

Министерство образования Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

**Кафедра электронной техники и технологии**

Г.М. Шахлевич, А.А. Костюкевич, В.Ф. Холенков, Г.В. Телеш

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

по дисциплинам

**"ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ"**

**"ТЕХНОЛОГИЯ ДЕТАЛЕЙ РЭС"**

**Часть 1**

для студентов специальностей

**"Проектирование и производство РЭС"**

**"Электронно-оптическое аппаратостроение"**

**Минск 2006**

УДК 621.396.66  
ББК 34.6 Я73  
ШЗ1

Шахлевич Г.М., Костюкевич А.А., Холенков В.Ф., Телеш Е.В. Лабораторные работы по курсам «Технология обработки материалов», «Технология деталей РЭС». Ч.1.- Мн.: БГУИР, 2006.- 65 с.: ил.18.

ISBN 985-444-134-2 (ч.1)

Лабораторные работы составлены в соответствии с типовыми программами дисциплин "Технология обработки материалов" и «Технология деталей РЭС» и предназначены для закрепления и углубления теоретических знаний студентов, получаемых ими на лекциях и в процессе самостоятельного изучения дисциплин, получения практических навыков.

Методические указания включают лабораторные работы по изучению методов анализа точности и настроенности технологических процессов, технологии холодной листовой штамповки и изготовления деталей из пластмасс прямым прессованием.

Для студентов специальностей Т.08.03.00 «Электронно-оптическое аппаратостроение» и Т 08.01.00 «Проектирование и производство РЭС».

УДК 321.396.66 (075.8)

ББК34.6 Я73

ISBN 985-444-134-2 (ч.1)

ISBN 985-444-129-6

© Г.М.Шахлевич, В.Ф.Холенков,  
Е.В.Телеш, 2006

## **СОДЕРЖАНИЕ**

|   |           |
|---|-----------|
| <b><i>Лабораторная работа № 1</i></b><br><b><i>ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И НАСТРОЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</i></b>                              | <b>4</b>  |
| <b><i>Лабораторная работа № 2</i></b><br><b><i>ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ</i></b>     | <b>17</b> |
| <b><i>Лабораторная работа № 3</i></b><br><b><i>ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС ПРЯМЫМ ПРЕССОВАНИЕМ</i></b> | <b>31</b> |
| <b><i>Лабораторная работа № 4</i></b><br><b><i>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ</i></b>     | <b>42</b> |
| <b><i>Приложения</i></b>  | <b>61</b> |

## Лабораторная работа № 1

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И НАСТРОЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1. Изучить методы анализа точности изготовления деталей и настроенности технологических процессов.
2. Овладеть навыками проведения измерений и расчетов при исследовании точности и настроенности ТП экспериментально-статистическим методом.
3. Исследовать точность и настроенность ТП изготовления ЭРЭ, обработки резанием, штамповкой и прессованием.
4. Получить навыки оформления операционной карты контроля.

#### *Индивидуальные задания*

##### Вариант 1

1. Производственные погрешности и причины их возникновения.
2. Методы анализа производственных погрешностей.
3. Исследовать точность и настроенность ТП изготовления детали листовой штамповкой. Исследуемый параметр - размеры детали ( $B(TУ) =$  мм,  $\Delta(TУ) =$  %).

##### Вариант 2

1. Законы распределения производственных погрешностей и их основные характеристики. Критерий Пирсона.
2. Настроенность технологических процессов.
3. Исследовать точность и настроенность ТП изготовления детали методом прессования. Исследуемый параметр - диаметр детали ( $B(TУ) =$  мм,  $\Delta(TУ) =$  %).

##### Вариант 3

1. Расчетно-аналитический метод анализа точности ТП.
2. Моменты рядов распределения погрешностей, их назначение и аналитические выражения.

3. Исследовать точность и настроенность ТП изготовления радиоэлемента. Исследуемый параметр - сопротивление (емкость) ( $B(TУ) = \text{Ом(мкФ)}$ ,  $\Delta(TУ) = \%$ ).

#### Вариант 4

1. Экспериментально-статистический метод анализа точности и настроенности ТП.

2. Методика построения гистограммы распределения производственных погрешностей.

3. Исследовать точность и настроенность ТП изготовления детали резанием (точением). Исследуемый параметр - диаметр детали ( $B(TУ) = \text{мм}$ ,  $\Delta(TУ) = \%$ ).

## 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

### *1.1. Производственные погрешности, причины их возникновения, законы распределения*

В процессе изготовления изделий невозможно обеспечить абсолютную тождественность их выходных параметров. При любом неизменном ТП изготовления партии деталей одним и тем же рабочим на одном и том же оборудовании появляются производственные погрешности, например, колебания геометрических размеров или физических параметров изделий.

В общем случае под производственными погрешностями понимают отступления от номинальных данных, указанных в чертежах, нормалях, ТУ и другой технической документации, которые возникают при изготовлении деталей и сборке изделий.

Производственные погрешности подразделяются на систематические и случайные.

Систематической называется погрешность, которая в процессе исследований остается постоянной или же изменяется по определенному закону.

Случайная погрешность принимает различные значения под влиянием случайных факторов, поэтому определить заранее точное ее значение не представляется возможным.

Систематические погрешности вызываются:

– методическими причинами, возникающими из-за ограниченных возможностей выбранного метода изготовления детали или контроля ее параметров (например, погрешность измерительного инструмента, плохая проработка

конструкции изделия и д.р.);

- деформацией и износом оборудования, оснастки и инструмента;

- температурными воздействиями на деталь или сборочную единицу, возникающими в процессе их изготовления.

Случайные производственные погрешности связаны с неоднородностью материала заготовки (например, по твердости), погрешностью измерений, отклонениями параметров комплектующих изделий, колебаниями технологических режимов, субъективными данными рабочих и т.п.

Для описания производственных погрешностей изготовления деталей РЭС используются три закона: нормальный, равновероятный и обобщенный типа А (табл.1). Нормальному закону чаще всего подчиняется распределение погрешностей в том случае, когда производство изделий носит массовый характер, при автоматически работающем оборудовании и отсутствии факторов, вызывающих систематические погрешности. При равномерном изменении во времени доминирующей систематической погрешности (например, износ инструмента) применяют равновероятный закон распределения. Если распределение исследуемой совокупности погрешностей сильно отличается от нормального, используют обобщенный закон типа А.

### *1.2. Методы анализа производственных погрешностей*

Определение законов распределения производственных погрешностей производится экспериментально-статистическим методом. Он основан на получении и обработке большого количества наблюдений, характеризующих погрешности. Метод позволяет определить суммарную технологическую погрешность, которая возникает в результате взаимодействия ряда факторов, но не дает возможности выявить причины ее возникновения.

Расчетно-аналитический метод основан на выявлении функциональных зависимостей между производственными погрешностями и причинами их возникновения. В результате сочетания этих методов появились расчетно-статистический, корреляционный и другие методы анализа производственных погрешностей.

