема фрезерования уступа на заготовке концевой фрезой. Этим способом получают уступы небольших размеров. Модули поверхностей такого типа можно обработать и дисковыми фрезами.

Модуль поверхностей, представляющий сочетание поверхностей с линейными образующими, рационально фрезеровать набором фрез по схеме, данной на рис. 22, *м*.

Фрезерование прямолинейных и винтовых пазов и канавок осуществляют дисковыми и концевыми фрезами в соответствии со схемами, представленными на рис. 22, *и, н, с*. Пазы и канавки целесообразнее фрезеровать дисковыми фрезами, так как они имеют большее число зубьев, чем концевые, а потому обеспечивают работу с большими скоростями резания и подачами. При этом фасонные пазы фрезеруют фасонными дисковыми фрезами. Концевые фрезы по отношению к дисковым фрезам характеризуются также и меньшей жесткостью. В то же время этими инструментами можно фрезеровать пазы шириной до 50 мм. Особенно эффективно применение концевых фрез при обработке пазов в труднодоступных местах и на заготовках, изготовленных из вязких материалов.

Пазы типа «ласточкин хвост» (рис. 22, *п*) фрезеруют за два перехода. При первом переходе фрезеруют паз прямоугольной формы концевой фрезой с оставлением припуска на дальнейшую обработку. На втором переходе используют специальную фрезу, которая обеспечивает формирование паза типа «ласточкин хвост» в соответствии со схемой, представленной на рис. 22, *п*. Этот же принцип используется и при изготовлении Т-образных пазов (рис. 22, *р*).

Точные по размерам и расположению на детали шпоночные пазы фрезеруют специальными шпоночными фрезами за несколько рабочих ходов в соответствии со схемой, представленной на рис. 22, *т*. При этом способе заготовке придают вертикальное движение подачи в направлении фрезы D_s , что обеспечивает врезание фрезы в заготовку на 0,1–0,3 мм, а затем движени-

ем продольной подачи $D_{s\text{ пр}}$ фрезеруют паз на всю длину. Дальнейшую обработку осуществляют аналогичными циклами до достижения заданной глубины паза. Шпоночные пазы невысокой точности можно фрезеровать с помощью концевых фрез в соответствии со схемой, представленной на рис. 22, с.

Одним из распространенных и сложных видов фрезерования является изготовление зубьев зубчатых колес. Выполняется эта операция различными способами, схема одного из которых представлена на рис. 22, у. В качестве инструмента при обработке по данной схеме используют дисковую модульную фрезу, профиль которой в поперечном сечении соответствует профилю впадины венца зубчатого колеса. В связи с этим данный метод получил название метода копирования.

После фрезерования первой впадины заготовку поворачивают на угол, соответствующий угловому шагу одного зуба, и фрезеруют вторую впадину. Таким способом последовательно изготавливают весь зубчатый венец.

Устройство и назначение вертикально-фрезерного станка модели 6Т10

В вертикально-фрезерном станке ось фрезы расположена в вертикальной плоскости. Общий вид станка представлен на рис. 23.

Основные части и узлы станка: фундаментная плита 1, станина 2, коробка скоростей 3, шпиндельная головка 4, шпиндель 5, консоль 8, стол 6, поперечные салазки 7, коробка подач 9 и электродвигатель 10.

Фундаментная плита является основанием станка и служит для крепления его к фундаменту. Станина 2 предназначена для монтажа на ней всех узлов станка.

На станке имеется поворотная шпиндельная головка 4, которая может устанавливаться под любым углом до 45° к вертикали определяемому по шкале нанесенной на станину станка.

Коробка скоростей 3 представляет собой систему валов, зубчатых колес и подшипников, при помощи которых вращение от электродвигателя 10 передается на ее основной вал- шпиндель 5 (D_{Γ}) расположенного в поворотной шпиндельной головке. При помощи рукояток коробки скоростей 3 можно включать отдельные пары зубчатых колес и сообщать шпинделю станка различную частоту вращения.

По направляющим станины в вертикальном направлении может перемещаться консоль 8 (D_{se}), внутри которой расположена коробка подач 9, позволяющая устанавливать заданное значение скорости перемещения заготов-

ки. На горизонтальных направляющих консоли расположены поперечные салазки 7 (D_{sn}), на которых расположен продольный стол 6.

Стол 6 предназначен для установки и крепления на нем приспособления и обрабатываемой заготовки. Столу во время фрезерования сообщается движение перпендикулярное к оси вращения фрезы ($D_{сп}$).

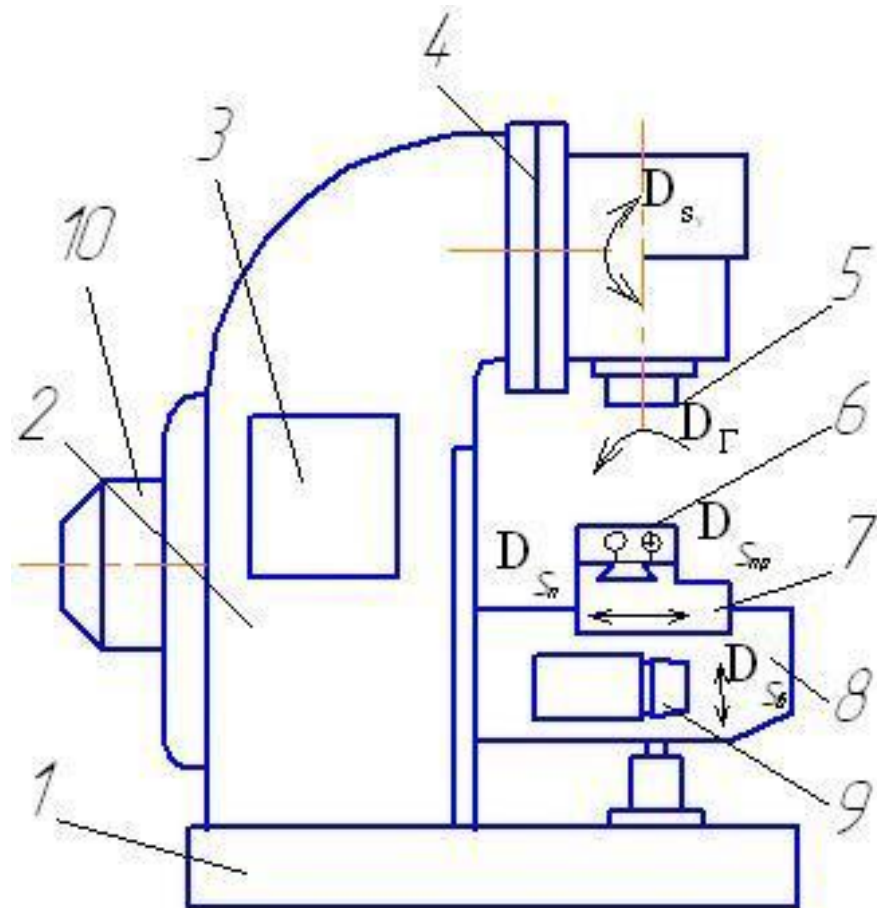


Рис. 23. Основные узлы вертикально-фрезерного станка модели 6Т10

Последовательность выполнения работы

1. Изучите виды фрезерных работ, режущий инструмент и устройство фрезерного станка. Ознакомьтесь с элементами технологической системы по демонстрационным стендам.

2. Изучите устройство и назначение универсального вертикально-фрезерного станка модели 6Т10.

3. Проследите за выполнением на станке учебным мастером работ по фрезерованию плоскостей и уступов.

4. Получите индивидуальное задание для самостоятельной работы

(табл. 6) по разработке последовательности и схем торцевого фрезерования и выбору инструмента.

Выполните перечисленные далее действия.

4.1. Учитывая, что диаметр фрезы должен быть на 20% больше ширины фрезерования, определите диаметр и количество зубьев фрезы по таблице 7.

4.2. Определите глубину фрезерования t , при черновой и чистовой обработки. При черновой обработки необходимо снять – 80% от припуска Z , а при чистовой оставшиеся 20%.

4.3. Определите величину минутной подачи s_m по формуле (18) и округлите ее до ближайшей меньшей подачи s_{mct} , имеющейся на станке (см. приложение).

4.4. Расчет по формуле (17) определите частоту вращения шпинделя n станка и округлите ее до ближайшей меньшей частоты n_{cm} , имеющейся на станке (см приложение).

4.5. Начертите схему торцевого фрезерования с указанием припуска, ширины и длины фрезерования. На эскизе изготавливаемые поверхности детали выделите утолщенными линиями.

Таблица 6.

Индивидуальные задания

№ п/п	Длина фрезерования ℓ , мм	Ширина фрезерования B , мм	Припуск Z , мм	Подача s_z , мм/зуб	Скорость фрезерования \mathcal{Q} , м/мин
1	2	3	4	5	6
1	150	50	3	0,01	50
2	200	80	3,5	0,02	100
3	160	60	2,5	0,01	120
4	180	68	3	0,015	150
5	185	100	4	0,02	110
6	200	56	2,8	0,03	160
7	210	65	3	0,036	155
8	165	78	3,2	0,034	160
9	162	74	3,4	0,035	162
10	152	72	2,8	0,025	170
11	220	50	4	0,01	50
12	225	80	2,5	0,02	100
13	230	60	3	0,01	120

14	235	68	3,5	0,015	150
15	240	100	1	0,02	110
16	245	56	2,5	0,03	160
17	180	50	3	0,036	155
18	192	68	3,2	0,034	160
19	202	72	3,4	0,035	162
1	2	3	4	5	6
20	105	62	2,8	0,025	170
21	104	65	3	0,01	50
22	144	83	3,5	0,02	100
23	155	55	2,5	0,01	120
24	240	100	1	0,1	100
25	245	56	2,5	0.15	70
26	180	50	3	0.05	200
27	192	68	3,2	0.06	150
28	202	72	3,4	0.07	160
29	105	62	2,8	0.08	167
30	104	65	3	0.09	170
31	144	83	3,5	0.1	110
32	155	55	2,5	0.11	115
33	240	100	1	0.12	125
34	245	56	2,5	0.13	130
35	180	50	3	0.14	135

Таблица 7.

Параметры торцовых фрез

№ п/п	Диаметр фрезы D , мм	Количество зубьев фре- зы z , мм
1	63	4
2	80	5
3	100	6
4	125	6
5	160	8

Содержание отчета

1. Наименование и модель станка;
2. Основные узлы станка;
3. Рабочие движения на станке (табл. 8);

Рабочие движения на станке

Движущийся узел	Название движения	Характер движения	Размерность движения

4. Схема закрепления фрез в шпинделе станка;
5. Номер, формулировка, исходные данные индивидуального задания, а так же п. 4.1-4.5 раздела “последовательность выполнения работы”.

4. ОБРАБОТКА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ СТАНКЕ

Цель работы: изучение назначения и устройства электроискрового станка модели 183 и определение точности размеров отверстий после электроискрового прошивания.

Общие сведения об электроискровой обработке

Электроискровая обработка (ЭИСО) профилированным электродом - инструментом (ЭИ) является одним из методов электроэрозионной обработки (ЭЭО), осуществляемой в жидкой диэлектрической среде (рабочей жидкости - РЖ) под воздействием импульсов электрического тока. При электроискровом прошивании импульсы рабочего напряжения создаются внешним генератором импульсов. При электроискровом прошивании (ЭИСПр) применяют прямую полярность: ЭИ - катод, электрод - заготовка (ЭЗ) - анод. ЭИ имеет форму, обратную требуемому контуру на детали.

Физическая сущность электроэрозионной обработки

Электроэрозионная обработка основана на разрушении (эрозии) токопроводящих материалов под действием электрических импульсных разрядов, создаваемых между электродом инструментом и электродом заготовкой. Разряд возникает, когда напряжение между сближенными участками достигает значения достаточного для пробоя межэлектродного промежутка. Через узкий канал пробоя за время $10^{-4} \dots 10^{-8}$ с проходит ток, плотность которого достигает $8 \dots 10$ кА/мм². Температура на локальном участке электрода-заготовки мгновенно возрастает до 10000°C и выше, что приводит к частичному оплавлению и испарению микрообъема обрабатываемого материала, а на поверх-

ности заготовки образуется лунка. Удаляемый металл застывает в диэлектрической среде в виде сферических гранул (продукты эрозии) диаметром 0,01...0,005мм. Продукты эрозии удаляются из зоны обработки движением жидкости, вызванного явлением кавитации. Кавитацией называется процесс образования и захлопывания газовых пузырей в жидкости, сопровождающийся гидравлическими ударами.

Как правило, электрический пробой происходит по кратчайшему пути, и, прежде всего, разрушаются наиболее близко расположенные участки электродов. Для непрерывного протекания процесса необходимо поддерживать постоянное расстояние между электродами заготовкой и инструментом.

Объемная производительность процесса электроискрового прошивания рассчитывается по формуле:

(23)

где $V_{ум}$ – объем удаленного материала, м³;

τ_0 – время затраченное на обработку, мин.

Технологические возможности метода электроискрового прошивания

Электроискровую обработку применяют для обработки заготовок из всех токопроводящих материалов, в том числе и для труднообрабатываемых резанием. Целесообразно применять ЭИСО для обработки деталей сложного профиля, таких, как штампы, фильеры, пресс-формы, фасонные резцы, копиры, сетки, а так же для изготовления криволинейных и соединительных каналов в деталях и т.д.

При электроискровом прошивании на точность изготовления наибольшее влияние оказывают:

- точность изготовления электрода-инструмента;
- износ электрода-инструмента вследствие эрозии.
- точность установки и закрепления ЭИ в электрододержателе и другие.

Точность выполненных размеров деталей достигает 6...9 качества, шероховатость обработанной поверхности $R_z = 10...20$ мкм.

Инструмент, применяемый при электроискровой обработке

При электроискровой обработке используются электроды-инструменты из следующих материалов, обладающих высокой теплопроводностью и низким электрическим сопротивлением: углеграфитовые, медные, латунные, из алюминиевых сплавов и других материалов.

В процессе электроискрового прошивания форма и размеры электрода-инструмента изменяются из-за износа. Окончательный профиль отверстия формируется неизношенным участком электрода-инструмента, последний перемещают до тех пор, пока не прекратятся боковые разряды и не сформируются заданные размеры и форма деталей.

При прошивании глубокого отверстия заданная точность достигается за счет последующей обработки новым электродом-инструментом.

При ЭИСПр отверстий в заготовке постоянного сечения диаметр ЭИ определяют исходя из размеров отверстия детали:

$$D_{эи} = D_{ном} - 2 \cdot \delta_о; \quad (24)$$

где: $D_{эи}$ - диаметр электрода-инструмента, мм;

$D_{ном}$ - заданный по чертежу диаметр отверстия в детали, мм;

$\delta_о$ - боковой межэлектродный зазор, между электродом-инструментом и электродом-заготовкой (табл. 9).

В случае последующей технологической операции после ЭИСПр формула (24) примет вид:

$$D_{эи} = D_{ном} - 2 \cdot (\delta_о + Z); \quad (25)$$

где: Z - припуск на последующую обработку, мм.

Устройство и принцип работы станка

Электроискровой станок модели 183 предназначен для получения полостей и отверстий в заготовках из токопроводящих материалов, а так же можно выполнять операции разрезания, прорезания пазов и другие. Максимальные размеры обрабатываемых на данном станке заготовок: высота - 140 мм; ширина - 450 мм; длина - 680 мм.

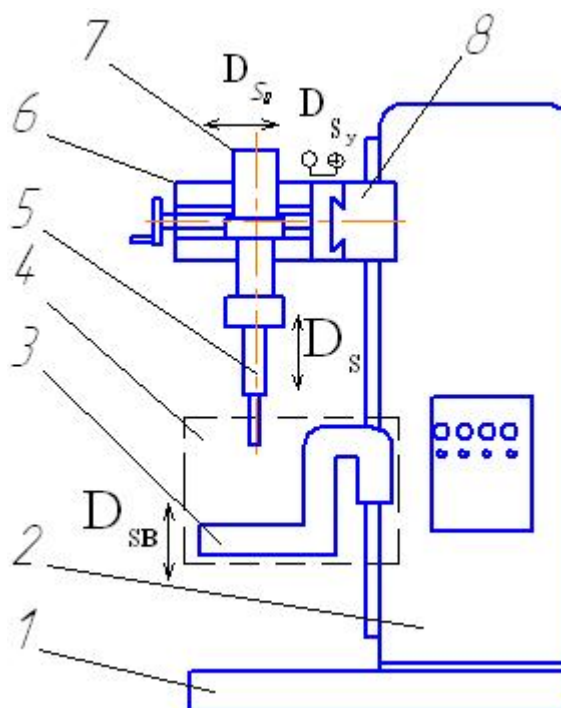


Рис. 24. Устройство копировально-прошивочного станка модели 183

Устройство электроискрового прошивочного станка модели 183 приведено на рис. 24. Все механизмы, приводы и система управления станком размещены на стойке 2, которая закреплена на основании 1. По направляющим стойки перемещаются вертикальные салазки 3, на которых закреплена рама с ванной 4. Обрабатываемая заготовка находится на столе, установленном на неподвижном кронштейне, изолированном от него. Установочные движения электрода инструмента осуществляются с помощью рукояток расположенных на траверсе 8, продольных салазках 6 и каретки с электродвигателем 7. Управление станком производится с пульта. Постоянство межэлектродного зазора обеспечивается приводом подачи 7.

Последовательность выполнения работ.

1. Изучить назначение, устройство и технологические возможности электроискрового станка модели 183.
2. Проследить за работой мастера по прошивке отверстий в заготовки при различных режимах. Записать условия проведения эксперимента в таблицу 9.
3. Выполнить по три измерения штангенциркулем диаметра детали после электроискрового прошивания при входе и после выхода электрода - инструмента; определить их среднее значение и данные записать в табл. 10.

4. Рассчитать объемную производительность электроискровой обработки по формуле (23).

5. Выполните индивидуальное задание (табл. 11).

Содержание отчета

1. Название работы.

2. Чертеж обрабатываемой детали.

3. Техническая характеристика электроискрового станка 183: модель, назначение, достижимые качества точности и параметры шероховатости обработанных поверхностей, основные части станка.

4. Условия электроискрового прошивания (табл. 9).

5. Результаты экспериментов (табл. 10).

6. Номер, формулировка и исходные данные индивидуального задания (табл. 11).

Индивидуальное задание: “Выбрать режим и рассчитать размеры электрода-инструмента”

6.1. Вычертить схему электроискровой обработки

6.2. Выбрать номер режима работы электроискрового станка. Определить суммарную емкость конденсаторов и силу тока используя таблицу 9.

6.3. Определить, используя данные таблицы 9 и формулы (24,25) размеры электрода-инструмента.

6.4. Эскиз используемого для обработки электрода-инструмента.

7. Выводы

Таблица 9

Условия электроискрового прошивания отверстия на станке модели 183

№ п/п	Деталь			Электрод инструмент		Межэлектродный зазор δ_0 , мм	Режимы обработки		Шероховатость поверхности Ra , мкм
	Материал	Размеры		Материал	Расчетный диаметр, $D_{эл}$, мм		I_l , А	C_l , мкФ	
		Диаметр отверстия D , мм	Длина l , мм						
1						0,05	2	4,5	1,25
2						0,07	5	12	2,5
3						0,1	12	90	3,2
4						0,15	18	210	6,3

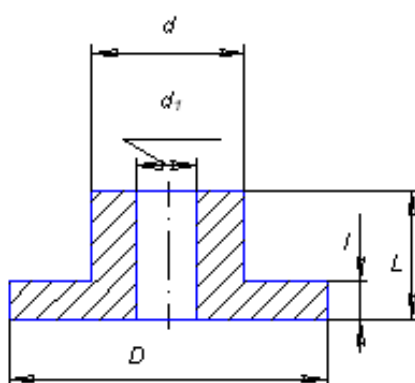
5						0,2	38	317	12,5
---	--	--	--	--	--	-----	----	-----	------

Таблица 10.

Результаты эксперимента

№ п/п	Время об- работки, τ , мин	Диаметры отверстий после обработ- ки D , мм								Объем уда- ленного ме- талла V , мм ³	Произво- дитель- ность P_v , мм ³ /мин	Заключение о годности
		На входе ЭИ вх, мм				На выходе ЭИ вых, мм						
		D_1	D_2	D_3	D_{cp}	D_1	D_2	D_3	D_{cp}			
1												
....												
5												

Индивидуальное задание



№ п/п	Шероховатость отверстия	Размеры детали, мм				
	Ra , мкм	D	d	d_1	L	l
1	1,25	30	18	10	20	5
2	2,5					
3	3,2					
4	6,3					
5	12,5					
6	1,25	32	20	12	25	10
7	2,5					
8	3,2					
9	6,3					
10	12,5					
11	1,25	25	15	5	15	5
12	2,5					
13	3,2					
14	6,3					
15	12,5					
16	1,25	25	15	8	20	8
17	2,5					
18	3,2					
19	6,3					
20	12,5					
21	1,25	28	20	7	25	6
22	2,5					
23	3,2					
24	6,3					
25	12,5					
26	1,25	34	22	9	25	8
27	2,5					
28	3,2					
29	6,3					

6. ОБРАБОТКА НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ СТАНКЕ МОДЕЛИ СНЭ-20МК

Цель работы: изучение назначения и устройства электрохимического станка модели СНЭ-20МК, умение рассчитывать состав электролита и осуществлять наладку электрохимического станка модели СНЭ-20МК, а так же определять производительность электрохимической обработки.

Общие сведения

Технология размерной электрохимической обработки металлов достаточно хорошо известна в России и в промышленно развитых странах, где используется, как правило, в оборонных отраслях промышленности, имеющих высококвалифицированный обслуживающий персонал. Данный способ обработки может использоваться для изготовления рельефных шкал, таблиц, фирменных знаков; для получения на металле сложных изображений.

Физическая сущность технологии состоит в локальном анодном растворении заготовки под воздействием постоянного тока большой плотности в проточном электролите.

Инструмент, являющийся катодом, зеркально копируется на поверхность изделия, которое является анодом.

Интенсивность анодного растворения описывается первым законом Фарадея:

(26)

где $k_{эx}$ - электрохимический эквивалент материала анода; I – сила тока; τ – время протекания процесса; m – масса металла растворенного на аноде.

На практике масса m оказывается меньше рассчитанной по закону Фарадея. Эти потери учитываются введением в формулу коэффициента k_η , называемого выходом по току. Поэтому фактическую массу металла растворенного на аноде, рассчитывают по формуле:

(27)

На выход по току влияет большое число факторов, поэтому найти его значение теоретическим путем не удастся. Поэтому на практике k_η определяют экспериментально через отношение:

(28)

где ρ_m – плотность материала анода, кг/м³; S – площадь анода, подлежащая травлению, м²; Δh – толщина слоя растворенного на аноде, м.

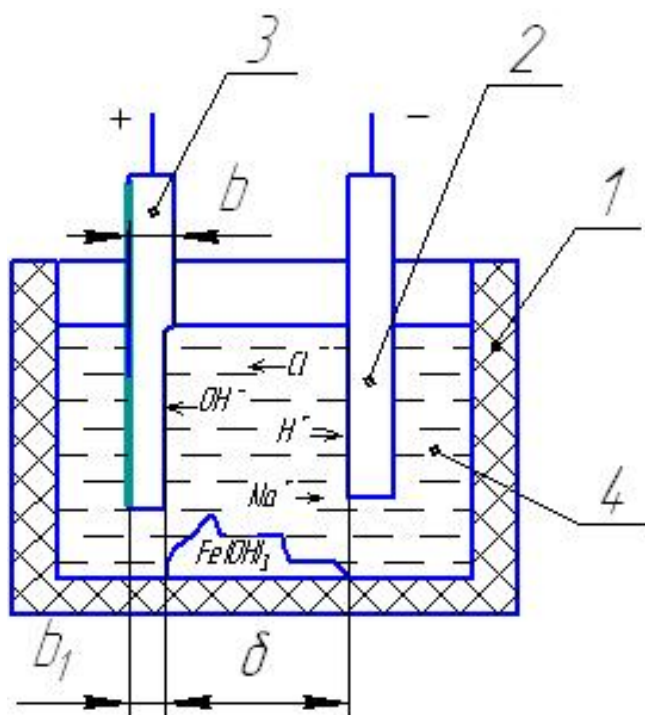
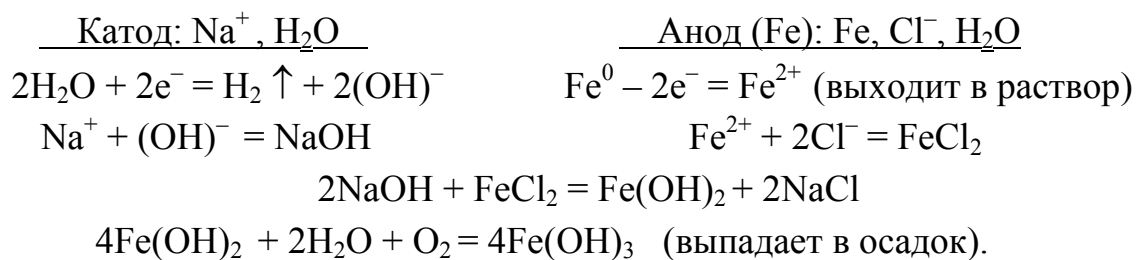


Рис. 25

Ниже представлена полная схема электролиза в технологической системе «электролит – электроды» рис.25. Электролит здесь представлен водным раствором хлорида натрия NaCl, а анод–заготовка изготовлен из железа.



Таким образом, на поверхности заготовки, обращенной к катоду, в результате окислительной реакции происходит растворение металла. Для защиты тех частей заготовки, которые не должны подвергаться формоизменению, используются изолирующие покрытия (маски), наносимые на поверхности фотохимическим или другими способами.

Устройство и принцип работы электрохимического станка СНЭ-20МК

Электрохимический настольный станок СНЭ-20МК предназначен для изготовления оформляющих поверхностей штамповой, прессовой и литейной оснастки, а также обработки деталей машин и приборов различного назначения.

Электрохимический станок снабжен системой управления на базе промышленного компьютера с отображением информации на малогабаритном жидкокристаллическом индикаторе.

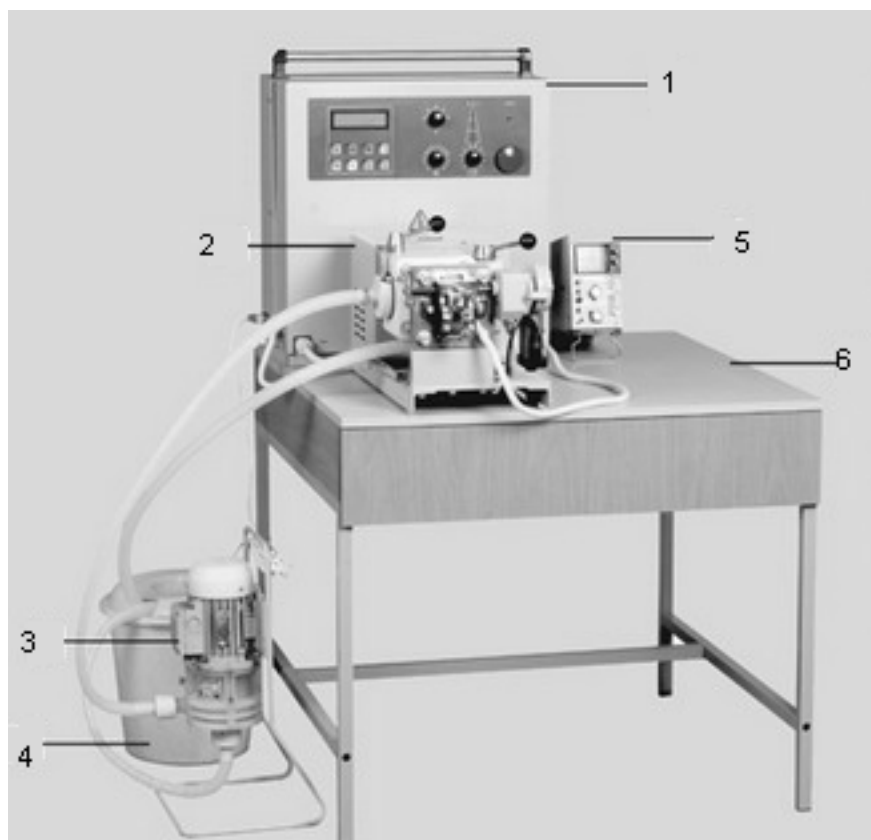


Рис. 26. Станок электрохимический СНЭ-20МК

Электрохимический станок (рис. 26) состоит из следующих устройств и узлов: источник технологического тока 1, электродный блок 2, насосная станция 3, емкость с электролитом 4, осциллограф 5, стол 6.

На источнике технологического тока расположен пульт управления станком (рис. 27), который включает в себя следующие элементы: 1- кнопка включения питания, 2- кнопка перемещения курсора, 3- кнопка редактирования, 4- кнопка включения вибраций электрода инструмента, 5- кнопка включения насоса, 6- кнопка включения технологического тока, 7,11 – кнопки включения подачи в обратном и прямом направлении, 8 – кнопка “Стоп”, 9 – индикатор подключения к сети, 10- рукоятка регулировки технологического напряжения, 12- индикация межэлектродного зазора, 13- регулировка подачи заготовки, 15- жидкокристаллический индикатор, 16 – регулировка контактирования электродов.

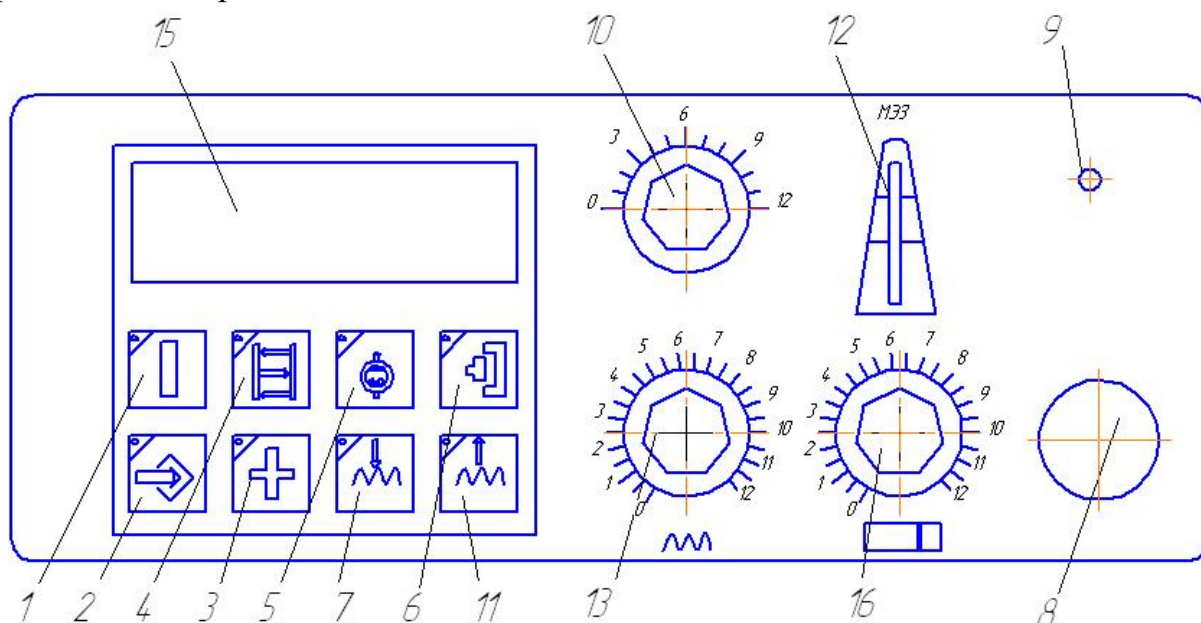


Рис. 27. Пульт управления станком

Электрод-инструмент и электрод заготовка расположены в электродном блоке. Электрод-заготовка совершает движение подачи D_s , а электрод инструмент совершает осциллирующее движение $D_{соцн}$ (рис.28). Электрохимический станок СНЭ-20МК имеет систему слежения за межэлектродным зазором. На станке обработка может производиться, в том числе припаянными легкоплавкими припоями к электроду-инструменту металлическими образцами изделий, изделиями полученными гальванопластикой или выполненными традиционной механической обработкой и граверными работами.

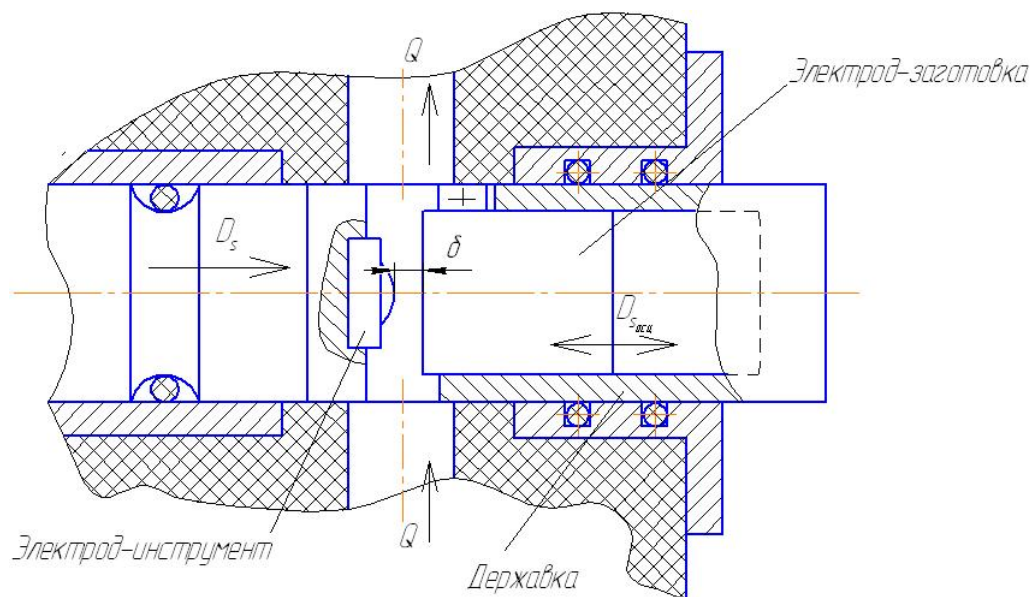


Рис. 28. Схема обработки заготовки на электрохимическом станке

Технологические возможности электрохимического травления на станке СНЭ-20МК

Наибольшая площадь обработки на станке СНЭ-30МК составляет 20 см^2 , диаметр заготовки до 50 мм, максимальная производительность составляет от 200 мм^3 до 500 мм^3 растворенного металла в минуту в зависимости от режимов обработки. Шероховатость обработанной поверхности до Ra 0,2 мкм, что исключает операции полирования. Потребляемая мощность при полной нагрузке не превышает 1,8 кВт. При электрохимической обработке отсутствует износ инструмента, что позволяет его использовать для получения десятков идентичных изделий. При данном виде обработки отсутствует дефектный слой обработанной поверхности.

Обработка может производиться по закаленным до требуемой твердости сталям в водных растворах нейтральных солей (электролитах), что исключает появление термических напряжений и микротрещин.

Производительность по массе электрохимической обработки в зависимости от основного времени τ_0 определяется по формуле:

$$P_m = \frac{m_z - m_d}{\tau_0}$$

(29)

где m_z - масса заготовки, кг;

m_d - масса детали.

Составы электролитов для электрохимического травления

Механизм анодного растворения металла и связанные с ним количественные значения основных технологических показателей ЭХО: производительность, точность и качество поверхности – определяются характером взаимодействия фаз металл-электролит. Поэтому от правильного выбора параметров электролита для обработки того или иного сплава зависит степень оптимальности разрабатываемой технологии.

Главным требованием при выборе электролита является термодинамическая возможность растворения металла в выбранном растворе. Дальнейшая оценка электролита производится с учетом технологических параметров режима обработки, например напряжения, величины тока и его формы, скорости подачи электрода-инструмента, гидродинамического режима течения электролита.

Для приготовления электролита с концентрацией v (%) необходимо взять соль массой:

$$m_c = m_{H_2O} \cdot \frac{v}{100 - v} \quad (30)$$

где m_{H_2O} – масса воды, кг,

В ходе электролиза в межэлектродном зазоре выделяются газообразные и твердые продукты обработки. В результате этого кислотность (рН) от нейтрального значения сдвигается в щелочную область, а электролит насыщается неэлектропроводными частицами шлама.

С повышением кислотности затрудняется растворение многих металлов, что объясняется ростом пассивирующих пленок. Для устойчивого растворения сталей показатель кислотности рН не должно превышать 10...11 единиц. Стабильность показателя рН раствора можно поддерживать периодическим добавлением в него подкисляющих добавок. Среди таких добавок для стабилизации раствора NaCl наибольшее распространение получила борная кислота. Добавка в количестве 3 г/л обеспечивает стабилизацию показателя рН в течении длительного времени работы раствора, причем скорость растворения и качество обработки не изменяется.

Шлам, образующийся в процессе электролиза, состоит из оксидов и гидрооксидов металла заготовки. Так как частицы шлама не электропроводны, то при достижении определенной их концентрации нарушается стабильность обработки.