#### *1.2.1. Расчетно-аналитический метод оценки точности технологических процессов*

Все аналитические методы предполагают, что зависимость между по-

грешностями и причинами, их вызывающими, известна в явном аналитическом виде. Пусть известна функциональная связь между каким-либо выходным (конструкторским или эксплуатационным) параметром изделия  $y$  и параметрами  $q_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) ТП его изготовления:

$$y = f(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (1.1)$$

Всякие отклонения  $y$  и  $q_i$  - будут соответственно производственными погрешностями изделия и ТП его изготовления. Будем полагать, что производственные погрешности изделия - это сумма составляющих, вызываемых случайными и систематическими погрешностями ТП. Если среди случайных погрешностей нет доминирующих, величины  $q$  взаимнонезависимы и функция  $f$  непрерывна (имеет производные при любых  $q$ ), то полный дифференциал  $dy$ :

$$dy = \frac{\partial y}{\partial q_1} dq_1 + \frac{\partial y}{\partial q_2} dq_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial q_n} dq_n. \quad (1.2)$$

Очевидно, что  $dy$  и  $dq_i$  будут именно производственными погрешностями изделия и параметров ТП его изготовления. Переходя от дифференциалов к конечным приращениям, т.е. полагая  $dq_i \approx \Delta q_i$ , что допустимо при малых  $\Delta q_i$  из (1.2), получим выражение абсолютной погрешности  $\Delta y$ :

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial q_1} \Delta q_1 + \frac{\partial y}{\partial q_2} \Delta q_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial q_n} \Delta q_n. \quad (1.3)$$

Разделив (1.3) на (1.1), определим относительную погрешность изделия и  $\Delta y/y$ , как функцию относительных погрешностей  $\Delta q/q$  параметров ТП его изготовления:

$$\frac{\Delta y}{y} = A_1 \frac{\Delta q_1}{q_1} + A_2 \frac{\Delta q_2}{q_2} + \dots + A_n \frac{\Delta q_n}{q_n}, \quad (1.4)$$

где  $A_i$  - весовые коэффициенты, характеризующие меру влияния составляющих (вклад) погрешностей ТП  $\Delta q/q$  на выходную погрешность изделия и  $\Delta y/y$

Значения  $A_i$  в линейном уравнении погрешности выходного параметра изделия (1.4) могут быть определены как аналитическим путем, так и экспериментально. Используя метод частных производных получим:

$$A_i = \frac{\partial f(q_1, q_2, \dots, q_n)}{\partial q_i} \cdot \frac{q_i}{f(q_1, q_2, \dots, q_n)}. \quad (1.5)$$

Те же значения  $A_i$  можно получить экспериментально, используя, например, метод малых приращений:

$$A_i = \frac{\Delta y}{y} / \frac{\Delta q_i}{q_i}.$$

Поскольку значения погрешностей  $\Delta y/y$  и  $\Delta q/q$  представляют собой случайные величины, то оценивают среднее значение  $\Delta y/y$  как математическое ожидание производственной погрешности изделия:

$$M\left(\frac{\Delta y}{y}\right) \approx \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{n} \cdot \frac{\Delta q_i}{q_i}.$$

Если входные параметры ТП, например  $x$  и  $z$ , имеют между собой корреляционную связь, то половину поля рассеяния выходного параметра изделия  $\delta_y$  можно выразить:

$$\delta_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta_i^2 + \sum_{x,z} 2 \cdot r_x \cdot r_z \cdot A_x \cdot A_z \cdot K_x \cdot K_z \cdot \delta_x \cdot \delta_z},$$

где  $K_i, K_x, K_z$  – коэффициенты относительного рассеивания параметров  $i, x$  и  $z$ , определяемые как:  $K_i = 3\sigma_i/\delta_i$  (ТУ);  $\sigma_i$  – среднее квадратическое отклонение  $i$ -го параметра;  $\delta_i$  (ТУ) – половина поля допуска  $i$ -го параметра, заданного техническими условиями,  $r_x$  и  $r_z$  – коэффициенты корреляции взаимосвязанных параметров;  $\delta_i, \delta_x, \delta_z$  – половина полей реальных отклонений  $A_i, A_x, A_z$ , – весовые коэффициенты параметров  $i, x$  и  $z$ . Эффективность описанного метода тем выше, чем больше статистический материал.

Для приближенных предварительных оценок производственных погрешностей может быть использован метод, математическую основу которого составляет теория рядов Тейлора. Выражение (1.4) в этом случае приобретает вид:

$$\frac{\Delta y}{y} \approx d[\ln f(q_1, q_2, \dots, q_n)]$$

## *1.2. Экспериментально-статистический метод анализа точности и настроенности ТП*

На первом этапе анализа производственных погрешностей этим методом выбирается объект исследования, определяется объем экспериментальных данных и назначаются средства технического контроля. Основным требованием к объекту является однородность экспериментальных данных. Объем экспериментальных данных определяется с требуемой точностью анализом. Измерительные средства должны выбираться так, чтобы полная погрешность измерений не превышала 10% от допуска на измеряемый параметр.

На втором этапе производится наблюдение изучаемого параметра, обработка данных и анализ результатов. Экспериментальные данные, отражающие закономерности ТП, заносятся в протокол испытаний. Для удобства вычислений их предварительно группируют в интервалы (разряды). Количество интервалов  $K$  и их ширина  $C$  определяются по формулам:

$$K \leq 5 \cdot \ln N, \quad C = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K}, \quad (1.7)$$

где  $N$  – число измерений;  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  – максимальное и минимальное значения измеряемого параметра.

Границы интервалов определяются путем последовательного прибавления к  $X_{\min}$  ширины интервала  $C$ . Для удобства интервальный ряд записывается в форме табл. 1.2.

Ряды распределения производственных погрешностей получают большую наглядность, если их изобразить графически, как показано на рис. 1 в виде гистограмм или полигона по данным табл.2. При построении гистограммы каждый интервал представляется на оси абсцисс прямоугольником с основанием, равным ширине интервала, и высотой, равной частоте. Соединив ломаной линией высоты, восстановленные из середины основания всех прямоугольников, получим полигон распределения.

Для упрощения расчетов параметров законов распределения используются начальные, центральные и основные моменты. Начальным моментом ряда распределения  $h$ -го порядка относительно условного начала  $a_0$  называется сумма произведений отклонений разрядных значений  $a_0$  в степени  $h$  на соответствующую частоту:

$$v_h = \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{x_i - a_0}{c} \right)^h \cdot n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (1.8)$$

$$v_1 = \frac{1}{c} (\bar{x} - a_0). \quad (1.9)$$

Таблица 1.2

Статистическая сводка экспериментальных данных

| № интервалов | Границы интервала<br>$X_{H}^i \dots X_{K}^i$ | Середина интервала       | Частота<br>$n_i$ | Накопленная частота       | Частность<br>$m_i = \frac{n_i}{N}$ |
|--------------|--|--------------------------|------------------|---------------------------|------------------------------------|
| 1            | $X_{\min} \dots X_{\max} + C$                | $X_{\min} + C/2$         | $n_1$            | $n_1$                     | $m_1$                              |
| 2            | $X_{\min} + C \dots X_{\min} + 2C$           | $X_{\min} + 3/2 \cdot C$ | $N_2$            | $n_1 + n_2$               | $m_2$                              |
| ...          | ...  | ...                      | ...              | ...                       | ...                                |
| <b>K</b>     | $X_{\max} - C \dots X_{\max}$                | $X_{\max} - C/2$         | $N_K$            | $n_1 + n_2 + \dots + n_K$ | $m_K$                              |

$$\sum_{i=1}^K n_i = N$$

$$\sum_{i=1}^K m_i = 1$$

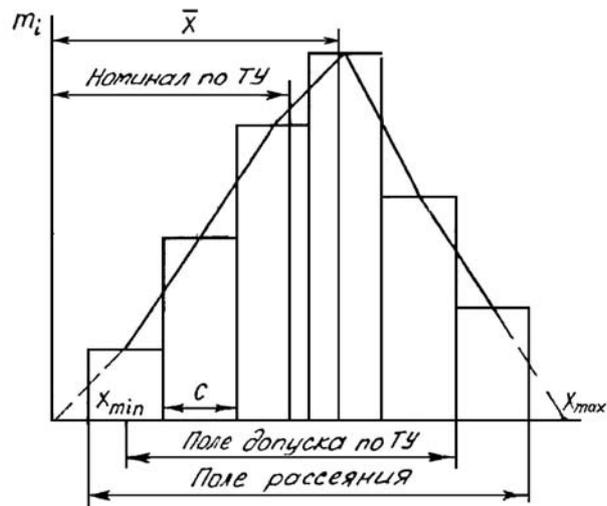


РИС. 1.1. ГИСТОГРАММА И ПОЛИГОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

За условное начало принимают середину того интервала, в котором частота наибольшая. Момент  $\mu_h$ , вычисленный относительно среднего значения случайной величины, называется центральным:

$$\mu_h = \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{x_i - \bar{x}}{c} \right)^h \cdot n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (1.10)$$

$$\mu_2 = \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{x_i - \bar{x}}{c} \right)^2 \cdot n_i}{\sum_{i=1}^k n_i} = \frac{\sigma^2}{c^2}, \quad (1.11)$$

отсюда  $\sigma = c \sqrt{\mu_2}$ . (1.12)

Основной момент ряда распределения  $h$ -го порядка равен отношению центрального момента этого порядка к среднему квадратичному отклонению в степени  $h$ :

$$\tau_h = \frac{\mu_h}{\sigma^h} = \frac{\mu_h}{\sqrt{\mu_2^h \cdot c^h}}. \quad (1.13)$$

Основные ошибки вычислительных параметров следующие:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad \sigma_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{2N}}, \quad \sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{\sigma}{N}}, \quad \sigma_{\bar{s}} = 2\sigma_{\alpha}.$$

На основании полученных данных, гистограммы и полигона распределений делается предположение о законе, которому могут подчиняться анализируемые величины. Поскольку между теоретической кривой и реальным распределением неизбежно возникают расхождения, то необходимо определить, являются ли они случайными (например, из-за малого объема наблюдений), или вы-

званы несоответствием указанные совокупностей. Для этого применяют критерий согласия Пирсона  $P(\chi^2)$  который представляет вероятность того, что случайная величина

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{(n'_i - n_i)^2}{n'_i} \right\} \quad (1.14)$$

примет значение, превосходящее некоторую величину  $\chi_0^2$  ( $n_i$  и  $n'_i$  - практические и теоретические частоты распределения производственных погрешностей).

Расчет величины  $\chi^2$  приводится в табл. 1.3 в зависимости от предполагаемого закона распределения. По найденному значению  $\chi^2$  и числу степеней свободы находится вероятность  $P(\chi^2)$  того, что  $\chi^2$  превзойдет значение  $\chi_0^2$ . Число степеней свободы:

$$m = k - f - 1, \quad (1.15)$$

где  $K$  - число интервалов;  $f$  - число параметров закона распределения. Согласно (1.15) для нормального распределения  $m = k - 3$ ; для равновероятного  $m = k - 2$  и для типа  $A - m = k - 5$ .

Границей между случайным и существенным расхождением обычно берется 5%-ный уровень значимости, т.е. при  $P(\chi^2) \geq 0.05$  отклонения между статистическими данными и теоретической кривой являются случайными и предполагаемый закон распределения достоверно описывает данные измерений. В ином случае, расхождение считается существенным и необходимо подобрать другой закон распределения.

Значения критерия согласия Пирсона  $p(\chi^2)$  находятся по известным  $\chi^2$  и числу степеней свободы  $m$  из специальных таблиц (см. например, /2/).

### 1.3. Определение настроенности ТП

Установление закона, которому подчиняются распределения производственных погрешностей исследуемого параметра, позволяет определить коэффициент технологической точности изготовления изделий  $T_n$  и смещение уровня настроенности ТП от середины поля допуска  $E$  по формулам:

$$T_n = \frac{2\sigma(TY)}{S_n}, \quad (1.16)$$

$$E = \frac{\bar{x} - B_{np}(TY)}{2\sigma(TY)}, \quad (1.17)$$

где  $B_{cp}(TY)$  и  $\delta(TY)$  - значения номинала и половины поля допуска на изучаемый параметр изделия по техническим условиям. Технологический процесс считается настроенным (удовлетворительным) при  $T_n \geq 0,9$  и  $|E| \leq 0,05$ . В этом

случае при подчинении распределения производственных погрешностей нормальному закону брак не превысит 0,9%.

## 2. Расчет точности и настроенности ТП на ЭВМ

Для расчетов на ЭВМ применяются следующие формулы:

1. Математическое ожидание (среднее значение):  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$ ;
2. Начальный момент 2-го порядка:  $\nu_{20} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N}$ ;
3. Центральный момент 2-го порядка:  $\mu_{20} = \nu_{20} - (\bar{x})^2$ ;
4. Среднее квадратическое отклонение:  $\sigma_x = \sqrt{\mu_{20}}$ ;
5. Допуск на параметр:  $\delta = \frac{3\sigma_x \cdot 100}{\bar{x}}, \%$ ;
6. Коэффициент технологической точности:  $T_n = \frac{2\delta(TY)}{S_n} = \frac{\delta(TY)}{\delta}$ ;
7. Смещение уровня настроенности:  $E = \frac{\bar{x} - B_{cp}(TY)}{2\delta(TY)}$ .

Структурная схема алгоритма расчетов параметров точности и настроенности ТП приведена на рис. 1.2.

## 3. Методика выполнения работы

При выполнении работы используются следующее оборудование, оснастка и инструмент:

- пресс механический типа К2114УЧ, штампы вырубной и гибочный;
- машина для прессования пластмасс и прессформы;
- станок токарный с резцами;
- микрометр, штангенциркуль, линейка измерительная;
- мост переменного тока для измерения сопротивления, емкости и индуктивности.