В процессе эксплуатации электролита за счет выноса его вместе со шламом и испарения воды происходит изменение его концентрации. Кон-

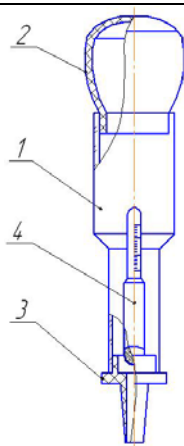
троль над составом раствора можно осуществить по изменению его плотности.

Зависимость значения концентрации от плотности растворов NaNO_3 при 20°C приведена в таблице 12.

Таблица 12

Зависимость плотности электролита от его концентрации

Плотность ρ , г/см ³	1,032	1,067	1,082	1,097	1,112	1,127	1,143
Концентрация, %	5	10	12	14	16	18	20



Плотность рабочего электролита замеряется ареометром (рис. 29). Ареометр состоит из прозрачного корпуса 1, резиновой груши 2 для создания разряжения, наконечника 3 для забора проб и поплавка 4.

Зная плотность электролита ρ_d можно рассчитать количество соли в кг, которое необходимо добавить в

электролит объемом 10 л для доведения его до рабочей концентрации по формуле:

$$m = (\rho_p - \rho_d) \cdot 10 \quad (31)$$

Одним из важных свойств электролита при электрохимическом травлении является его температура. Температура электролита в процессе обработ-

ки не должна превышать 60°C .

Последовательность выполнения работы.

1. Изучить назначение, устройство и технологические возможности станка модели СНЭ-20МК.

2. При помощи электронных весов произвести взвешивание заготовки до обработки.

3. Выполнить необходимые расчеты по определению массы соли для приготовления электролита по формуле (30) исходя из следующих данных: соль входящая в состав электролита NaNO_3 , концентрация соли в рабочем электролите $\nu = 20\%$, масса воды $m_{\text{H}_2\text{O}} = 10$ кг.

Определите при помощи лакмусовой бумажки кислотность разведенного электролита до обработки. Используя ареометр, определите плотность электролита до обработки и по таблице 12 определите его концентрацию. При помощи термометра определите температуру электролита. Занесите результаты измерений в таблицу 13.

4. Проследить за работой мастера по наладке станка на обработку заготовки. Определить совместно с мастером опытным путем величину подачи. Проследить за обработкой заготовки. Записать последовательность включения станка и сообщения на жидкокристаллическом экране, включая время обработки заготовки, технологическое напряжение, технологический ток и глубину обработки.

5. Определите при помощи лакмусовой бумажки кислотность электролита после обработки. Используя ареометр, определите плотность электролита после обработки. Определите температуру электролита после обработки и результаты занесите в таблицу 13.

Используя таблицу 12 и формулу (31), дайте рекомендации по корректировке состава электролита.

6. Используя электронные весы, произведите взвешивание детали после обработки. Определите производительность обработки по формуле (29).

7. Получить индивидуальное задание для самостоятельной работы (табл. 14) по определению производительности электрохимического травления.

Таблица 13

Свойства электролита

Показатель	Размерность	Свойства электролита	
		До обработки	После обработки
Концентрация электролита	%		
Плотность электролита	г/см ³		
Водородный показатель, pH	-		
Температура электролита	С		

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Чертеж обрабатываемой детали.
3. Техническая характеристика электрохимического станка СНЭ-20МК.
4. Расчет массы соли для приготовления электролита требуемой концентрации (30).
5. Условия обработки детали: свойства электролита до обработки (таблица 13), сила тока, напряжение, глубина обработки.
6. Свойства электролита после обработки (таблица 13).
7. Рекомендации по корректировке электролита в соответствии с формулой (31).
8. Номер и формулировка индивидуального задания в соответствии с таблицей 14.

Начертите технологический эскиз электрохимического травления. На эскизе отобразите: деталь, электрод-заготовку, подачу D_s , осциллирующее движение D_{osci} , величину межэлектродного зазора.

Определите объем материала, который необходимо снять при электрохимическом травлении.

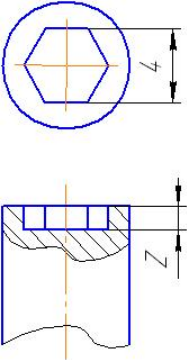
Определите исходя из величины подачи s_m и глубины обработки Z время обработки:

$$\tau = \frac{Z}{s_m} \quad (32)$$

Определите производительность обработки для своего варианта.

Таблица 14

Индивидуальные задания

№	Эскиз детали	Z, мм	S _м , мм/мин
1	2	3	4
1		0,1	0,02
2		0,2	0,04
3		0,3	0,09
4		0,4	0,05
5		0,5	0,11
6		0,6	0,09
7		0,7	0,11

8		0,1	0,02
9		0,2	0,04
10		0,3	0,09
11		0,4	0,05
12		0,5	0,11
13		0,6	0,09
14		0,7	0,11
15		0,1	0,02
16		0,2	0,04
17		0,3	0,09
18		0,4	0,05
19		0,5	0,11
20		0,6	0,09

7. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ НА СТАНКЕ МОДЕЛИ 16К20Ф3 NC201М

Цель работы – знания назначения и устройства станка модели 16К20Ф3 оснащенного стойкой NC201М, основ работы числового программного управления; умение осуществлять выбор режимов работы станка, ввод кадров и загрузку управляющей программы.

Общие сведения

Токарный станок 16К20Ф3 оснащенный системой ЧПУ NC-201М предназначен для чистовой и получистовой обработки заготовок в условиях мелкосерийного и среднесерийного производства, обеспечивая в этих условиях быструю переналадку с изготовления одного сложнопровильного изделия на другое.

Станок 16К20Ф3 NC201М (рис. 30) состоит из станины 1, шпиндельной бабки 2, задней бабки 3, продольного суппорта 4, на котором установлен поперечный суппорт 5 с восьмипозиционной револьверной головкой 6

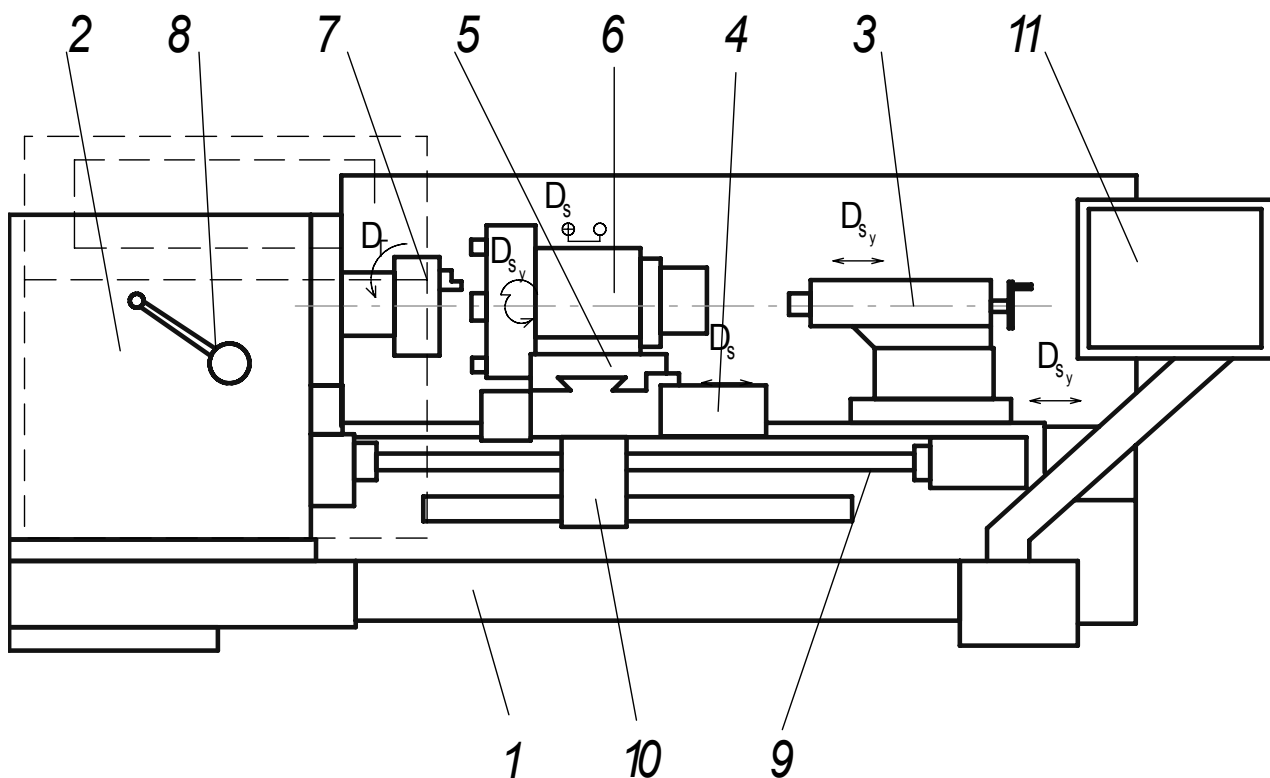


Рис. 30. Схема токарного станка 16K20Φ3 NC201M

Заготовку закрепляют в патроне 7, Шпиндель станка приводится во вращение двигателем постоянного тока через коробку скоростей, которая обеспечивает три диапазона частот вращения (20–345, 60–1000, 145–2500 об/мин. Бесступенчатое регулирование частот внутри одного из указанных интервалов осуществляется по сигналу управляющей программы, а переключение диапазонов рукояткой 8.

Продольное и поперечное перемещения суппортов (ускоренные и рабочие движения подач) осуществляют от автономных исполнительных электродвигателей через передачи качения типа «винт – гайка» 9.

Положение суппорта определяется датчиком 10.

Пульт управления станком и устройством ЧПУ 11 установлен на поворотной стойке, закрепленной на основании станка.

Пульт оператора обеспечивает выполнение всех функций управления и контроля в системе. Пульт оператора включает модуль дисплея и модуль клавиатуры. Конструктивно пульт оператора встроен в моноблок УЧПУ таким образом, что панель пульта оператора представляет собой лицевую панель УЧПУ. В качестве элементов управления используются кнопки, клавиши и переключатели, в качестве элементов контроля – дисплей и светодиоды.

Панель пульта оператора УЧПУ NC-201M в основном корпусе представлена на рисунке 31.

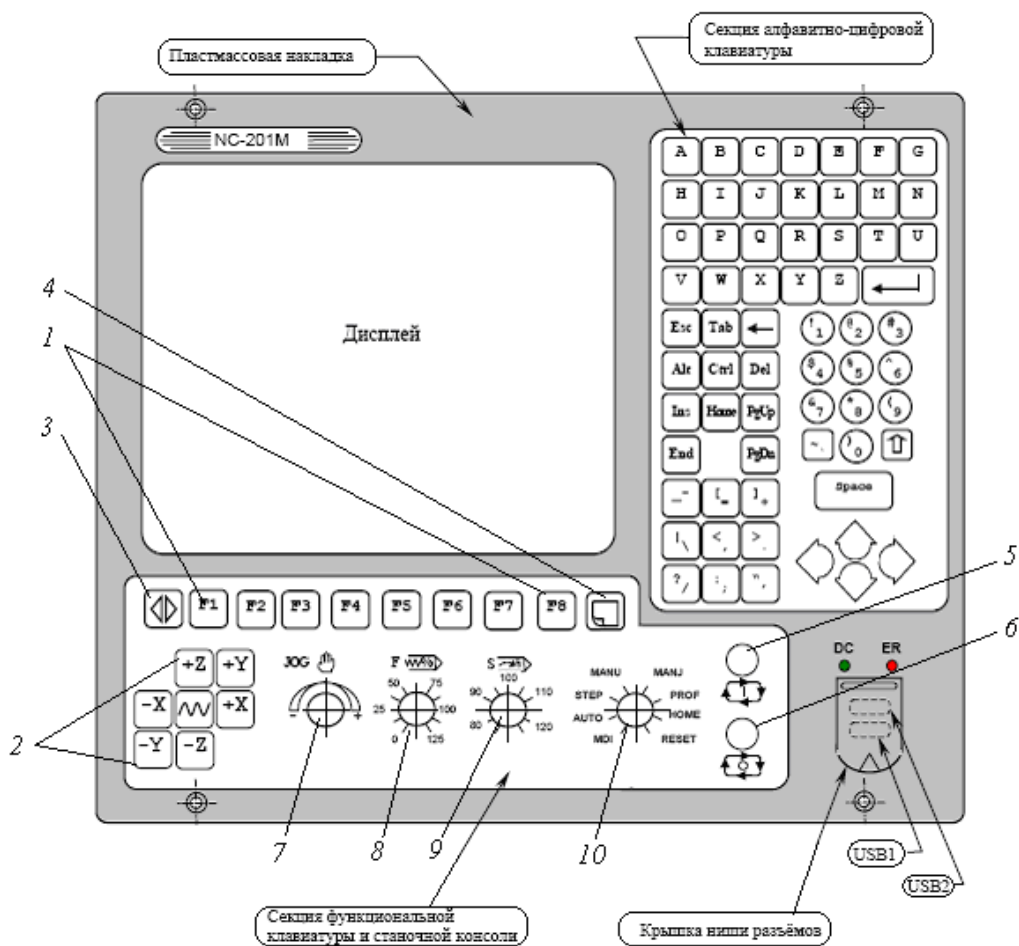


Рис. 31 – Панель пульта оператора УЧПУ NC-201М

Панель оператора имеет пластмассовую накладку, которая делит её на три секции: секцию дисплея; секцию алфавитно-цифровой клавиатуры; секцию функциональной клавиатуры и станочной консоли.

В секции дисплея расположен жидкокристаллический дисплей модели TFT с длиной диагонали 10.4”.

Справа от дисплея вертикально расположена секция алфавитно-цифровой клавиатуры: 36 алфавитно-цифровых, 28 специальных клавиш. Внизу под дисплеем расположена горизонтальная секция функциональной клавиатуры и станочной консоли, в которой размещены:

1. функциональная клавиатура, состоящая из восьми клавиш «F1»-«F8»;
2. семь клавиш для безразмерного перемещения по трем координатным осям «+X», «-X», «+Y», «-Y», «+Z», «-Z»;
3. специальная клавиша «ПРОКРУТКА»;
4. специальная клавиша «ПЕРЕХОД»;
5. кнопка «ПУСК»;

6. кнопка «СТОП»;
7. переключатель - корректор подачи «JOG»;
8. переключатель - корректор ручных подач «F»;
9. переключатель - корректор частоты вращения шпинделя «S»;
10. переключатель режимов работы станка «MDI»...«RESET».

В нижнем правом углу панели пульта оператора в пластмассовой накладке сделана ниша для вывода разъемов USB1 и USB2. Разъем USB1 работает в режиме УЧПУ, разъем USB2 работает в режиме MS DOS. Ниша для разъемов USB закрывается гибкой крышкой.

Элементы пульта оператора

Кнопка «ПУСК» (5) в режиме «УПРАВЛЕНИЕ СТАНКОМ» обеспечивает выполнение текущей программы, выполняет перемещение по осям координат, выполняет общий сброс системы, если установлен режим «СБРОС».

Кнопка «СТОП» (6) останавливает движение с управляемым замедлением

Переключатель - корректор скорости вращения шпинделя «S» (9) в режиме «УПРАВЛЕНИЕ СТАНКОМ» позволяет изменять скорость вращения шпинделя.

Переключатель - корректор подачи «F» (8) В режиме «УПРАВЛЕНИЕ СТАНКОМ» позволяет изменять величину рабочей подачи.

Переключатель – корректор подач «JOG» определяет скорость и направление ручных перемещений. Переключатель в положениях от 0% до 100 % управляет скоростью перемещений на быстром ходу.

Переключатель режимов работы станка «MDI»...«RESET» (рис. 32) в режиме «УПРАВЛЕНИЕ СТАНКОМ» позволяет с пульта оператора УЧПУ задать режим работы станка.

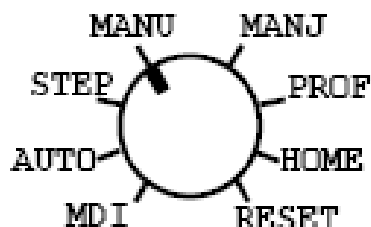


Рис. 32 переключатель режимов работы станка

Переключателем можно задать следующие режимы работы станка:

1. «MDI» – в этом режиме при нажатии кнопки «ПУСК» выполняется отработка кадра, набранного в командной строке.
2. «AUTO» – в этом режиме при нажатии кнопки «ПУСК» выполняется отработка всей управляющей программы кадр за кадром.
3. «STEP» – в этом режиме при нажатии кнопки «ПУСК» выполняется отработка одного кадра управляющей программы.

4. «MANU» – с нажатием кнопки «ПУСК» происходит перемещение инструмента вдоль текущей оси, со скоростью и в направлении, выбираемыми переключателем корректора подач «JOG». При отпускании кнопки «ПУСК» перемещение инструмента останавливается.

5. «MANJ» –с нажатием кнопки «ПУСК» происходит перемещение вдоль выбранной оси на величину перемещения, введенную с клавиатуры при помощи кода JOG (например, JOG=50). Скорость и направление выбираются переключателем корректора подач «JOG».

6. «PROF» – при нажатии кнопки «ПУСК» выполняется возврат в отправную точку на профиле после ручного перемещения от профиля.

7. «HOME» –при нажатии кнопки «ПУСК» осуществляется выход в исходную позицию текущей координатной оси

8. «RESET» – при нажатии кнопки «ПУСК» обнуляется информация, находящаяся в динамическом буфере. Осуществляется выбор нулевой начальной точки для всех осей, и выбранная управляющая программа устанавливается на первый кадр. Сбрасываются текущие M, S, T функции.

Структура управляющей программы

Управляющая программа состоит из кадров, которые описывают весь рабочий процесс шаг за шагом. Кадр состоит из одного или нескольких буквенно-цифровых слов:

1. Подготовительные функции G -определяют вид движения, вид интерполяции, выбор плоскостей интерполяции, систему отсчета размеров, коррекцию инструмента и т.д.

2. Геометрические параметры перемещения по осям X, Z

3. Технологические условия: F-величина подачи, S-частота вращения шпинделя станка, T- номер инструмента

4. Вспомогательные функции M – управляют различными узлами станка, например, включением шпинделя, включением подачи охлаждающей жидкости и т.д.

Значения некоторых основных команд G,M приведены в табл.15.

Примеры записи некоторых кадров и их функциональное назначение:

T07 – устанавливается инструмент с №1

M03S205 – включение вращения по часовой стрелки с частотой вращения 205об/мин

G91G94F22Z-10X-10 – программирование в относительных координатах, задание подачи в мм/мин, устанавливается величина подачи 22 мм/мин, коор-

Значение основных команд УЧПУ

Обозначение команды (Код)	Функция команды
1	2
Вспомогательные функции M...	
M00	Останов программы
M01	Технологический останов программы
M03	Включение шпинделя (вращение по часовой стрелке)
M04	Включение шпинделя (вращение против часовой стрелки)
M05	Останов шпинделя
M08	Включение подачи СОЖ
M30	Конец программы
Подготовительные функции G...	
G00	Позиционирование (быстрое перемещение суппорта)
G01	Линейная интерполяция (подача резания)
G02	Круговая интерполяция (движение по дуге по часовой стрелке)
G03	Круговая интерполяция (движение по дуге против часовой стрелки)
G04	Пауза
G40	Выключение компенсации радиуса инструмента
1	2
G41	Компенсация радиуса инструмента слева
G42	Компенсация радиуса инструмента справа
G90	Программирование в абсолютных координатах
G91	Программирование в относительных перемещениях
G96	Управление постоянной скоростью резания (м/мин)
G97	Управление постоянной скоростью выключено (об/мин)
G94	Подача задается в мм/мин
G95	Подача задается в мм/об

Последовательность выполнения работы

1. Изучите панель пульта оператора назначение клавиш и переключателей, расположенных на пульте оператора.
2. Под руководством преподавателя проделайте следующие действия:
 - 2.1. Осуществите выход, в исходную позицию координатных осей выполнив следующие действия.

Установите переключатель режимов работы станка в положение “НОМЕ”.

Используя клавиши навигации, установите текущую ось X.

Нажав кнопку “ПУСК” осуществите выход в исходную позицию по оси X.

Используя клавиши навигации, установите текущую ось Z.

Нажав кнопку “ПУСК” осуществите выход в исходную позицию по оси Z.

2.2. Произведите безразмерное перемещения, по осям координат выполнив следующие действия.

Установите переключатель режимов работы станка в положение “MANU”

Используя клавиши навигации, установите текущую ось X;

Нажав кнопку “ПУСК” осуществите перемещение по оси X на расстояние указанное преподавателем.

Используя клавиши навигации, установите текущую ось Z.

Нажав кнопку “ПУСК” осуществите перемещение по оси Z на расстояние указанное преподавателем.

3. Перечертите чертеж сложного контура подлежащего обработке в лабораторной работе.

4. Проследите за действиями преподавателя при загрузке управляющей программы.

5. Проследите за выполнением управляющей программы по обработке контура и перепишите в отчет управляющую программу.

6. Выполните индивидуальное задание в соответствии с таблицей 16, осуществив следующие действия.

Установите переключатель режима работы станка в положение “MDI”.

Введите с клавиатуры пульта оператора команды указанные в индивидуальном задании, опишите процесс ввода команды, при помощи секундомера установите время необходимое для выполнения команды, запишите действительные значения частот и подач установившиеся при выполнении команды.

Таблица 16

Индивидуальные задания

№ п/п	Содержание кадра		
	Смена инструмента	Изменение частоты вращения шпинделя станка	Перемещение по осям координат на рабочей подачи
1	2	3	4
1	T01	M03S200	G91G94F25X10

2	T03	M03S205	G91G94F28X-10
3	T07	M03S240	G91G94F60Z10
4	T04	M03S255	G91G94F70Z-10
5	T06	M03S180	G91G94F22Z-10X-10
6	T05	M03S182	G91G94F24Z10X10
7	T02	M03S197	G91G94F60X15
8	T01	M03S400	G91G94F70X-15
9	T03	M03S455	G91G94F50Z25
10	T07	M03S470	G91G94F63Z-25
11	T04	M03S477	G91G94F100X5
12	T06	M03S520	G91G94F92X-5
13	T05	M03S524	G91G94F88Z30
14	T02	M03S588	G91G94F44Z-35
15	T01	M03S800	G91G94F100X10
16	T03	M03S823	G91G94F99X-10
17	T07	M03S840	G91G94F75Z10
18	T04	M03S544	G91G94F71Z-10
19	T06	M03S734	G91G94F45Z-10X-10
20	T05	M03S856	G91G94F42Z10X10
21	T02	M03S801	G91G94F78X15
1	2	3	4
22	T01	M03S50	G91G94F78X15
23	T02	M03S120	G91G94F78X15
24	T03	M03S240	G91G94F78X15
25	T04	M03S60	G91G94F78X15
26	T05	M03S145	G91G94F78X15
27	T06	M03S222	G91G94F78X15
28	T07	M03S602	G91G94F78X15
29	T05	M03S814	G91G94F78X15
30	T02	M03S633	G91G94F78X15

Таблица 17

№	Команда	Назначение команды	Время выполнения команды τ, с	Действительные значения скоростей и подач.

Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Устройство и назначение станка 16К20Ф3 и стойки NC201М
3. Структура управляющей программы и кадров.
4. Эскиз сложнопрофильного контура (рис. 33) подвергаемого обработке.

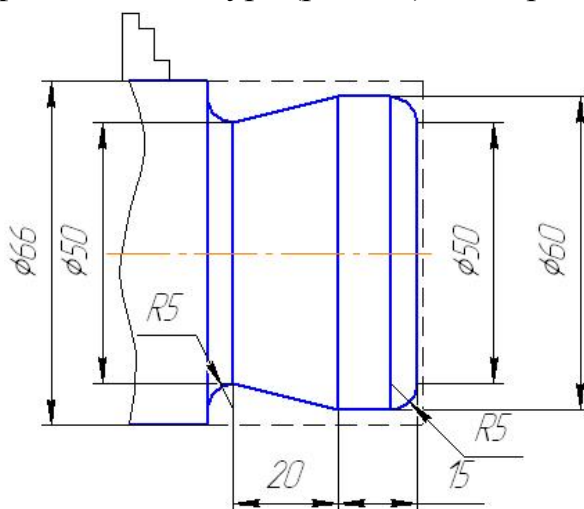


Рис. 33 Эскиз профиля подвергаемого обработки

5. Программа обработки сложнопрофильного контура.
6. Номер, формулировка и исходные данные индивидуального задания (см. табл. 16).
7. Заполненная таблица 17 с выполненными на лабораторной работе командами.

8. ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Цель работы: знание основ литейного производства и особенностей изготовления отливок; формирование представления о технологических возможностях различных способов литья; умение выбирать по чертежу детали рациональный способ изготовления отливки.

Общие сведения

Литейным производством называют процессы получения фасонных изделий (отливок) путем заливки расплавленного металла в полую форму, воспроизводящую конфигурацию и размеры будущей детали. Применение литейного производства дает возможность изготовления изделий различной формы, размеров и массы из любых металлических сплавов, которые можно перевести в жидкое состояние, с разной степенью точности и шероховатости, как в единичном, так и в массовом производстве.

В настоящее время доля литых деталей в большинстве изготавливаемых машин составляет от 30 до 80 % (примерно 60 % от массы сельскохозяйст-

венных машин, до 85 % от массы металлорежущих станков и полиграфических машин). Производство отливок может осуществляться различными способами. Среди них наиболее распространенным является литьё в разовые песчано-глинистые формы.

8.1. Литьё в песчано-глинистые формы

Производство отливок в разовых песчано-глинистых формах характеризуется универсальностью, доступностью формовочных материалов и относительно невысокой стоимостью. К недостаткам этого способа следует отнести: невысокую точность и качество отливок, большой объем используемых в производстве исходных материалов и значительные отходы, загрязняющие окружающую среду.

Технологический процесс производства отливок (рис. 34) состоит из ряда основных и вспомогательных операций, осуществляемых как параллельно, так и последовательно на различных участках литейного цеха.

Вначале производится разработка технологичной конструкции отливки, проектирование и изготовление модельной оснастки (модели отливки и элементов литниковой системы, стержневые ящики, опоки и модельные плиты).

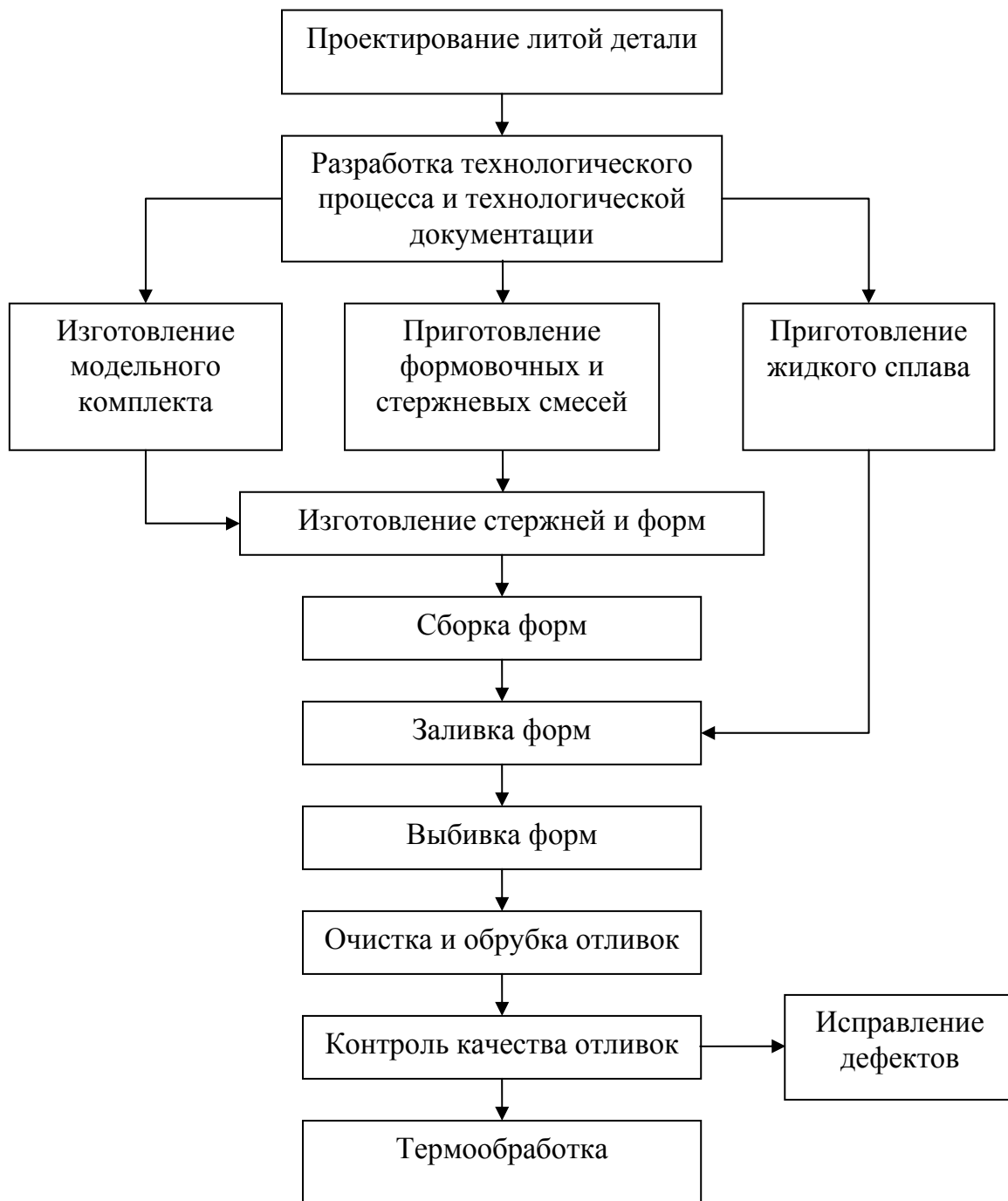


Рис. 34. Структурная схема получения отливок

Модель – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают полость, которая по размерам и внешним очертаниям соответствует будущей отливке. Для получения отливок с отверстиями или углублениями на модели предусматривают специальные выступы – *стержневые знаки*, которые образуют в форме углубления для установки стержней. В зависимости от сложности конфигурации, модели могут иметь один или несколько разъемов, отъемные части. На поверхностях модели, перпендикулярных плоскости

разъема, предусматриваются уклоны для облегчения выема модели из формы. В зависимости от условий производства и требований, предъявляемых к отливке по точности размеров и чистоте поверхности, модели изготавливают из пиломатериалов, пластмассы или металла.

Стержневой ящик – приспособление для изготовления стержней, служащих для получения отверстия или углубления в отливках. Конфигурация *стержня* соответствует внутренней полости отливки с учетом знаковых частей. Стержневые ящики (цельные или разборные) делают из пиломатериалов, в массовом производстве применяют металлические ящики.

Охлаждение отливки в форме сопровождается усадкой, т.е. уменьшением ее объема и линейных размеров, поэтому модели и стержни имеют размеры с учетом припуска на усадку.

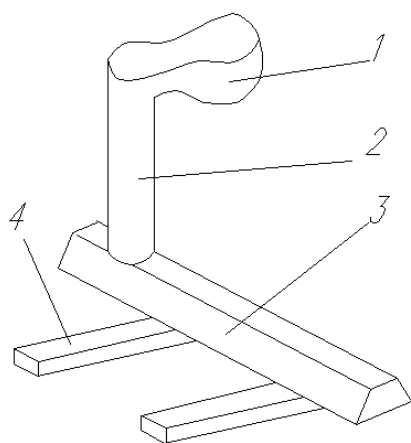


Рис. 35. Литниковая система:

- 1 – литниковая чаша;
- 2 – стояк; 3 – шлакоуловитель;
- 4 – питатели

Модели элементов литниковой системы (рис. 35) предназначены для образования в форме каналов, служащих для подачи металла в полость формы, задержки шлака и неметаллических включений. Литниковая система включает в себя литниковую чашу 1, стояк 2, шлакоуловитель 3 и питатели 4. К элементам литниковой системы относят и *выпор* – вертикальный канал, расположенный в самой верхней части формы и предназначенный для отвода газов и наблюдения за ходом заливки.

Опоки – деревянные или металлические рамки, служащие для удерживания песчано-глинистой смеси.

Модельные плиты служат для размещения на них моделей и установки опоки при изготовлении литейной формы.

Общий вид литейной формы и технологической оснастки для ее изготовления представлены на рис 36. Литейная форма состоит из верхней 1 и нижней полуформы 2. Полуформы изготавливают из формовочной смеси путем уплотнения ее в опоках. Полость в форме получают с помощью модели 3. Стержень 4 изготавливают в стержневом ящике 5 из стержневой смеси. В полуформах с помощью моделей элементов литниковой системы выполняется воронка и система каналов, по которым расплавленный металл поступает в полость формы. После остывания форму разрушают и извлекают отливку 6.

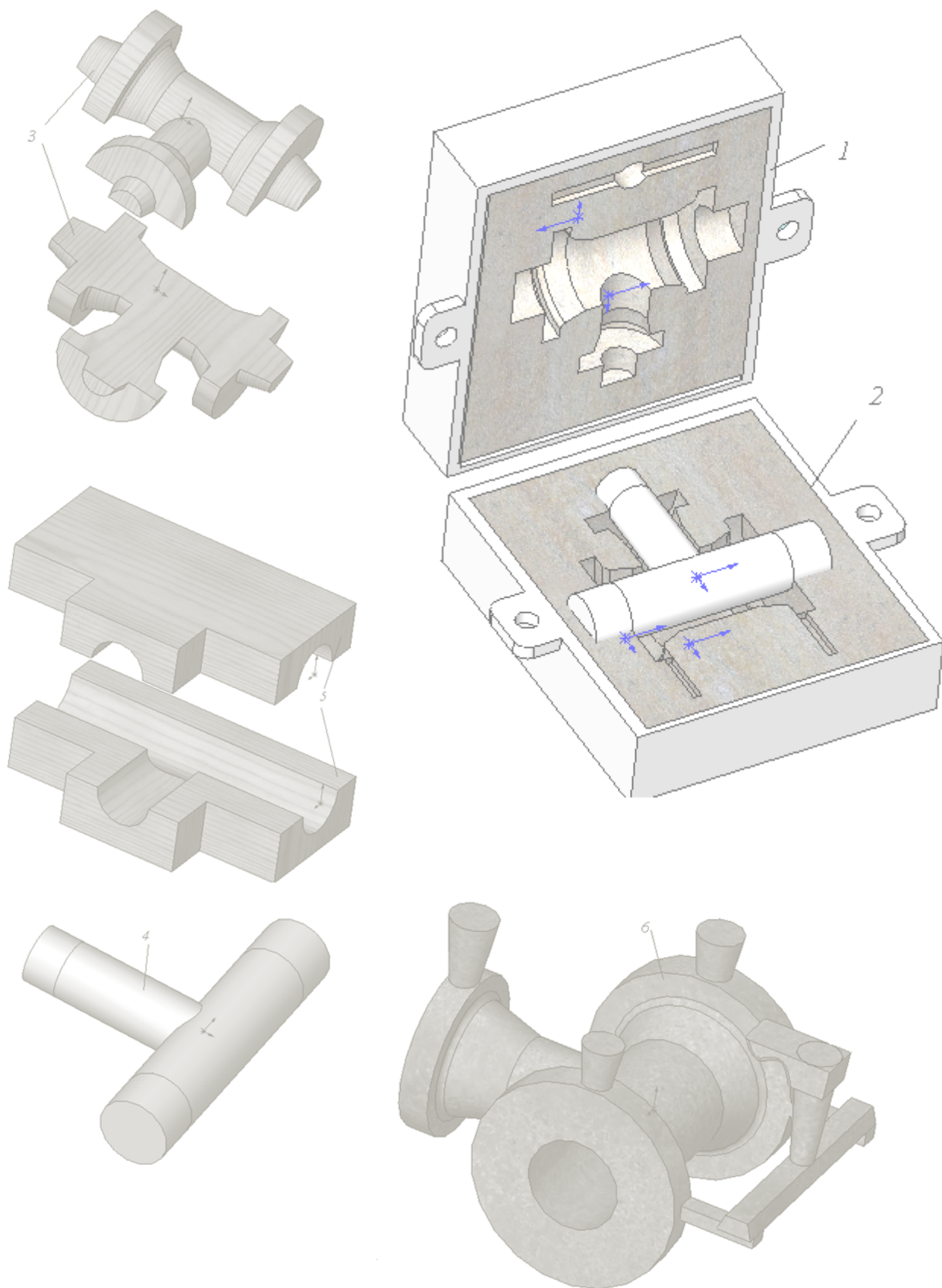


Рис. 36. Литейная форма и технологическая оснастка для ее изготовления:
 1, 2 – верхняя и нижняя полуформы; 3 – модель, 4 – стержень;
 5 – стержневой ящик; 6 – отливка

Формовочные смеси состоят из кварцевого песка (примерно 85 %) и связующего вещества (огнеупорная глина 10 % с добавкой воды 5 %). *Стержневые смеси* состоят из кварцевого песка (90 %), глины и крепителей (3 – 5 %): олифа, декстрин, канифоль, жидкое стекло и другие. Смеси должны обладать *пластичностью* и *газопроницаемостью*, а формы и стержни, изготовленные из них, – достаточной *прочностью*. Для увеличения *газопроницаемости* и *податливости* в формовочную смесь добавляют деревянные опилки или торфяную крошку, которые, выгорая после заливки металла в форму, образуют дополнительные поры. Песчано-глинистые смеси используют повторно с добавкой свежих материалов.