3.1. Получить у лаборанта детали, ранее обработанные с помощью различных технологических процессов на настроенном оборудовании при выполнении лабораторных работ по листовой штамповке, резании, прессованию пластмасс.

3.2. В соответствии с индивидуальным заданием разработать операцию технического контроля детали и заполнить на нее операционную карту.

3.3. Произвести измерения заданного параметра партии деталей и результаты измерений занести в таблицу.

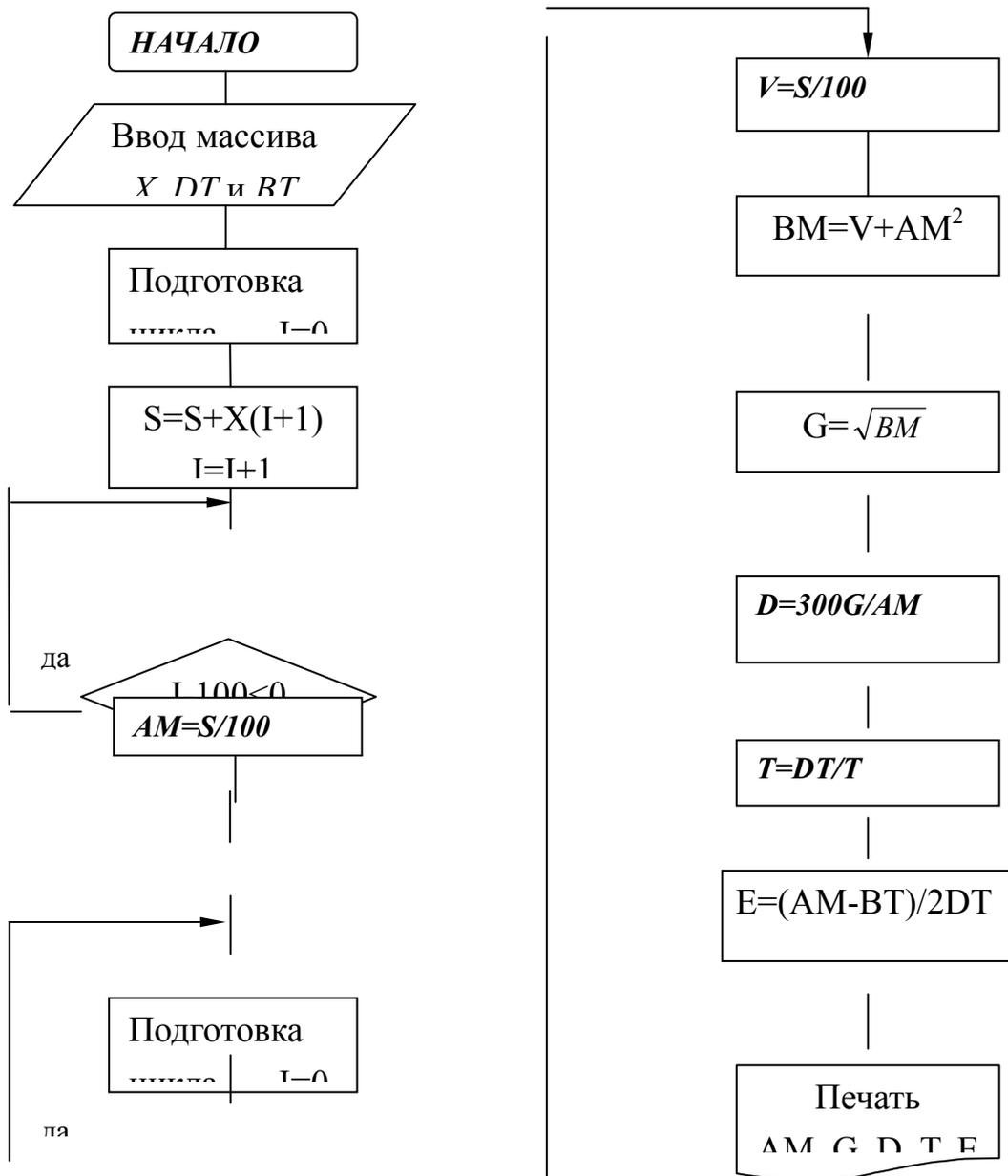
3.4. По формулам (1.6) и (1.7) определить количество и ширину интервалов.

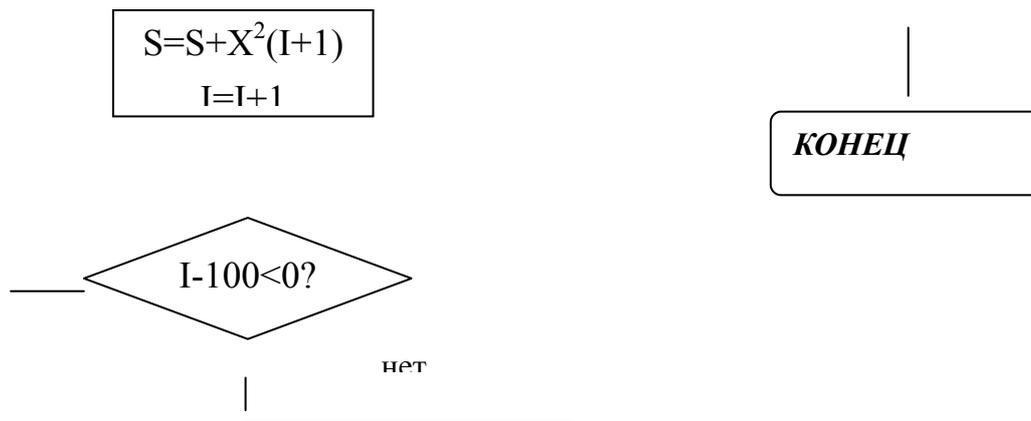
3.5. Определить границы интервалов, количество измеренных параметров, попавших в каждый интервал, и заполнить табл.1.2.

3.6. Построить гистограмму и полигон распределений статистических данных.

3.7. Рассчитать критерий Пирсона и определить принадлежность ряда распределения к определенному закону.

3.8. Рассчитать моменты статистического ряда распределений в соответствии с табл.1.3.





**РИС.1.2. ОБОЗНАЧЕНИЯ:**  $\bar{x} - AM; \nu_{20} - \nu; \mu_{20} - BM; \sigma_x - G; \delta - D;$   
 $\delta(TY) - DT; T_n - T; E - E; B_{cp}(TY) - BT.$

3.9. В случае, если распределение производственных погрешностей окажется подчиняющимся нормальному закону по формулам из табл.1.1 рассчитать параметры этого распределения.

3.10. Вычислить коэффициент технологической точности и смещение уровня настроенности, определить, настроен ли технологический процесс изготовления данной детали.

3.11. По структурной схеме алгоритма составить программу параметров распределения производственных погрешностей,  $T_{II}$  и  $E$  для ПЭВМ.

3.12. После проверки преподавателем правильности составления программы, ввести ее в ЭВМ вместе с данными ваших измерений и произвести расчеты.

3.13. Сравнить расчеты на ПЭВМ с произведенными вручную.

#### 4. Содержание отчета.

4.1. Цель работы.

4.2. Индивидуальное задание.

4.3. Краткие теоретические сведения.

4.4. Таблица результатов измерений.

4.5. Расчет количества и ширины интервалов (табл.1.2), гистограмма и полигон распределений.

4.6. Расчет критерия Пирсона и определение закона распределений, моментов статистического ряда и параметров закона распределений.

4.7. Результаты расчета параметров настроенности ТП.

- 4.8. Программа и результаты расчетов на ПЭВМ.
- 4.9. Операционная карта контроля и выводы по работе.

### *5. Контрольные вопросы*

- 5.1. Виды и причины возникновения производственных погрешностей.
- 5.2. Законы распределения производственных погрешностей, критерий Пирсона.
- 5.3. Методы анализа производственных погрешностей.
- 5.4. Сущность расчетно-аналитического метода анализа производственных погрешностей.
- 5.5. Сущность экспериментально-статистического метода анализа производственных погрешностей.
- 5.6. Методика построения гистограммы и полигона распределений, расчет параметров закона распределения производственных погрешностей.
- 5.7. Параметры настроенности технологического процесса.

### *Литература*

1. Ушаков Н.Н. Технология производства ЭВМ. Учебник для вузов.- М.: Высш. шк., 1991.- 416 с.
2. Серафинович Л.П. Статистическая обработка опытных данных. Учеб. Пособие.- Томск: Изд-во ТГУ, 1990.- 75 с.
3. Технология и автоматизация производства РЭА/ Под ред. А.П.Достанко, Ш.М.Чабдарова.- М.: Радио и связь, 1989.- 624 с.
4. Ланин В.Л., Емельянов В.А., Хмыль А.А. Проектирование и оптимизация технологических процессов производства электронной аппаратуры. Учеб. Пособие.- Мн.: БГУИР, 1998.- 196 с.
5. Глудкин О.П., Черняев В.Н. Анализ и контроль технологических процессов производства РЭА.- М.: Радио и связь, 1983.- 296 с.

ТАБЛИЦА 1.1

Характеристики основных законов распределения производственных погрешностей

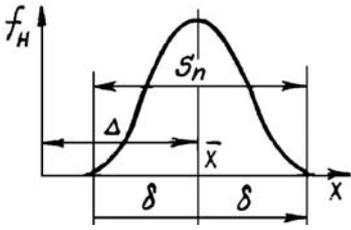
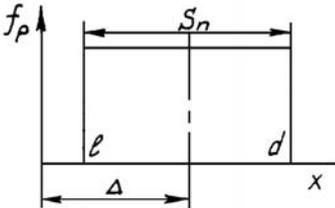
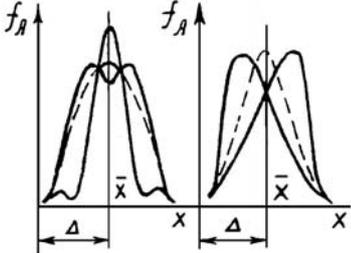
| Закон распределения          | График функции  | Плотность распределения   | Полное поле рассеяния при вероятности 0,9973 |
|------------------------------|---|---|--|
| <p>Нормальный (Гауса), Н</p> |    | $f_n(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$ | $2\delta = 6\sigma$                          |
| <p>Равновесный, Р</p>        |   | $f_p(x) = \frac{1}{d-e}$  | $3,464\sigma$                                |
| <p>Обобщенный типа А</p>     |  | $f_A(x) = f(x) - \frac{r_3}{6} f^3(x) + \frac{r_4}{24}$                     | $t \cdot \sigma$                             |

Таблица 1.3

Расчет критериев согласия реальных и теоретических законов распределения  
(по Пирсу)

| <i>H</i> | $x_i$    | $x_i - x_i$     | $t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$ | $P = F(t), \text{ нпу } t < 1$<br>$P = 1 - F(t), \text{ нпу } t > 1$ |          |          |  | $\Delta P = P_{i+1} - P_i$     | $\frac{n_i' = \Delta}{PN}$ | $n_i$            |                                   |
|----------|----------|-----------------|------------------------------------|--|----------|----------|--|--------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------------------------|
| <i>P</i> | $x_i$    | $x_i - l$       | —                                  | $P = F(x) = \frac{x_i - l}{d - l}$                                   |          |          |  | $\Delta P = P_{i+1} - P_i$     | $\frac{n_i' = \Delta}{PN}$ |                  |                                   |
| <i>A</i> | $x_i$    | $x_i - x_i$     | $t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$ | $f(t)$   | $f^3(t)$ | $f^4(t)$ | $\frac{\alpha}{\sigma} \cdot f^3(t)$<br>$\text{нпу } t > 0$<br>$\text{нпу } t < 0$ | $\frac{\tau}{24} \cdot f^4(t)$ | $f(t)$                     |                  | $n_i' = \frac{N \cdot C}{\sigma}$ |
| <i>l</i> | <i>2</i> | <i>3</i>        | <i>4</i>                           | <i>5</i>   | <i>6</i> | <i>7</i> | <i>8</i>   | <i>9</i>                       | <i>10</i>                  | <i>11</i>        | <i>12</i>                         |
| <i>l</i> | $x_i$    | $x_1 - \bar{x}$ | $t_1$                              | ...  | ...      | ...      | ...  | ...                            | ...                        | $n_1'$           | $n_1'$                            |
| <i>2</i> | $x_2$    | $x_2 - \bar{x}$ | $t_2$                              |  |          |          |  |                                |                            | $n_0'$<br>$n_2'$ | $n_0'$<br>$n_2'$                  |
| <i>3</i> | $x_3$    | $x_3 - \bar{x}$ | $t_3$                              |  |          |          |  |                                |                            | $n_3'$           | $n_3$                             |
| <i>4</i> | $x_4$    | $x_4 - \bar{x}$ | $t_4$                              |  |          |          |  |                                |                            | $n_4'$           | $n_4$                             |
| ...      | ...      | ...             | ...                                |  |          |          |  |                                |                            | ...              | ...                               |
| <i>K</i> | $x_K$    | $x_K - \bar{x}$ | $t_K$                              |  |          |          |  |                                |                            | $n_K$            | $n_K$                             |

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКОЙ**

### *Цель работы*

1. Изучение механизма пластической деформации металлов.
2. Ознакомление с прогрессивными методами обработки металлов давлением - листовой холодной штамповкой.
3. Изучение оборудования и оснастки, применяемой для листовой штамповки и методики расчета основных параметров процесса вырубки (пробивки), гибки, вытяжки.
4. Разработка технологического процесса вырубки, пробивки и гибки.

### **1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

#### *1.1. Механизм пластической деформации металлов*

Пластическое изменение формы твердого тела называют пластической деформацией. Обработка металлов давлением, одним из видов которой является листовая штамповка, возможна благодаря пластичности металлов. Пластичностью называются свойства твердых тел необратимо не разрушаясь изменять свою форму под действием внешних сил или внутренних напряжений.