Свойства смесей зависят от их состава, качества приготовления и степени уплотнения. Уплотнение смеси производится вручную (ручными и пневматическими трамбовками) или машинным способом на прессовых, встряхивающих или пескометных машинах.

Изготовление стержней

Изготовление стержней производится в следующем порядке. Собирают половинки стержневого ящика по центрирующим шипам и скрепляют их вместе. Ящик кладут отверстием вверх, внутрь ящика устанавливают армирующий каркас из проволоки и заполняют всю полость ящика стержневой смесью (рис. 37, а), одновременно уплотняя ее. Счищают излишек смеси и для обеспечения отвода газов из стержня специальной иглой (душником) накалывают вентиляционные каналы. Снимают верхнюю половину ящика (рис. 37, б) и осторожно выкладывают стержень на специальную сушильную плиту (рис. 37, в). Отформованные стержни сушат при температуре 160...300 °С в сушильных печах или камерах для придания им высокой прочности.

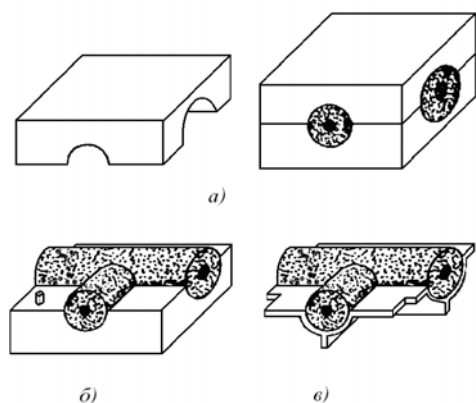


Рис. 37. Порядок изготовления стержней

При применении быстро-сохнувших смесей на жидком стекле, стержень перед выемом из ящика продувают через вентиляционные каналы углекислым газом в течение двух – трех минут. Затем затвердевший в результате продувки стержень извлекают из стержневого ящика. Перед установкой в форму стержень окрашивают противо-

пригарной краской.

Изготовление литейных форм

Изготовление формы (формовка) является наиболее сложной и трудоемкой операцией. Формовка может осуществляться вручную, на машинах (при серийном и массовом производствах) и на автоматических линиях. Трудоемкость изготовления литейной формы при ручной формовке составляет 40...60 % от общей трудоемкости получения отливок.

Порядок изготовления формы вручную по разъемной модели в парных опоках представлен на рис. 38. В данном случае модель состоит из двух половин, имеющих на плоскостях разъема отверстия в нижней половине и шипы в верхней, с помощью которых производится совмещение половин моделей друг с другом.

I этап: изготовление нижней полуформы. На модельную плиту устанавливают нижнюю половину модели плоскостью разъема вниз, ставят нижнюю опоку и модели питателей (1). Опоку заполняют формовочной смесью и уплотняют ручной или пневматической трамбовкой. Излишки формовочной смеси выше верхнего края опоки удаляют при помощи линейки и специальной иглой накалывают вентиляционные каналы (2).

II этап: изготовление верхней полуформы. Нижнюю опоку переворачивают на 180 градусов и при помощи направляющих штырей устанавливают на ней верхнюю опоку. По центрирующим шипам и отверстиям устанавливают верхнюю половину модели отливки, модели шлакоуловителя, стояка и выпора (3). Наполняют верхнюю опоку формовочной смесью и уплотняют ее (4).

III этап: извлечение моделей из формы. В первую очередь извлекают модели стояка и выпора (5). Снимают верхнюю опоку вместе с верхней половиной модели и переворачивают ее на 180 градусов. При необходимости смачивают смесь вокруг моделей отливки и осторожно извлекают их из обеих полуформ (верхней и нижней). Также извлекают модели шлакоуловителя и питателей. Перед сборкой форму очищают от осыпавшихся частиц смеси и покрывают противопопригарным составом.

IV этап: сборка формы. В нижнюю полуформу по знакам устанавливают заранее изготовленный стержень (6). Верхнюю опоку вновь опускают на нижнюю опоку и фиксируют их при помощи центрирующих штырей. Затем обе опоки скрепляют при помощи болтов или струбцин. В таком виде литейная форма готова для заливки металла (7).

Для получения крупных отливок полуформы перед сборкой сушат при температуре 350°C в течение 6...20 часов в зависимости от габаритов отливки.

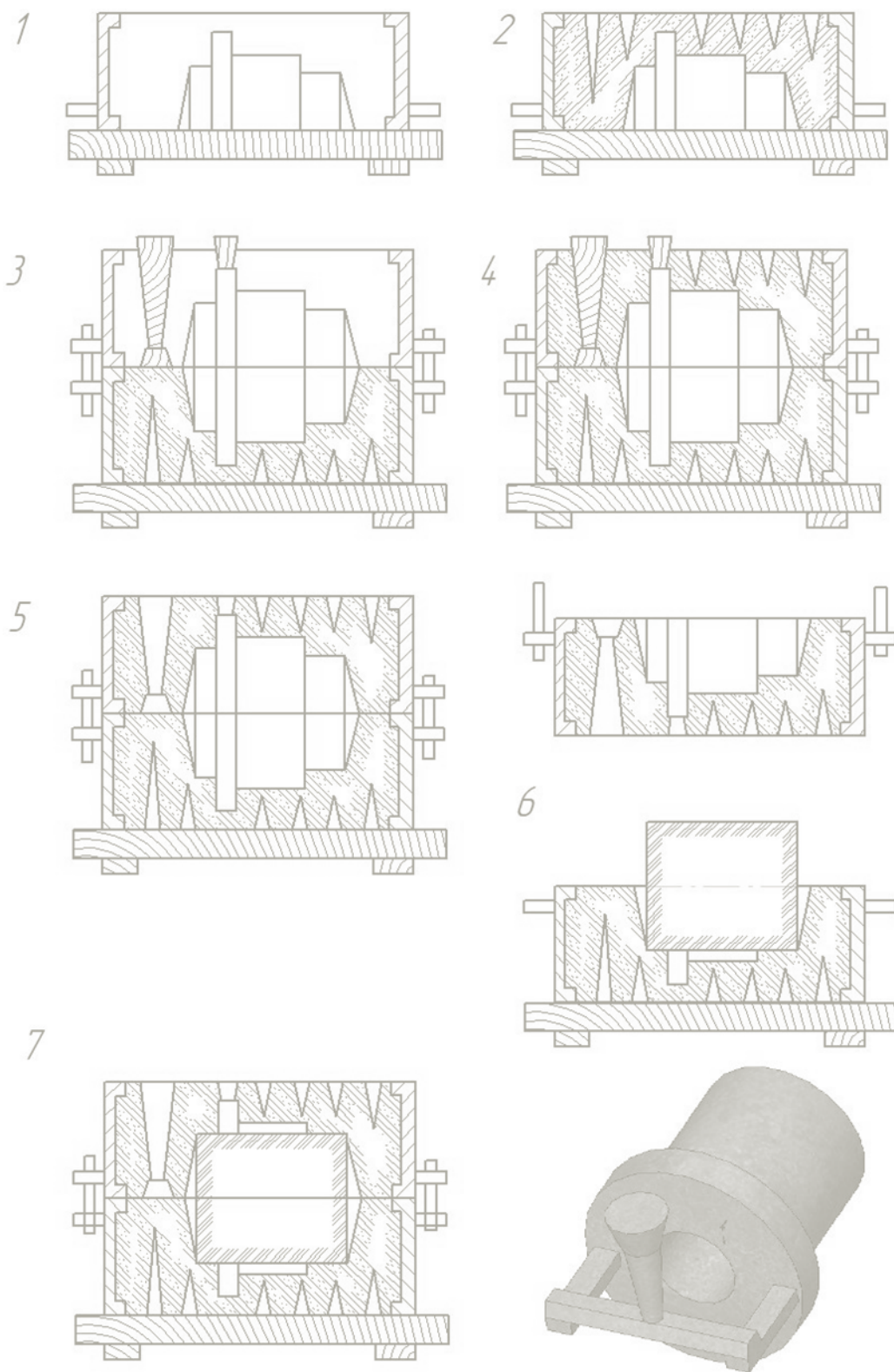


Рис. 38. Последовательность изготовления литейной формы по разъемной модели

Заливка металла и выбивка форм, контроль качества отливок

Плавка черных металлов производится в вагранках, электродуговых и индукционных печах, установках электрошлакового переплава. Сплавы цветных металлов плавятся в тигельных печах, пламенных и электрических отражательных печах, индукционных, вакуумно-дуговых и вакуумных электронно-дуговых печах.

На участок заливки расплавленный металл подается в разливочных ковшах. Металл в форму заливают плавно, непрерывной струей до тех пор, пока он не покажется в выпорах и прибылях. Температура заливки всегда выше температуры плавления сплава. При слишком высокой температуре заливки происходит обильное газовыделение, формовочная смесь пригорает к поверхности отливки, увеличивается усадка отливки.

Выбивку форм производят после затвердевания и охлаждения металла до определенной температуры. В литейных цехах разрушение формы и освобождение отливок от формовочной земли осуществляется на различных вибрационных машинах, чаще всего - на встряхивающих решетках. Формовочная смесь проваливается через решетку и транспортируется на формовочный участок для повторного использования. При ручной выбивке форму разрушают ударами молотка по стенкам опоки. *Выбивку песчаных стержней* производят с помощью пневматических молотков, водоструйных и гидроабразивных устройств, на электрогидроимпульсных установках. Электрогидроимпульсная выбивка стержней осуществляется за счет ударных волн и гидротока, возникающих при высоковольтном разряде в жидкости между специальным электродом и поверхностью отливки. Разрушение стержней происходит за счет появления в обрабатываемом объекте периодических сил растяжения и сжатия, вызывающих колебание отливки и стержня с различной частотой и, в конечном итоге, отслаивание стержневой массы от отливки.

После выбивки производится *обрубка* (отделение от отливок прибылей, выпоров и заливов) и *очистка отливок*. Обрубку осуществляют с помощью пневматических зубил, ленточных и дисковых пил, газовой резки. Очистку отливок от пригоревшей формовочной смеси и окалины производят во вращающихся галтовочных барабанах, на пескоструйных и дробеметных аппаратах, водоструйных, гидроабразивных и электрогидроимпульсных установках. Очистка разветвленных внутренних поверхностей отливок осуществляется химической и электрохимической обработкой. Зачистка заусенцев, неровностей, оставшихся после обрубки, производится ручным инструментом

или на шлифовальных станках. По трудоемкости операции выбивки, обрубки и очистки составляют 30...40% от общей трудоемкости изготовления отливок.

При контроле качества готовые отливки осматривают и выявляют имеющиеся в них пороки. Основными видами дефектов в отливках являются: коробление; усадочные и газовые раковины (открытые или закрытые полости); трещины; песчаные и шлаковые раковины (включения формовочной смеси или шлака в отливке); заливы и наросты, недолив металла и спай; отбел поверхности (у чугунных отливок). Поверхностные неглубокие дефекты устраняются наплавкой, заваркой, запрессовкой (эпоксидными смолами), металлизацией. Коробление исправляют правкой. Отбел поверхности ликвидируют дополнительным отжигом отливок.

При внутренних и глубоких наружных дефектах отливки отправляют на переплавку. Перед отправкой в механические цеха стальные и чугунные отливки подвергают термической обработке (отжиг или нормализация) для снятия внутренних напряжений.

8.2 Специальные способы литья

Литьё в оболочковые формы. Сущность способа заключается в заливке расплава в одноразовую форму, состоящую из двух предварительно скрепленных тонких оболочковых полуформ из песчано-смоляной смеси: мелкозернистого кварцевого песка (93...97 %) и термореактивной пластмассы, например, пульвербакелита (фенолоформальдегидной смолы в порошкообразном состоянии).

Последовательность изготовления полуформ показана на рис. 39. Металлическую модель с элементами литниковой системы закрепляют на модельной плите, нагревают до температуры 200 – 250 °С и насыпают песчано-смоляную смесь. Смола плавится, склеивает песчинки и через 15 – 25 с на модели (рис. 39, а) образуется полутвердая оболочка толщиной 6 – 12 мм. При повороте модельной плиты на 180° (рис. 39, б) остатки смеси осыпаются. Затем модельную плиту с оболочкой помещают в печь, где при температуре 280 – 320 °С в течение 2 – 3 мин происходит окончательное твердение оболочки. После извлечения из печи оболочку (полуформу) с помощью толкателей снимают с модели (рис. 39, в). Аналогичным способом изготавливают песчано-смоляные стержни для пустотелых отливок.

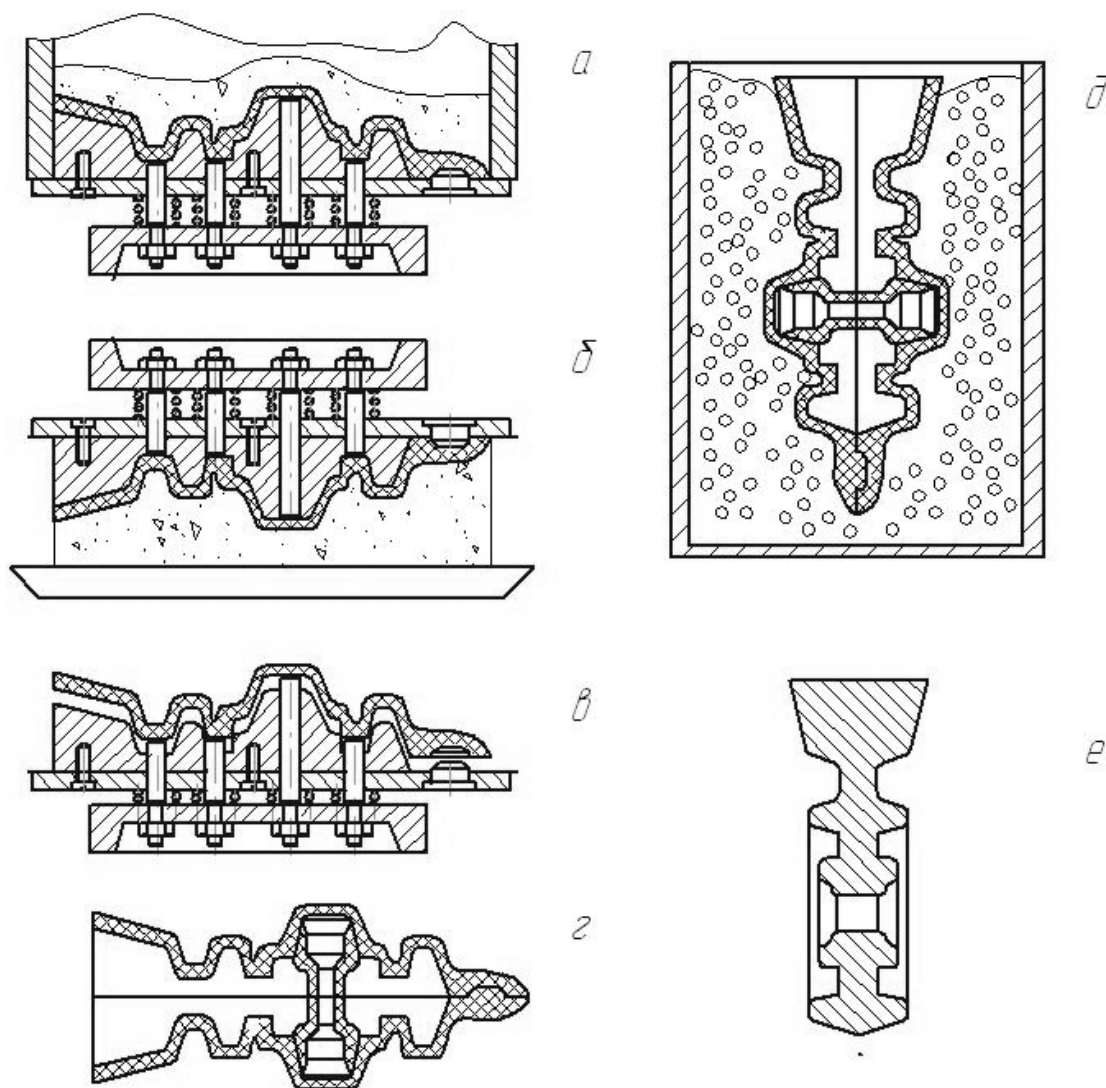


Рис. 39. Изготовление отливки в оболочковой форме

При сборке формы устанавливают стержень и совмещают полуформы по имеющимся на них выступам и впадинам. Скрепление полуформ производится металлическими скобами, струбцинами или склеиванием (рис. 39, *з*). Собранный форму помещают в опоку, засыпают снаружи сухим песком или металлической дробью (рис. 39, *д*) и заливают расплавом. После затвердевания отливки (рис. 39, *е*) оболочковая форма легко разрушается.

Литьём в оболочковые формы получают коленчатые и кулачковые валы, шатуны, цилиндры с ребрами жесткости и другие ответственные детали машин. По сравнению с литьем в песчано-глинистые формы этот способ литья позволяет на 20...40 % снизить массу отливок и на 40...60 % трудоемкость механической обработки.

Литьё по выплавляемым моделям. Этот способ литья основан на применении моделей из легкоплавкого материала (парафин, стеарин, воск и

другие) и специальных облицовочных материалов, наносимых в жидком состоянии на модель. Облицовочный материал состоит из жидкого связующего (гидролизированный раствор этилсиликата, жидкое стекло и др.) и огнеупорного наполнителя (пылевидный кварц, корунд, магнезит и т.п.).

Последовательность изготовления форм по выплавляемым моделям показана на рис. 40. Модель отливки (рис. 40, *а*) получают путем запрессовки модельного состава в пастообразном состоянии в пресс-форму (рис. 40, *б*). В отдельной пресс-форме изготавливают модель литниковой системы, к которой припаивают модели отливки, получая, таким образом, модельный блок (рис. 40, *в*). Затем модельный блок окунают в облицовочный состав (рис. 40, *г*) и обсыпают сухим кварцевым песком (рис. 40, *д*), повторяя эту операцию несколько раз. Каждый слой покрытия просушивается 2...4 часа на воздухе или 10...20 минут в парах аммиака через час после обсыпки. После нанесения и сушки последнего слоя из огнеупорной оболочки (формы) горячей водой или паром выплавляют модельный состав (рис. 40, *е*).