Пластическая деформация металлов представляет собой сложный физико-механический процесс, обеспечивающий формоизменение металлической заготовки и изменение структуры и физико-механических свойств металла.

Количественно пластическая деформация оценивается относительным удлинением  $E$

$$E = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где  $l_1$  - длина образца после его испытания на растяжение (мм),  $l_0$  - длина образца до испытания (мм).

Под действием внешних сил твердое тело сначала деформируется упруго, а затем пластически. Таким образом, пластической деформации всегда предшествует упругая. Упругая деформация возникает при относительно небольших

значениях деформирующих сил (не превышающих предела упругости  $\sigma_p$ ) и является следствием упругих смещений атомов металла, происходящих в результате упругих изменений межатомных расстояний. По прекращении действия деформирующих сил атомы возвращаются на свои места, и упругая деформация исчезает.

Пластическая деформация возникает вслед за упругой под действием значительных сил (обязательно превышающих предел упругости  $\sigma_p$ ). Она сохраняется и после снятия нагрузки. Однако в этом случае после разгрузки деформируемое тело несколько изменяет свои размеры за счет частичного восстановления первоначальных размеров под действием упругой деформации. Такое явление называется упругим последствием.

При пластическом деформировании зерна металла и их группы дробятся, перемещаются, поворачиваются, вытягиваются и, кроме того, некоторые части кристаллов смещаются относительно упругих. Эти смещения осуществляются главным образом скольжением (сдвигом) и двойникованием. При скольжении одна часть кристалла смещается параллельно относительно другой на расстояние, во много раз большее межатомных расстояний. Скольжение происходит по определенным кристаллографическим плоскостям, которые называются плоскостями скольжения. Обычно ими являются плоскости, имеющие наибольшую плотность размещения (упаковки) атомов. Например, в металлах с гранецентрированной кубической решеткой (ГЦК) плоскостями скольжения являются плоскости октаэдра типа (111). Скольжение анизотропно. По одним кристаллографическим плоскостям оно идет значительно легче, чем по другим. При повышении температуры увеличивается количество возможных плоскостей скольжения.

Двойникование представляет собой смещение одной части кристалла симметрично остальному его объему. Наибольшую склонность к двойникованию обнаруживают кристаллы с ГПУ- и ОЦК-решетками. Оно сравнительно редко наблюдается при статическом нагружении и значительно чаще при деформировании ударом. С увеличением скорости деформации и понижением температуры склонность к двойникованию повышается. Плоскости двойникования обычно совпадают с плоскостями скольжения.

Пластическая деформация происходит не только вследствие сдвига внутри кристалла (зерна), но и в результате поворота, сдвига и относительного перемещения самих зерен. Такая межкристаллитная (межзеренная) пластическая деформация приводит к определенной ориентировке зерен, т.е. к появлению текстуры.

Аморфный механизм пластической деформации (диффузионная пластичность) характеризуется отсутствием порядка в последовательности перемещения атомов или молекул из одних мест устойчивого равновесия в другие. Он характерен для пластической деформации пластмасс.

### *1.2. Сущность процессов и технология листовой штамповки*

Листовая штамповка относится к холодной обработке давлением. Ее применяют для изготовления плоских, а также, пространственных тонкостенных деталей из листового, ленточного полосового металла или неметаллических материалов (клеммы, шайбы, шасси, кожухи приборов, панели и др.).

Штампованные изделия отличаются достаточной точностью, хорошей взаимозаменяемостью. На металлорежущих станках их обычно не обрабатывают.

Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных, жестких, тонкостенных деталей или изделий простой и сложной формы, получать которые другими методами обработки затруднительно или невозможно;
- высокая производительность, экономный расход металла и простота;
- широкие возможности и относительная простота механизации и автоматизации процесса обработки;
- массовость выпуска и низкая стоимость изготавливаемых изделий.

Операции листовой холодной штамповки подразделяются на:

- разделительные, при которых одна часть листа отделяется от другой;
- формообразующие, при которых изменяется пространственная форма заготовки;
- комбинированные, при которых сочетаются разделительные и формообразующие элементы обработки;
- штампосборочные, при которых отдельные штампованные детали соединяются обработкой давлением в общую конструкцию.

Классификация операций приведены на рис.2.1.

Листовые материалы для холодной штамповки предварительно разрезают на полосы или заготовки необходимых размеров. Резка полос является заготовительной операцией и осуществляется на рычажных, гильотинных, дисковых или вибрационных ножницах, а также на специальных отрезных штампах.

Технология листовой штамповки обычно предусматривает: подготовку материала (очистка, смазка); изготовление заготовок (резка листов на полосы или заготовки, резка ленты и т.п.); деформирование металла (разделительные и формообразующие операции); термическую обработку - отжиг для снятия наклепа после холодного деформирования, закалку или химико-термическую обработку, если это необходимо, и т.п.; отделочные операции - удаление заусенцев, промывку, полирование, окраску, нанесение защитных или декоративных металлических покрытий (хромирование, никелирование и т.п.). Иногда в технологию включаются сварочные и сборочные операции.

Для удаления заусениц применяют пескоструйную обработку с сухим и влажным абразивом. В последнем случае не требуется вентиляции. В качестве абразивной среды применяются электрокорунд, бой шлифовальных кругов. Фирма "Bosh" изготавливает установки для удаления заусениц у небольших деталей посредством детонации газовой смеси и сгорания тонких заусенцев. В камеру, куда помещаются детали с заусенцами, впрыскивается кислородно-ацетиленовая смесь и воспламеняется. Кратковременная температура вспышки достигает 2000°C, в пламени которой тонкие заусенцы сгорают и оплавляются.

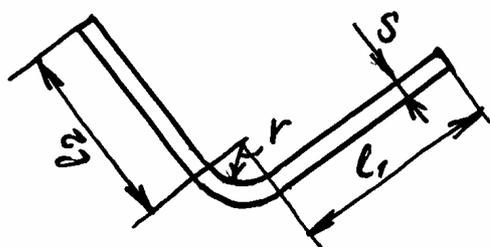
Для удаления заусенцев применяются также химическое и электрохимическое травление.

Перед разработкой технологии обычно выполняют технологические испытания материала, форм и размеров изготавливаемой детали (испытания на изгиб, рез, перегиб, твердость). При разработке технологии сначала определяют формы и размеры заготовок: для плоских деталей размеры заготовки соответс-

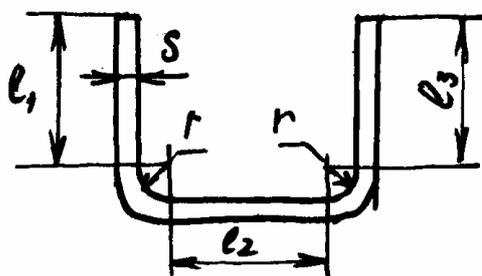


твуют их форме и размерам; для гнутых деталей формы и размеры заготовок определяют путем разворачивания (условной разгибкой) детали в плоскую.

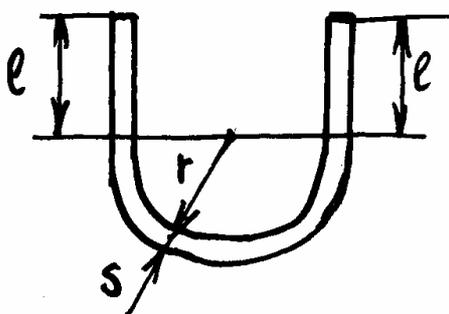
Формулы для расчета размеров заготовок приведены на рис.2.2. При вытяжке круглых деталей в качестве заготовок обычно используют заранее вырубленные диски.



$$L = L_1 + L_2 + \frac{\pi}{2}(r + xs) \quad (2.2)$$



$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \pi(r + xs) \quad (2.3)$$



$$L + 2l + \pi(r + xs) \quad (2.4)$$

$\chi$ -коэффициент, значения которого приведены в табл.2.1

Рис.2.2 Расчет размеров заготовки

ТАБЛИЦА 2.1

Значения коэффициента  $\chi$  для расчета размеров развертки

| r/s | $\chi$ | r/s | $\chi$ | r/s | $\chi$ |
|-----|--------|-----|--------|-----|--------|
|     |        |     |        |     |        |

|      |      |      |       |      |      |
|------|------|------|-------|------|------|
| 0.05 | 0.27 | 0.50 | 0.38  | 2.0  | 0.45 |
| 0.10 | 0.30 | 0.60 | 0.39  | 2.5  | 0.46 |
| 0.15 | 0.32 | 0.70 | 0.4   | 3.0  | 0.47 |
| 0.20 | 0.33 | 0.80 | 0.408 | 4.0  | 0.47 |
| 0.25 | 0.35 | 1.0  | 0.42  | 5.0  | 0.48 |
| 0.30 | 0.36 | 1.2  | 0.43  | 7.0  | 0.49 |
| 0.40 | 0.37 | 1.8  | 0.45  | 10.0 | 0.50 |

Определив размеры заготовки, устанавливают раскрой материала. Раскрой называют порядок расположения заготовок на листе, ленте или полосе. Выбор вида и способа раскроя зависит главным образом от формы необходимых заготовок и должен учитывать технологическую анизотропию исходного листового проката. Раскрой может быть с отходами (рис.2.3,а-г) и безотходный (рис.2.3,д-е), прямой (рис.2.3,а), наклонный (рис.2.3,б).

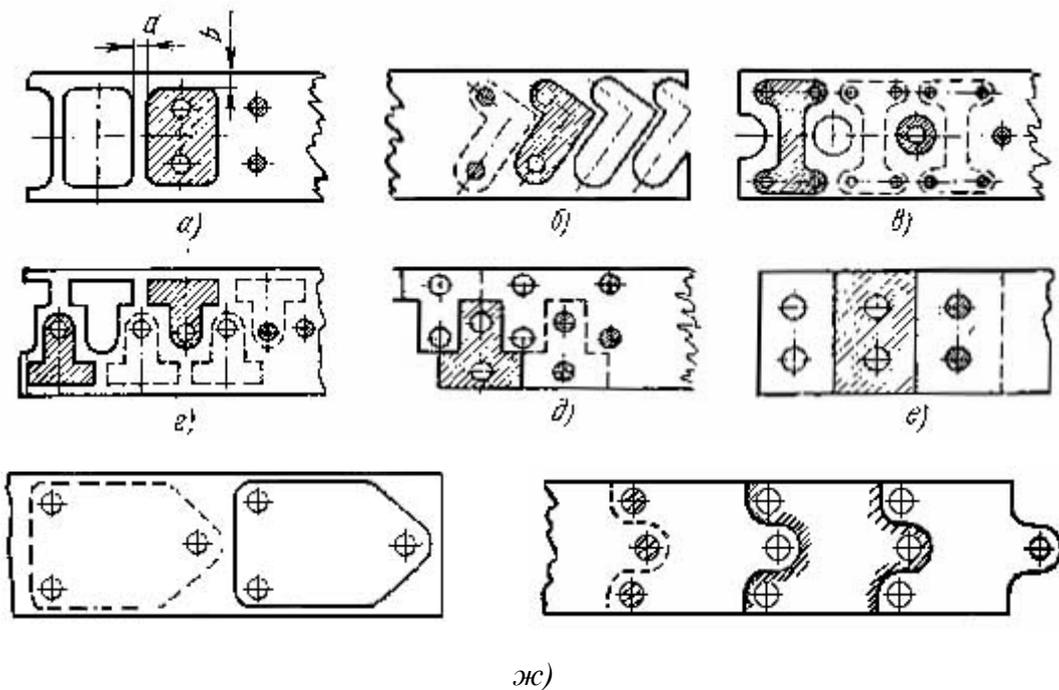


Рис.2.3 Виды раскроя полосы

Выбирают такой раскрой, который наиболее экономичен. На рис.2.3.ж показано изменение формы детали для сокращения отходов. Рациональность и экономичность раскроя оценивается коэффициентом использования материала  $\eta$ , который в общем случае определяется по формуле:

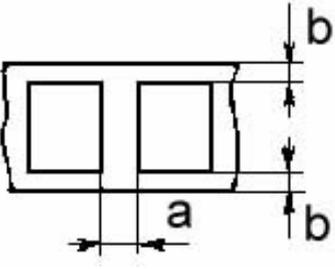
$$\eta = \frac{F_0}{F_3} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

где  $F_0$  - площадь или масса штампуемой детали,  $мм^2$ ;  $F_3$  - площадь или масса заготовки, требуемой для изготовления детали,  $мм^2$ . Расстояние между соседними деталями, а также расстояние от края полосы выбирают в зависимости от толщины листа и механических свойств материала (табл.2.2).

Установив вид раскроя, выбирают виды штамповочных операций. При этом руководствуются формами штампуемых деталей, их размерами, точностью размеров, технологическими особенностями выбранных операций и т.д. Так, например, при изготовлении вырубкой и пробивкой плоских деталей малой точности ограничиваются только этими операциями, при изготовлении более точных деталей назначают еще правку и зачистку. При изготовлении пространственных деталей назначают вырубку заготовок, затем гибку и вытяжку в один или несколько переходов или операций. После вытяжки обычно назначают обрезку. Для точных пространственных деталей после гибки или вытяжки назначают калибровку или чеканку для уточнения отделочных элементов формы, и т.д.