Полученную тонкостенную (4...6 мм) форму устанавливают в металлический контейнер и засыпают кварцевым песком, оставляя литниковую чашу доступной для заливки расплава. Затем контейнер помещают в печь, в течение 3..4 часов нагревают до температуры 850..950 °С и прокаливают форму 1...2 часа. В печи происходит выгорание остатков модельного состава и образование прочной керамической оболочки. Затем контейнер вынимают из печи и в горячую форму заливают расплав (рис. 40, *ж*).

После охлаждения отливки очищают от слоя огнеупорного покрытия. Из полостей и отверстий остатки формы удаляются химическим методом, например, выщелачиванием в кипящем растворе едкого калия, после чего следует промывка отливки в теплой воде с добавлением соды.

Литьём по выплавляемым моделям получают сложные по конфигурации и тонкостенные (до 0,3 мм) отливки для транспортного машиностроения, приборостроения, для изготовления деталей самолетов, лопаток турбин, режущих и измерительных инструментов. Литьё по выплавляемым моделям является самым длительным технологическим процессом из всех видов литья. Наибольший эффект достигается при производстве деталей, в структуре себестоимости которых большую долю составляют затраты на металл и фрезерную обработку, особенно при применении труднообрабатываемых конструкционных и инструментальных материалов.

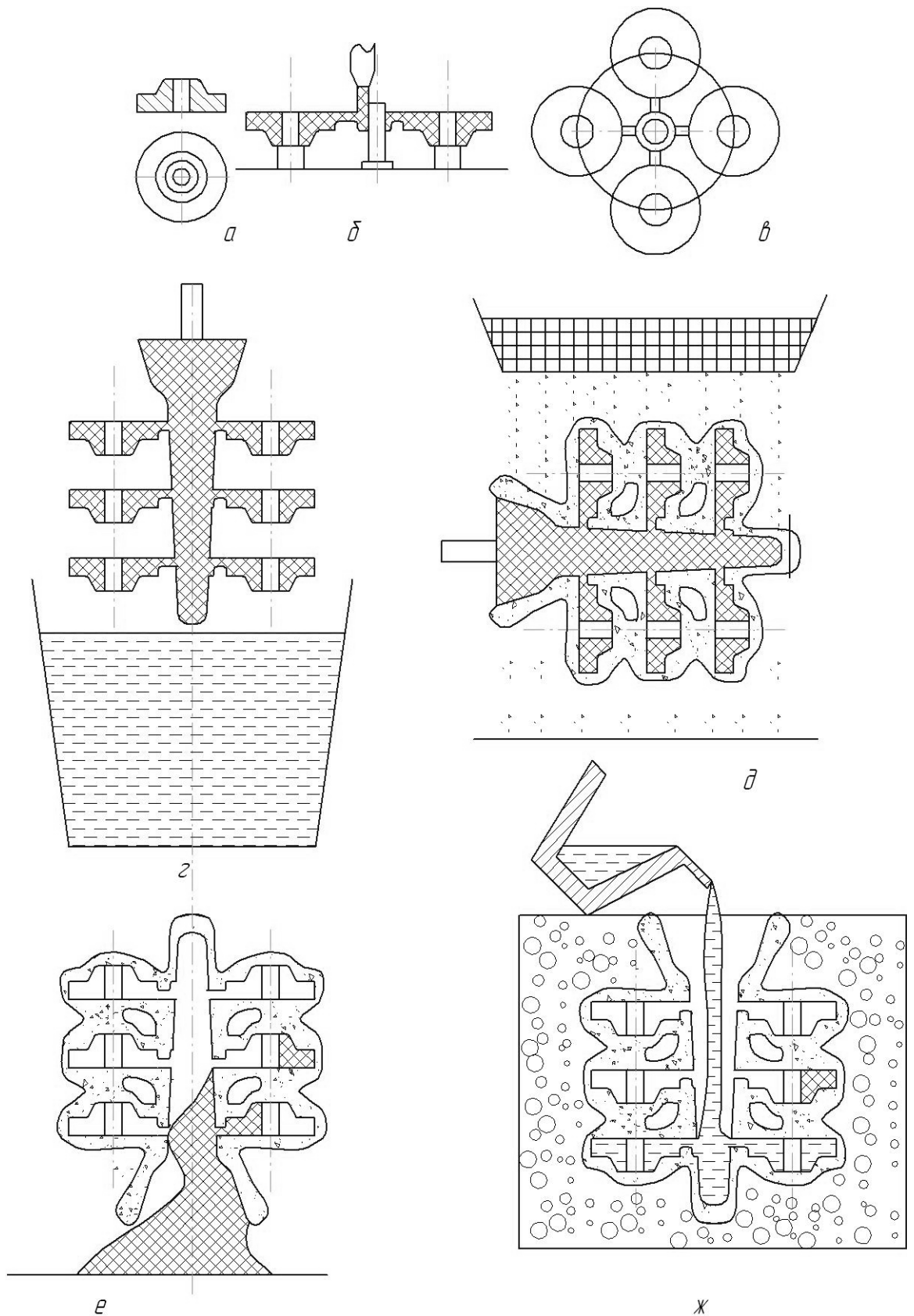


Рис. 40. Изготовление отливок способом литья по выплавляемым моделям

Литьё в металлические формы. Сущность способа состоит в получении литых деталей путем заливки расплава в многократно используемую ме-

таллическую форму (*кокиль*). Кокиль обычно состоит из двух полуформ с вертикальной или горизонтальной плоскостью разъема, иногда со сложной (комбинированной) поверхностью разъема. Неразъемный кокиль применяют в тех случаях, когда отливка имеет простую конфигурацию.

Перед заливкой расплава в кокиль поверхности рабочей полости и разъема очищают от загрязнений; проверяют легкость перемещения подвижных частей, точность их центрирования и надежность крепления. Затем на поверхность рабочей полости и металлических стержней наносят пульверизатором или кистью слой огнеупорного покрытия (*облицовка и краска*), которое *защищает* кокиль от резкого нагрева и схватывания с отливкой и *регулирует* скорость охлаждения отливки, что предопределяет свойства металла отливки. Для лучшего сцепления облицовки и краски с рабочими поверхностями кокиль нагревают до температуры 150 – 200 °С газовыми горелками или электронагревателями.

После нанесения огнеупорного покрытия кокиль нагревают до рабочей температуры 150 – 350 °С, значение которой определяется химическим составом заливаемого сплава, толщиной стенок и размерами отливки. При сборке кокилей устанавливают (если он предусмотрен) песчаный или металлический стержень. Затем полуформы соединяют и скрепляют специальными зажимами, после чего производят заливку кокиля расплавом. Для уменьшения обжатия металлического стержня при затвердевании и охлаждении отливки, после того как металл приобретает достаточную прочность стержень «подрывают», т.е. частично извлекают из отливки до ее удаления из кокиля. После охлаждения отливки до заданной температуры кокиль раскрывают, окончательно извлекают металлический стержень и удаляют отливку из кокиля. Песчаный стержень из отливки выбивают после извлечения отливки из кокиля, а затем отделяют литники, прибыли и выпоры.

Кокиль практически неподатлив и более интенсивно препятствует усадке отливки, что может вызвать коробление отливки, появление внутренних напряжений и трещин в отливке. Расположение отливки в форме, способ подвода расплава и вентиляционная система должны обеспечивать удаление воздуха и газов из кокиля при заливке расплава.

Литьё в кокиль позволяет в 2..3 раза повысить производительность труда в результате исключения операций приготовления формовочной смеси и формовки, уменьшения объема вредных для здоровья работающих операций выбивки форм, очистки отливок от пригара, обрубки. Для получения отливок заданного качества (требуемых механических свойств, структуры,

плотности, шероховатости, точности размеров) легче осуществлять регулирование технологических параметров процесса.

К недостаткам этого процесса следует отнести высокую стоимость кокиля, «отбел» поверхностного слоя в чугунных отливках и трудность получения тонкостенных отливок в связи с высокой интенсивностью охлаждения расплава в кокиле, ограниченную стойкость кокиля (особенно при получении стальных и чугунных отливок).

Литьё под давлением. Сущность способа заключается в том, что расплав заполняет металлическую форму и кристаллизуется в ней под избыточным давлением, после чего форму раскрывают и отливку удаляют. По способу создания давления различают: литьё под поршневым и газовым давлением, вакуумное всасывание, жидкую штамповку. Наиболее распространено формообразование отливок под поршневым давлением в литьевых машинах с *горячей* или *холодной* камерой сжатия.

В литьевой машине первого типа камера сжатия находится в тигле и сообщается с ним отверстием, через которое в нее поступает расплав. При движении поршня вниз отверстие перекрывается, и расплав по обогреваемому каналу поступает в полость пресс-формы, подогреваемой до температуры 150 – 240 °С. После затвердения отливки поршень возвращается в исходное положение, а остатки расплава из канала сливаются в камеру прессования. Пресс-форма раскрывается, отливка выталкивается из нее толкателями, после чего пресс-форма закрывается, и цикл повторяется.

В литьевой машине с холодной камерой сжатия расплавленный металл подается в разливочном ковше и заливается непосредственно в камеру прессования.

Литьё под давлением по сравнению с литьём в разовые формы позволяет снизить трудоемкость изготовления деталей в 10 – 12 раз при экономии металла до 30...40 %; получать отливки с минимальными припусками на механическую обработку, с отверстиями диаметром до 1 мм, с наружной и внутренней резьбой с шагом 0,7 мм. Отливки характеризуются высокими механическими свойствами, а сам процесс отличается высокой производительностью (до 500 отливок в час) и значительно меньшим загрязнением окружающей среды.

Центробежное литьё. Сущность способа состоит в заливке жидкого металла во вращающуюся металлическую или керамическую форму. Жидкий металл за счет центробежных сил прижимается к стенкам формы, растекается вдоль них и затвердевает.

Центробежное литьё даёт возможность без применения стержней получать полые отливки, а при последовательной заливке различных сплавов, например, стали и бронзы – биметаллические отливки. Длинные трубы и гильзы отливают на машинах с горизонтальной осью вращения, короткие втулки, кольца, зубчатые венцы – на машинах с вертикальной осью вращения.

По сравнению с литьём в песчано-глинистые и металлические формы центробежный способ литья обеспечивает более высокое качество отливок и увеличивает выход годного литья на 20...60 % за счёт отсутствия расхода металла на прибыли и выпоры.

Содержание работы

Работа включает: изучение сущности литья в песчано-глинистые формы, последовательности получения отливки и особенностей получаемых отливок, понимание сущности и технологических особенностей различных способов литейного производства, подготовку отчета.

Последовательность выполнения работы

1. Изучите до начала занятий по учебной литературе материал о получении литых заготовок и технологических особенностях различных способов литья. В начале занятий преподаватель осуществляет контроль готовности к выполнению данной работы.
2. Получите у преподавателя индивидуальное задание.
3. Проведение лабораторной работы:
 - ознакомьтесь с элементами модельной оснастки и последовательностью изготовления отливки в песчано-глинистую форму;
 - выполните эскиз литейной формы с указанием элементов литниковой системы, опок, модели и стержней.
5. Подготовьте отчет по работе.

Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Описание сущности литейного производства.
3. Эскиз литейной формы с описанием элементов литниковой системы, опок, модели, стержней и последовательности изготовления отливки.
4. Номер, формулировка или исходные данные индивидуального задания.
5. Ответы на поставленные вопросы с рисунками, схемами и со ссылкой на использованную литературу.

Вопросы для контроля

1. Опишите общую технологическую схему изготовления отливок.
2. Что такое литейная форма, и какие элементы образуют ее?
3. Что собой представляют формовочные и стержневые смеси? Из каких материалов их готовят, и какие требования предъявляют к ним?
4. Для чего предназначена литниковая система и из каких элементов она состоит?
5. Каким образом получают внутренние полости литых деталей?
6. Какие приемы ручной формовки используются при изготовлении крупных отливок?
7. В чем состоит сущность изготовления стержней?
8. Какие процессы являются заключительными при изготовлении отливок?
9. В чем состоит сущность операции «выбивка форм»?
10. В чем состоит сущность операции «очистка и обрубка отливок»?
11. Укажите основные дефекты и методы их исправления в отливках.
12. В какой последовательности осуществляется изготовление отливок в оболочковые формы?
13. В какой последовательности осуществляется изготовление отливок по выплавляемым моделям?
14. В какой последовательности осуществляется изготовление отливок при литье в кокиль?
15. В чем состоят особенности изготовления отливок в кокилях?
16. В чем заключается сущность изготовления отливок литьем под давлением? Укажите основные характеристики процесса.
17. В чем заключаются особенности изготовления отливок центробежным литьем?
18. Какой должна быть внешняя поверхность литой детали?
19. В чем заключаются особенности конструкций литых деталей, получаемых литьем в оболочковые формы и литьем по выплавляемым моделям?
20. В чем заключаются особенности конструкций литых деталей, получаемых литьем в кокиль и под давлением?
21. В чем заключаются особенности конструкций литых деталей, получаемых центробежным литьем?

9. СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

Цель работы: знание основ сварочного производства; формирование образного представления о сварочном производстве; умение распознавать особенности различных способов сварки, развитие конструкторско-технологического мышления и компетенции в области методов производства элементов конструкций и заготовок.

Общие сведения

Сварка является наиболее распространенным способом получения неразъемных соединений. Она применяется практически во всех областях техники для получения сложных по форме изделий любых размеров. Сваривают металлы, некоторые виды керамики и пластмасс, стекло и разнородные материалы. Сварку осуществляют на земле, под водой и в космосе. Сварные конструкции работают при знакопеременных и динамических нагрузках, при высоких температурах и давлениях.

Сварка – процесс получения неразъемного соединения путем образования межатомных связей по контактируемым поверхностям соединяемых заготовок при их нагреве, пластическом деформировании или при совместном действии того и другого. Для осуществления соединения необходимо освободить свариваемые поверхности от загрязнений (органических пленок, оксидов и адсорбированных газов), сблизить поверхности на расстояние, соизмеримое с параметром кристаллической решетки свариваемых материалов, или обеспечить энергетическую активацию поверхностных атомов для облегчения их взаимодействия друг с другом. В зависимости от степени воздействия внешних факторов и состояния металла в зоне соединения различают способы сварки плавлением и давлением.

При *сварке плавлением* атомно-молекулярные связи между деталями создают, оплавляя примыкающие поверхности заготовок так, чтобы получилась смачивающая их общая ванна расплавленного металла, который затвердевает при охлаждении и соединяет детали в единое целое. Для заполнения зазора между соединяемыми деталями и формирования сварочной ванны расплавляют дополнительный (присадочный) металл. К сварке плавлением относят *дуговую сварку, электрошлаковую, газовую, плазменную, лазерную, электронно-лучевую и термитную*.

При *сварке давлением* обязательным условием является совместная пластическая деформация соединяемых заготовок. Для уменьшения усилия деформирования может применяться подогрев металла в зоне контакта до пластичного состояния, при этом температура нагрева обычно ниже темпера-

туры плавления. В некоторых процессах осуществляется кратковременный нагрев зоны соединения до расплавления с последующим сжатием заготовок. Виды сварки давлением: *холодная, ультразвуковая, трением, взрывом, контактная, высокочастотная, диффузионная* и другие.

9.1. Дуговая сварка

Дуговой сваркой называется сварка плавлением, при которой нагрев кромок свариваемых деталей осуществляется теплотой электрической дуги. В зависимости от способов защиты зоны сварки от кислорода воздуха различают: ручную дуговую сварку металлическими электродами с покрытием; автоматическую и полуавтоматическую сварку под слоем флюса; дуговую сварку в среде защитных газов.

Сварочная дуга представляет собой стабильный электрический разряд (электрический ток высокой плотности) в ионизированной среде газов и паров металла. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения. По длине дугового промежутка дуга разделяется на три области (рис. 41): катодную, анодную и находящийся между ними столб дуги.

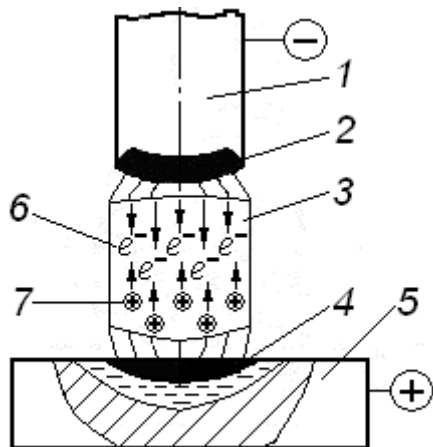


Рис.41. Схема сварочной дуги

Катодная область включает в себя нагретую поверхность электрода 1, называемую катодным пятном 2, и часть дугового промежутка, примыкающую к ней. Температура катодного пятна для стальных электродов достигает 2400...2700 °С. На нем выделяется до 38% общей теплоты дуги. Основным физическим процессом в этой области является электронная эмиссия и разгон электронов 6.

Анодная область состоит из анодного пятна 4, находящегося на поверхности расплавленного металла изделия 5, и части дугового промежутка, примыкающего к нему.

Анодное пятно является местом входа и нейтрализации свободных электронов в материале анода. В результате бомбардировки электронами на нем выделяется больше тепловой энергии, чем на катоде. Температура анода достигает 2500...2900 °С. При сварке дугой переменного тока температуры анода и катода выравниваются вследствие периодической смены полярности.

В столбе дуги 3 основным физическим процессом является ионизация

газа 7, которая происходит в результате соударения заряженных (в первую очередь электронов) и нейтральных частиц газа. Температура столба дуги достигает 6000...7000 °С. Электрические свойства дуги описываются *статической вольт-амперной характеристикой*, представляющей собой зависимость между напряжением и током дуги в состоянии устойчивого горения при постоянной длине дуги.

Кривая статической характеристики (рис. 42, а) состоит из трех участков: падающего *I*, жесткого *II* и возрастающего *III*. На участке *I* с повышением силы тока увеличивается степень ионизации среды с увеличением площади сечения столба дуги и его электропроводности, и напряжение для поддержания дуги уменьшается. Дуга в этой области отличается малой устойчивостью, что ограничивает ее применение.

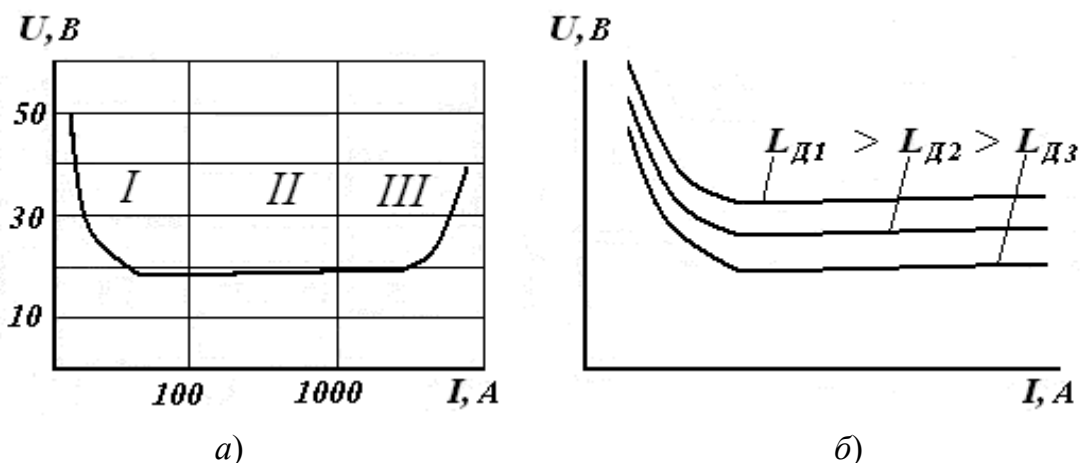


Рис. 42. Статическая вольт-амперная характеристика дуги (а) и зависимость напряжения дуги от ее длины (б)

На участке *II* пропорционально силе тока возрастает сечение столба дуги, а плотность тока и падение напряжения в дуге остаются постоянными. Дуга при этом горит устойчиво и обеспечивает нормальный процесс сварки. На участке *III* при повышении тока рост сечения дуги ограничивается сечением электрода, т.е. диаметр катодного пятна становится равным диаметру электрода и увеличиваться дальше не может. В результате чего возрастает плотность тока и напряжение дуги.

При изменении длины дуги кривая вольт-амперной характеристики будет менять свое месторасположение (рис. 42, б). Напряжение дуги U_d в диапазоне устойчивых режимов пропорционально ее длине:

$$U_d = a + b \cdot L_d, \quad (33)$$

где L_d – длина дуги ($0 < L_d < 8$ мм); a – сумма падений напряжения в катодной и анодной областях; b – коэффициент, выражающий среднее падение напряжения на единицу длины дуги. Величины a и b зависят от рода сва-

риваемого металла, состава газовой среды (например, наличия легко ионизирующихся компонентов Ca, Na, K и т.п.) и других факторов (для стальных электродов $a = 10$ В, $b = 2$ В/мм при $l_D = 2 \dots 8$ мм).

Разные участки вольт-амперной характеристики дуги соответствуют конкретным способам сварки и служат обоснованием для *внешней характеристики* источника питания (зависимость напряжения на его клеммах от тока в электрической цепи). При ручной дуговой и сварке в защитных газах неплавящимся электродом внешняя характеристика дуги – падающая с переходом к жесткой, при автоматической сварке под флюсом – жесткая с переходом к возрастающей, при сварке в защитном газе плавящимся электродом – возрастающая.

Подводимая к свариваемому изделию теплота характеризуется величиной тепловой мощности дуги. *Полная тепловая мощность* дуги Q , Дж/с:

$$Q = k \cdot J_{св} \cdot U_D, \quad (34)$$

где k – коэффициент несинусоидальности напряжения и тока (для постоянного тока $k = 1$, для переменного тока $k = 0,7 \dots 0,97$), $J_{св}$ – сварочный ток, А; U_D – напряжение дуги, В.

Часть мощности дуги теряется в результате теплоотдачи в окружающую среду. Количество теплоты, используемое на нагрев и расплавление электрода и основного металла в единицу времени, называется *эффективной тепловой мощностью* дуги $Q_{эф}$, Дж/с:

$$Q_{эф} = \eta \cdot Q, \quad (35)$$

где η – коэффициент полезного действия дуги, зависящий от способа сварки, вида и состава сварочных материалов. Для сварки в защитных газах, ручной дуговой сварки металлическими электродами с покрытием и автоматической сварки под флюсом среднее значение η соответственно равно 0,6; 0,8 и 0,9.

Ручная дуговая сварка

Ручная дуговая сварка (рис. 43) относится к технологиям дуговой сварки плавящимся электродом, когда сварка выполняется вручную с использованием стержневого электрода с покрытием. Все операции по зажиганию, поддержанию и перемещению дуги 4 относительно изделия ($\mathcal{G}_{св.}$), а также подачи электрода 5 в зону сварки ($\mathcal{G}_{эл.}$) выполняет сварщик, манипулируя электрододержателем 6.

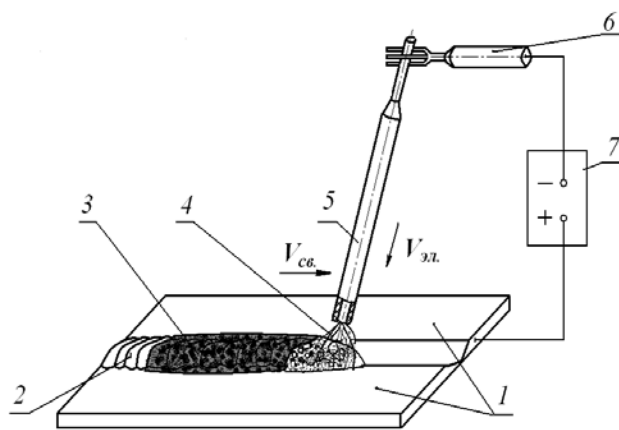


Рис. 43. Схема ручной дуговой сварки

Зажигание дуги осуществляют следующим образом: после короткого замыкания на заготовку 1 электрод 5 отводят на расстояние 3...6 мм до возникновения устойчивой сварочной дуги 4. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл стекает в сварочную ванну. Покрытие электрода также плавится и образует защитную атмосферу вокруг дуги и шлаковую ванну на поверхности металла. По мере движения дуги расплавленный металл затвердевает и формирует сварной шов 2. Жидкий шлак превращается в твердую корку 3, удаляемую после сварки.

При ручной дуговой сварке обычно применяют источник питания 7 постоянного тока. При постоянном токе повышается устойчивость горения дуги, улучшаются условия сварки в различных пространственных положениях, возможна сварка электродами с тугоплавкими покрытиями и т.д. Для защиты лица сварщика от разбрызгивания металла, светового, инфракрасного и ультрафиолетового излучения применяется сварочная маска. Ручной дуговой сваркой выполняют сварные швы произвольной формы во всех пространственных положениях.

Электроды для ручной дуговой сварки (ГОСТ 9466–75) изготавливают из сварочной проволоки диаметром 1,6; 2; 2,5; 3; 4; 5, 6, 8, 10 и 12 мм и длиной 150...450 мм. Проволока имеет буквенно-цифровое обозначение, включающее диаметр (0,3...12 мм), ее назначение («Св» – сварочная) и химический состав, например 0,5Св–08ГС. В конце марки через дефис может быть указана: «О» – омедненная проволока, «Э» – для изготовления электродов, например 3Св–10ХМА–О; 2,5Св–06Х20Н11М3Т–Э.

В обозначении электродов для сварки конструкционных сталей (Э38...Э150) число означает предел прочности наплавленного металла в кг/мм² (10⁻¹ МПа), в обозначение электродов для сварки жаропрочных и высоколегированных сталей входит марочный состав наплавляемого металла (Э–10Х5МФ, Э–08Х19Н10Г2МБ и т.д.). Покрытие электрода предназначено для обеспечения стабильного горения дуги, защиты расплавленного металла от воздействия содержащегося в атмосфере кислорода и получения металла

шва заданного состава и свойств. В состав покрытия входят стабилизирующие, шлакообразующие, газообразующие, раскисляющие, легирующие и связующие составляющие.

Дуговая сварка под флюсом

При этом способе сварки используют сварочную проволоку без покрытия в качестве плавящегося электрода и флюс в виде гранулированного порошка для обеспечения устойчивого горения дуги, защиты сварочной ванны от воздуха, для раскисления и легирования металла шва необходимыми элементами. *Автоматическая* дуговая сварка под флюсом выполняется неподвижными подвесными сварочными головками и передвижными сварочными автоматами (сварочными тракторами), которые обеспечивают перемещение электрической дуги по всей длине соединяемых деталей. При использовании сварочных головок сварной шов формируется за счет прямолинейного или вращательного движения соединяемых заготовок. *Полуавтоматическая* дуговая сварка под флюсом отличается от автоматической сварки отсутствием механизма перемещения электрода вдоль сварного шва. При дуговой сварке под флюсом механизирована подача проволоки и флюса, автоматизированы процессы зажигания дуги и заварки кратера (углубление в сварочной ванне, образующееся под действием дуги) в конце шва.

В процессе дуговой сварки под флюсом (рис. 44) сварочная дуга 5 горит между проволокой 1 и основным металлом 6. Проволока подается в зону сварки с помощью механизма подачи 2, ток к электроду подается через контакт 3. Часть флюса 4 расплавляется и образует вокруг дуги защитную газовую полость, а на поверхности сварочной ванны 9 – слой жидкого шлака 8. По мере продольного перемещения дуги (электрода) относительно изделия с заданной скоростью $V_{св}$ металлическая и шлаковая ванны затвердевают с образованием сварного шва 12, покрытого шлаковой коркой 10. Нерасплавившийся флюс всасывающим устройством 11 подается обратно в бункер 7, а шлаковая корка после сварки удаляется.

При выполнении односторонних швов с полным проваром для предупреждения прожогов предварительно подваривают корень шва или применяют технологическую подкладку 13: остающуюся стальную, съемную медную или флюсовую. Сварка под флюсом проводится сварочной проволокой диаметром 2...12 мм при плотности тока 30...100 А/мм², при этом глубина проплавленного металла равна 7...20 мм.

Дуговая сварка в защитных газах

При дуговой сварке в защитном газе электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа. Сварка может быть автоматической, механизированной и ручной, выполняться в любом пространственном положении плавящимся или неплавящимся электродом. В качестве защитных газов применяют инертные газы (аргон и гелий), активные газы (углекислый газ, азот, водород и др.) или смеси двух газов. В промышленных условиях наиболее распространено применение аргона Ar и углекислого газа CO_2 .

Аргонодуговую сварку выполняют как неплавящимся (стержень диаметром 1...10 мм из вольфрама с добавками оксидов тория, лантана и иттрия), так и плавящимся электродом (сварочная проволока диаметром 0,6...3 мм). Применяют для сварки углеродистых и легированных сталей, сплавов с особыми химическими и физическими свойствами, цветных металлов (титана, алюминия, магния, меди и т.д.) и их сплавов при толщине металла 0,8...6 мм.

Сварку *неплавящимся* электродом ведут на постоянном (рис. 45, а), переменном или импульсном токе. Зажигание дуги (ионизацию газовой среды) производят с помощью высокочастотного электрического разряда через дуговой промежуток. Для этого в сварочную цепь подключают осциллятор – источник высокочастотного переменного тока высокого напряжения. Для получения выпуклости (усиления) шва или заполнения разделки кромок (при толщине металла более 3 мм) в зону сварки (в дугу) подают присадочный материал в виде прутка или проволоки, диаметр которых составляет 0,5...1,5 диаметра вольфрамового электрода.

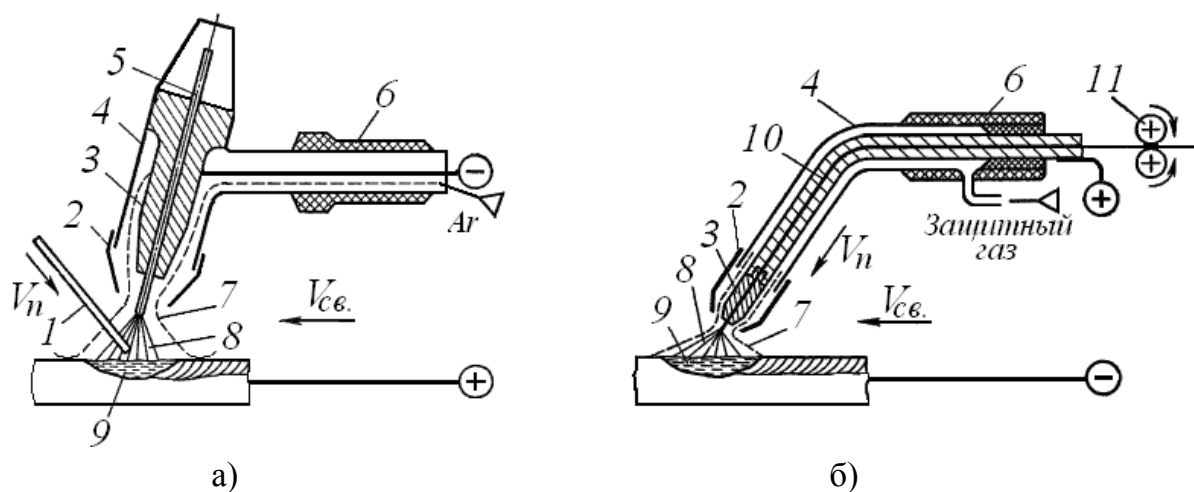


Рис. 45. Виды сварки в защитных газах:

- 1 – присадочный пруток или проволока; 2 – сопло; 3 – токоподводящий мундштук;
- 4 – корпус горелки; 5 – неплавящийся вольфрамовый электрод; 6 – рукоятка горелки;
- 7 – атмосфера защитного газа; 8 – сварочная дуга; 9 – ванна расплавленного металла;
- 10 – сварочная проволока (плавящийся электрод); 11 – механизм подачи

При сварке на постоянном токе прямой полярности дуга горит устойчиво при напряжении 10...15 В и минимальном токе 10 А. При обратной полярности тока возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость дуги и снижается стойкость вольфрамового электрода, что делает ее непригодной для широкого применения в сварочном производстве. Однако при применении дуги обратной полярности на поверхности свариваемого металла происходит механическое разрушение тугоплавкой оксидной пленки потоком тяжелых положительных ионов аргона. Это свойство дуги обратной полярности используют при сварке алюминиевых и магниевых сплавов, применяя для питания дуги источники переменного тока, оснащенных стабилизаторами горения дуги. Сварка металла толщиной 0,2...1,5 мм производится в импульсном режиме путем наложения на маломощную постоянную (дежурную) дугу более мощной кратковременной дуги через определенный интервал времени. В этом случае применяют источники импульсного тока, разработанные на основе универсальных и инверторных выпрямителей.

Сварку *плавящимся* электродом (рис. 45, б) выполняют с помощью сварочных полуавтоматов, укомплектованных механизмами подачи сварочной проволоки диаметром 0,6...3 мм, на постоянном токе обратной полярности. Нормальное протекание процесса сварки и формирование качественного шва обеспечиваются высокой плотностью тока (100 А/мм^2 и выше), применением проволоки малого диаметра (0,6...3 мм) и большой скоростью ее подачи (до 15 м/мин).

Сварку в углекислом газе выполняют только плавящимся электродом при высокой плотности (не менее $80...100 \text{ А/мм}^2$) постоянного тока обратной полярности. При механизированной (полуавтоматической) сварке (рис. 45, б) используют сварочный полуавтомат, состоящий из источника питания, блока управления, механизма подачи проволоки в зону сварки и системы подачи защитного газа к сварочной горелке, которую сварщик вручную перемещает вдоль свариваемых заготовок. При автоматической сварке перемещение электрической дуги вдоль сварного шва механизировано. Основным недостатком сварки в углекислом газе сильное разбрызгивание металла, для уменьшения которого применяют смеси газов: $\text{CO}_2 + (5...15) \% \text{O}_2$ или $\text{Ar} + (10...20) \% \text{CO}_2$.

В углекислом газе сваривают конструкции из углеродистой и низколегированной стали с применением сварочной проволоки диаметром 0,5...2 мм. Повышенное содержание в проволоке (Св-08ГС, Св-10Г2С и т.д.) раскислителей (марганца и кремния) нейтрализует окислительные действия углекис-

слога газа CO_2 , который при высоких температурах диссоциирует на оксид углерода CO и кислород O . При сварке в CO_2 для повышения защиты расплавленного металла используют *порошковую* проволоку – металлическую трубчатую оболочку, заполненную шлакообразующими и газообразующими компонентами, раскислителями или легирующими элементами. Разновидностью порошковых проволок являются *самозащитные* проволоки, оболочка которых изготовлена из легированной стали, а в наполнитель введены соединения редкоземельных металлов. Эти проволоки применяют для обеспечения устойчивого горения дуги и раскисления расплавленного металла при отсутствии или недостаточно надежной газовой защите (сварка неповоротных стыков труб газо- и нефтепроводов, наплавке зубьев и ковшей экскаваторов, подводной сварке и т.д.).

9.2. Лучевые способы сварки

Электронно-лучевая сварка основана на использовании в качестве источника теплоты кинетической энергии электронного луча, который представляет собой сжатый поток электронов, перемещающийся с большой скоростью от катода к аноду в электрическом поле. При встрече потока с твердым телом кинетическая энергия электронов практически полностью переходит в тепловую энергию, что приводит к нагреву материала в зоне соударения до температуры $5000 \dots 6000 \text{ }^\circ\text{C}$.

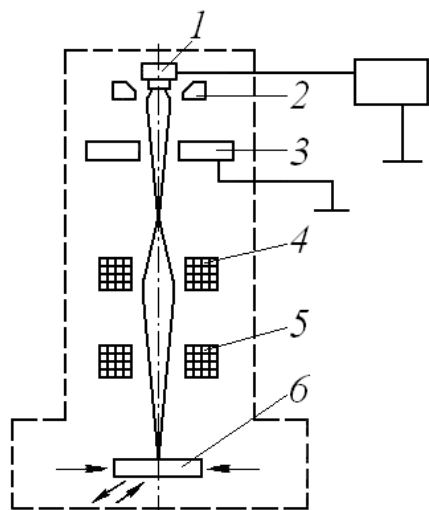


Рис. 46. Схема установки для электронно-лучевой сварки

В установках для электронно-лучевой сварки (рис. 46) поток электронов образуется за счет их эмиссии с нагретого в вакууме ($10^{-3} \dots 10^{-4} \text{ Па}$) катода 1 электронной пушки, формируется в пучок электродом 2 и ускоряется под действием разности потенциалов ($20 \dots 150 \text{ кВ}$) между катодом и анодом 3. Затем пучок электронов фокусируется в виде луча магнитной системой 4 (электромагнитная линза) и направляется магнитной отклоняющей системой 5 на свариваемое изделие 6. При перемещении заготовок под электронным лучом формируется сварной шов. Иногда при выполнении сварки перемещают сам луч вдоль неподвижных кромок заготовок с помощью магнитной системы 5, которую можно использовать

иногда при выполнении сварки перемещают сам луч вдоль неподвижных кромок заготовок с помощью магнитной системы 5, которую можно использовать

также для отклонения луча поперек шва с целью регулировки теплового воздействия на свариваемый материал.

В современных электронно-лучевых установках для сварки, сверления, резки и других операций электронный луч фокусируется в зоне обработки материала на площади диаметром менее 0,1 мм, что позволяет получать высокую удельную мощность (выше $5 \cdot 10^5$ кВт/м²) и интенсивный точечный нагрев. Высокая концентрация теплоты в пятне нагрева приводит к очень быстрому плавлению и затвердеванию металла, в результате чего шов получается мелкозернистым с высокими механическими свойствами, а ширина зоны термического влияния сводится до минимума (менее 1 мм). Форма шва имеет вид длинного узкого клина ("кинжальный проплав"), соотношение глубины проплавления к ширине может достигать 20:1. Уменьшение протяженности зоны термического влияния (примерно в 25 раз меньше, чем при дуговой сварке) снижает вероятность рекристаллизации основного металла в этой зоне. Сокращение затрат энергии на единицу длины шва (в 4...5 раз меньше, чем при дуговой сварке) существенно уменьшает коробление изделия.

Регулирование мощности и фокусировки нагрева электронным лучом позволяет за один проход сваривать металлы толщиной от десятых долей миллиметра до 100 мм и более. Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из *тугоплавких* металлов (вольфрама, тантала, молибдена, ниобия и др.), керамики и разнородных сплавов со значительной разностью толщин. Из-за отсутствия насыщения расплавленного и нагретого металла газами достигается высокое качество сварных соединений *химически активных* металлов, таких как цирконий, титан и др. Хорошее качество электронно-лучевой сварки достигается также на низкоуглеродистых, коррозионно-стойких сталях; медных, никелевых и алюминиевых сплавах.

Недостатки электронно-лучевой сварки: сложность процесса и высокая стоимость оборудования, наличие рентгеновского и электромагнитного излучений, низкая производительность из-за необходимости создания вакуума в рабочей камере после загрузки изделий.

Лазерная сварка – это сварка плавлением, которая использует энергию лазерного луча – сфокусированного монохроматического когерентного излучения (потока фотонов) с определенной длиной волны (от 0,1 до 1000 мкм), которое возникает в результате вынужденных скачкообразных переходов возбужденных атомов рабочих тел (рубин, стекло с неодимом и др.) или рабочего вещества (СО₂ в смеси с аргоном и гелием и др.) на более низкие энергетические уровни. Получение и формирование потока фотонов достига-

ется при помощи оптического квантового генератора (лазера). Системы управления и фокусировки встраивают в конструкцию лазера или выполняют в виде отдельных блоков. Лазерный луч может быть сфокусирован в пятно от десятых долей миллиметра до десятков микрометров, что позволяет получать удельную мощность в фокусе свыше 10^9 Вт/см².

Лазерный луч при встрече с препятствием (свариваемым материалом) частично отражается от его поверхности, частично поглощается ею, переходя в теплоту. В результате расплавления примыкающих поверхностей заготовок и последующей кристаллизации этого расплава образуется узкий ("ниточный", "кинжальный") шов. Особенностью лазерной сварки является малая зона нагрева (0,1...0,2 мм), практически отсутствие деформации изделия после сварки, которую можно проводить в различных пространственных положениях, и в отличие от электронно-лучевой сварки не требуется специальных вакуумных камер.

Различают сварку малых толщин (глубина проплавления до 1 мм, плотность мощности в зоне воздействия $10^5 \dots 10^6$ Вт/см²) и сварку с глубоким проплавлением (плотность мощности излучения около 10^7 Вт/см²), которую проводят только в автоматическом режиме. Сварку малых толщин осуществляют с применением твердотельных или газовых лазеров мощностью до 1 кВт для работы в непрерывном режиме (шовная сварка) и мощностью до 300 Вт – в импульсном режиме (энергия в импульсе 100 Дж и более). Для сварки с глубоким проплавлением (до 10 мм и выше) применяют лазеры с выходной мощностью в несколько киловатт: импульсно-периодические твердотельные или непрерывные СО₂-лазеры. Эффективность сварки с глубоким проплавлением существенно повышается при совместном действии лазерного излучения и недорогих источников нагрева, например электрической дуги или магнитного поля. Сварка с глубоким проплавлением требует высокой точности и стабильности направления воздействия лазерного излучения (допуск на отклонение оси лазерного луча не более 0,2 мм при длине шва в несколько метров), тщательной подготовки кромок свариваемых деталей и их сборке (зазор между деталями менее 0,3 мм).

Лазерную сварку малых толщин применяют в различных отраслях промышленности (электронной, радиотехнической, приборостроительной, машиностроительной, пищевой и т.д.) в производстве элементов микросхем, кинескопов, вакуумных приборов, для заваривания аэрозольных баллонов и консервных банок, для герметизации капсул для лекарств и корпусов различных изделий. Лазерную сварку с глубоким проплавлением используют в

производстве двигателей и обшивки самолетов, автомобилей и судов, для сварки труб и арматурных конструкций, при изготовлении деталей из углеродистых и легированных сталей, алюминиевых, магниевых, титановых, никелевых сплавов и разнородных материалов. Сравнение лазерной сварки с электронно-лучевой сваркой по технологическим и экономическим параметрам показывает, что лазерная сварка предпочтительнее при сварке различных металлов толщиной до 5 мм.

9.3. Контактная сварка

Контактная сварка относится к видам сварки давлением с кратковременным нагревом зоны соединения без оплавления или с оплавлением металла и с последующим пластическим деформированием разогретых заготовок в зоне контакта.

При контактной сварке металл нагревается за счет выделения тепла при прохождении электрического тока большой плотности ($100 \dots 300 \text{ А/мм}^2$) при напряжении $0,3 \dots 10 \text{ В}$ через свариваемые заготовки. Наибольшее количество теплоты выделяется в зоне сварочного контакта, где электрическое сопротивление больше из-за шероховатости поверхности и наличия органических и оксидных пленок с малой электропроводимостью. Количество выделяемой теплоты Q определяется по формуле:

$$Q = J^2 \cdot R \cdot t , \quad (36)$$

где J – сварочный ток, А; R – сопротивление участка цепи в зоне контакта, Ом; t – продолжительность протекания тока, с.

При выделении большого количества теплоты в зоне контакта происходит быстрый нагрев металла до термопластичного состояния или оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых заготовок металл деформируется, поверхностные оксидные пленки разрушаются и удаляются к периферии стыка. В соприкосновение приходят чистые (без оксидных пленок) слои металла, образующие сварное соединение. По типу получаемого соединения контактную сварку (рис. 47) разделяют на стыковую, точечную и шовную (роликовую).

Стыковая сварка – вид контактной сварки, при которой соединение происходит по всей поверхности соприкосновения стыкуемых частей заготовок (рис. 47, а). Свариваемые заготовки 1 закрепляют в неподвижном 2 и подвижном 3 зажимах – электродах, подключенных к вторичной обмотке сварочного трансформатора 4. Для обеспечения электрического контакта на стыкуемых поверхностях заготовки сжимаются осевой силой P . При включе-

нии тока металл в зоне контакта разогревается и под действием сжимающего усилия P деформируется (осаживается). При определенной величине осадки (установочной длине) происходит отключение электрического тока. Установочная длина зависит от площади поперечного сечения заготовок и теплофизических свойств металла свариваемых заготовок.

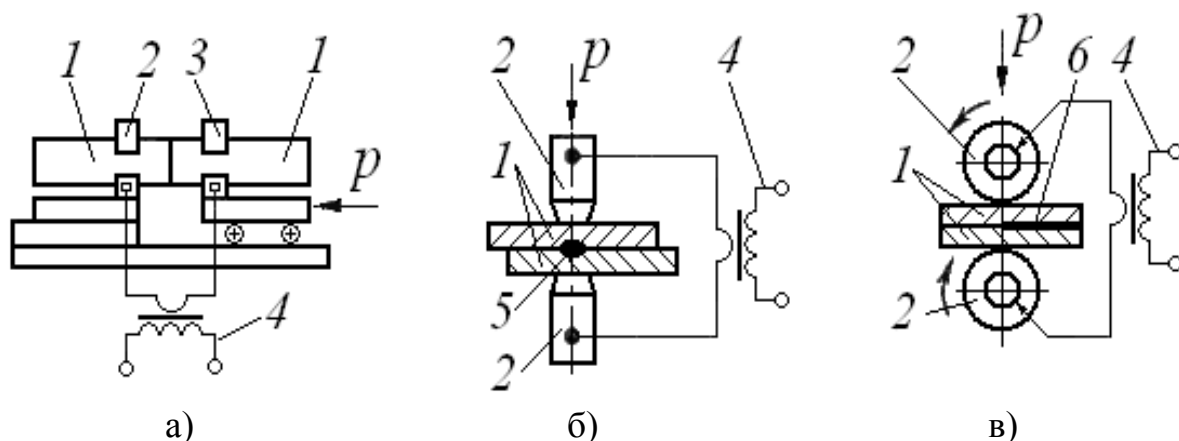


Рис. 47. Схемы контактной сварки: стыковая (а), точечная (б) и шовная (в)

Стыковую сварку с разогревом металла стыка до состояния высокой пластичности и последующей осадкой называют *сваркой сопротивлением*, а при разогреве торцов до оплавления и последующей осадкой – *сваркой оплавлением*. Стыковая сварка сопротивлением применяется для сварки заготовок небольших сечений (до 100 мм^2), так как с увеличением сечения нагрев металла будет неравномерным из-за неровности контактируемых поверхностей и наличия оксидных пленок.

Сварка оплавлением не требует предварительной тщательной обработки торцов. Контакт заготовок по одиночным выступам из-за высокой плотности тока приводит к их оплавлению, а затем и оплавлению всей поверхности стыка. При сварке оплавлением выравниваются все неровности стыка, расплавленный металл вместе с оксидами удаляется (выбрасывается) из зоны сварки под действием магнитного поля, образующегося при протекании тока высокой плотности. После равномерного оплавления всей поверхности стыка ток отключают и заготовки осаживаются. Сжимающее усилие P во время оплавления металла обеспечивает только перемещение заготовки. Перед отключением тока усилие возрастает и действует до момента заданной осадки всей поверхности стыка. Сваркой оплавлением можно сваривать заготовки с сечением $300 \dots 500 \text{ мм}^2$.

Контактную стыковую сварку применяют для углеродистых и легированных сталей, сплавов из цветных металлов и разнородных металлов (угле-

родистая и инструментальная сталь, медь и алюминий и т.д.). Этот способ сварки используют для изготовления элементов трубчатых конструкций, рельсов, арматуры, ленточных пил, деталей сложной формы с различной площадью сечения заготовок, режущего инструмента (сверла, развертки, метчики) и других изделий.

Точечная сварка – разновидность контактной сварки, при которой соединение заготовок происходит в отдельных точках (рис. 47, б). При точечной сварке заготовки 1 очищают от загрязнений, накладывают друг на друга и сжимают с усилием P медными электродами 2, подсоединенными к обмотке трансформатора 4. Диаметр электрода выбирают на 3...4 мм больше суммарной толщины свариваемых листов. При прохождении электрического тока наибольшее количество теплоты выделяется на участке наибольшего сопротивления цепи, т.е. в зоне соединения свариваемых поверхностей. Соприкасающиеся с медными электродами поверхности свариваемых заготовок нагреваются медленнее их внутренних слоев. Нагрев продолжают до перехода в пластичное состояние наружных и расплавления внутренних слоев металла (образования литого ядра точки 5), после чего выключают ток и увеличивают усилие P (режим проковки) для формирования и улучшения структуры сварной точки.

В зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам точечная сварка может быть двусторонней (рис. 47, б) и односторонней, когда оба электрода сверху сжимают заготовки. Для обеспечения нужного нагрева в этом случае под нижнюю заготовку устанавливают медную подкладку. Односторонней сваркой можно соединять заготовки одновременно двумя точками. Принцип односторонней точечной сварки используют в машинах для многоточечной сварки, которые позволяют за одну установку изделия получить от 2 до 200 сварочных точек.

Диаметр сварной точки зависит от толщины свариваемых листов и параметров режима сварки: силы тока или плотности тока, времени его протекания, силы и продолжительности сжатия. Различают два режима сварки: жесткий и мягкий. Жесткий режим характеризуется большой плотностью тока и малым временем процесса сварки (плотность тока 160–360 А/мм², длительность цикла 0,2...1,5 с) и применяется для сварки сталей, чувствительных к нагреву и склонных к образованию сварочных структур, а также легкоплавких цветных сплавов. Мягкий режим характеризуется большей продолжительностью процесса и более плавным нагревом свариваемого металла

(плотность тока $70\text{...}160 \text{ А/мм}^2$, длительность цикла $2\text{...}3 \text{ с}$) и используется для сварки малоуглеродистых сталей.

Точечная сварка широко применяется при производстве изделий из листовых материалов толщиной $0,5\text{...}5 \text{ мм}$ из углеродистых, легированных сталей и сплавов, алюминиевых сплавов в автомобилестроении, приборостроении и других отраслях промышленности.

Шовная сварка – разновидность контактной сварки, при которой соединение заготовок, собранных внахлестку, выполняется в виде непрерывного или прерывистого шва (рис. 47, в) вращающимися дисковыми электродами (медными роликами). При шовной сварке листовые заготовки 1 накладывают друг на друга, сжимают электродами 2 с постоянным усилием P и включают источник питания 4 (понижающий трансформатор). При непрерывном движении роликов по заготовкам образуются перекрывающиеся друг друга сварные точки б, в результате чего образуется сплошной герметичный шов. Шовную сварку, как и точечную, можно выполнять при двустороннем и одностороннем расположении электродов.

В зависимости от периодичности включения тока различают два способа шовной сварки: *непрерывную* (ток включен постоянно) и *прерывистую* (периодическое включение тока). Непрерывную сварку применяют для коротких швов и сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, не претерпевающих заметных структурных превращений металла при перегреве околошовной зоны. Прерывистая шовная сварка обеспечивает стабильность процесса и высокое качество сварного соединения при небольшой зоне термического влияния. Её используют при сварке длинных швов на заготовках из высоколегированных сталей и сплавов цветных металлов (алюминиевых, никелевых и других).

Шовную контактную сварку применяют для получения герметичных швов при производстве различных резервуаров, емкостей, труб, конструкций из листового металла толщиной $0,3\text{...}3 \text{ мм}$.

Содержание работы

Работа включает: изучение сущности различных способов сварки и последовательности получения сварных конструкций; понимание технологических особенностей различных способов сварочного производства, подготовку отчета.

Последовательность выполнения работы

1. Изучите до начала занятий по учебной литературе материал о сущности и технологических особенностях различных способов сварки. В начале занятий преподаватель осуществляет контроль готовности к выполнению данной работы.

2. Получите у преподавателя индивидуальное задание.

3. Проведение лабораторной работы:

– ознакомьтесь со сварочным оборудованием и последовательностью изготовления элементов сварных конструкций;

– выполните эскиз сварного изделия с описанием особенностей подготовки заготовок (способ получения, наличие механической обработки, разделка кромок и т.д.) и наблюдаемого способа сварки (зажигание дуги, использование приспособлений, технологических подкладок и т.д.).

5. Подготовьте отчет по работе.

Содержание отчета

1. Наименование работы.

2. Описание сущности увиденного способа сварки.

3. Эскиз сварного изделия с описанием особенностей подготовки заготовок и наблюдаемого способа сварки.

4. Номер, формулировка и исходные данные индивидуального задания.

5. Ответы на поставленные вопросы с рисунками, схемами и со ссылкой на использованную литературу.

Вопросы для контроля

1. Какие основные условия необходимо выполнить для получения сварного соединения?

2. По каким признакам различают способы сварки?

3. Что называется сварочной дугой? Опишите процессы, протекающие на отдельных ее участках.

4. Как производится зажигание электрической дуги?

5. Что такое статическая вольт-амперная характеристика дуги и ее основные свойства?

6. Какие источники тока применяют для дуговой сварки и особенности их внешних характеристик?

7. Как производится маркировка сварочной проволоки и электродов для ручной дуговой сварки?

8. Каковы технологические возможности и области рационального применения ручной дуговой сварки?
9. В чем заключаются преимущества автоматической дуговой сварки под флюсом по сравнению с ручной дуговой сваркой?
10. Каковы технологические возможности и области рационального применения автоматической дуговой сварки под флюсом?
11. Какие разновидности дуговой сварки в защитных газах применяют для соединения металлов?
12. В чем заключаются особенности аргонодуговой сварки?
13. Каковы технологические возможности и области рационального применения дуговой сварки в защитных газах?
14. В чем заключается сущность электронно-лучевой сварки?
15. Какие особенности электронно-лучевой сварки позволяют получать качественные изделия из тугоплавких и химически активных металлов?
16. В чем заключается сущность лазерной сварки?
17. Какие основные достоинства и недостатки лазерной сварки по сравнению с электронно-лучевой сваркой?
18. В чем заключается сущность контактной стыковой сварки?
19. Каковы отличительные особенности и возможности контактной стыковой сваркой сопротивлением и оплавлением?
20. В чем заключается сущность и основные особенности контактной точечной сварки?
21. Для чего при точечной сварке проводят проковку сварных точек?
22. В чем заключается сущность и основные особенности контактной шовной сварки?
23. Что достигается при применении прерывистой шовной сварки?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Нормальные ряды частот и подач

№ п/п	Название и модель станка	$n_{ст}$, об/мин	s_0 , мм/об	s_m , мм/мин
1	Токарно-винторезный 16К20	12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600	0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,12; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8	
2	Токарно-винторезный станок 1А616	11,2; 18; 28; 45; 56; 71; 90; 112; 140; 180; 224; 280; 355; 450; 560; 710; 900; 1120; 1400; 1800; 2240	0,05; 0,06; 0,075; 0,09; 0,1; 0,12; 0,15; 0,175; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,4; 2,8	
3	Горизонтально-фрезерный 6Т82	31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 680; 800; 1000; 1250; 1600		12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600
4	Вертикально-фрезерный 6Т10	50; 71; 100; 140; 200; 280; 400; 560; 800; 1120; 1600; 2240		20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология конструкционных материалов: Учебник / под общей ред. А.М. Дальского. – М.:Машиностроение, 2005. - 592 с.
2. Технология конструкционных материалов: Учебное пособие для вузов / под ред. М.А. Шатерина. – СПб.:Политехника, 2005. - 597 с.
3. Технология конструкционных материалов: Практикум по технологическим методам обработки заготовок / под ред. В.И. Никифорова. – СПб.: Издательство Политехнического университета, 2008. - 305 с.