Таблица 2.2

Значения перемычек при различной толщине листа конструкционной стали

| Операционный эскиз  | Толщина листа | Перемычка, мм |
|---|---------------|---------------|
|  | мм            | <b>a и b</b>  |
|   | 0,3           | 1,4           |
|   | 0,5           | 1,0           |
|   | 1,0           | 1,2           |
|   | 1,5           | 1,4           |
|   | 2,0           | 1,6           |
|   | 2,5           | 1,8           |

Выбрав основные деформирующие операции, назначают вспомогательные операции, например промежуточный отжиг, травление, промывку и т.п. В технологии обязательно предусматриваются операции промежуточного и окончательного контроля качества изготавливаемой детали. На основе установленных операций выбирают необходимое оборудование и применительно к нему разрабатывают конструкции штампов.

Выбирая оборудование, в первую очередь учитывают возможность осуществления на нем необходимых операций, производительность, возможность механизации и автоматизации процесса обработки на этом оборудовании, основные параметры технической характеристики, наиболее важной из которых является усилие прессы

Усилие штамповки (с учетом усилия, необходимого на сьем отхода или детали с пуансона и усилия на проталкивание детали или отхода через матрицу) определяется по формуле:

$$P_p = \frac{1,35 \cdot P_p}{1000}, \text{ кН}, \quad (2.6)$$

где  $P_p$  - расчетное усилие вырубки, пробивки или гибки.

Пресс выбирается из условия, чтобы его номинальное усилие было равно или больше расчетного усилия ( $P_p \leq P_{\text{НОМ}}$ )

Усилие вырубки (пробивки) определяется по формуле:

$$P_g = k \cdot L \cdot S \cdot \sigma_{\text{ср}}, \text{ Н}, \quad (2.7)$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий состояние режущих кромок, неравномерность зазора между пуансоном и матрицей ( $k = 1,25$ );  $L$  - периметр вырубаемого (пробиваемого) контура, м;  $S$  - толщина материала в м;  $\sigma_{\text{ср}}$  - сопротивление материала срезу, Па.

Усилие гибки определяется по формуле:

$$P_i = 1,25 \cdot \sigma_{\%} \cdot L \cdot S \cdot k, \text{ Н}, \quad (2.8)$$

где  $\sigma_{\%}$  - предел прочности материала,  $L$  - периметр или длина гибки,  $S$  - толщина детали,  $k$  - коэффициент ( $k = 0,25$ ).

Значения сопротивления срезу и предела прочности некоторых материалов приведены в табл.2.3.

Усилие вырубки или пробивки можно уменьшить за счет применения пуансона или матрицы со скошенными кромками (рис.2.4) или применить штамп со ступенчатым расположением пуансонов, при этом при вырубке применяется штамп со скошенными режущими кромками у матрицы, при пробивке - со ско-

шенными кромками у пуансона. При использовании штампа со ступенчатым расположением пуансонов усилие вырубки (пробивки) уменьшается за счет поочередной работы пуансонов.

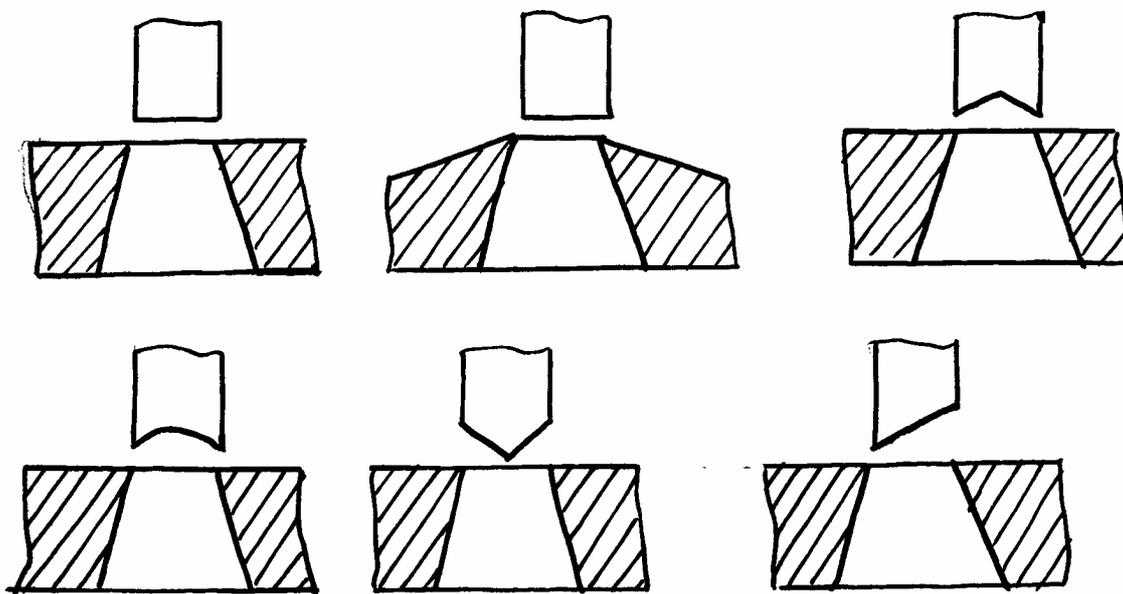


Рис.2.4 Примеры матриц и пуансонов со скошенными кромками

Особенностью технологического процесса штамповки деталей из текстолита и гетинакса является то, что при толщине заготовок из гетинакса более 1,0-1,5 мм, а для текстолита более 1,5-2,0 мм, обработку необходимо производить с подогревом (для текстолита всех марок и гетинакса марок В, Вс и Д до 30-90°С, для гетинакса марок Ав, Бв, Вв, Гв, Дв - до 110-120°С). Подогрев осуществляют в электропечах, термостатах, между двумя горячими плитами, в горячей воде, галогенными ИК-лампами.

Таблица 2.3  
Сортамент и основные механические свойства штампуемых материалов

| М а т е р и а л                                     | Размеры листа, полосы, ленты, мм |                      |                                | Механические свойства                  |   |
|---|----------------------------------|----------------------|--------------------------------|--|---|
|   | Толщина<br>$S$ , мм              | Длина<br>$L$ , мм    | Ширина<br>$B$ , мм             | $\sigma_B$ при рас-<br>тяжении,<br>МПа | Сопротив-<br>ление срезу<br>$\tau_{CP}$ , МПа |
| Сталь тонколистовая<br>углеродистая<br>ГОСТ 9045-70 | 0,2; 0,25; 0,3-<br>1,2 через 0,1 | 1200<br>1400<br>1420 | 400, 600,<br>670,<br>710, 750, |  |   |
| 0,8кп; 10кп   | 0,2 мм; 2,5                      | 1500                 | 800, 900,                      | 280 – 330                              | 220 – 260                                     |
| 15кп; 20  | 2,8; 3,0; 3,2                    | 1800                 | 1000,                          | 300 – 400                              | 240 – 300                                     |
| 35; 10Г2А   | 3,5; 4,0                         | 2000                 | 1400                           | 450 – 600                              | 360 – 480                                     |
| 30ХГСА; 45  |                                  | 3000                 |                                | 550 – 750                              | 440 – 560                                     |

|   |  |  |   |   |  |
|---|--|--|---|---|--|
| Лента стальная низкоуглеродистая холодной прокатки<br>ГОСТ 503-71<br>М; ПН; Н       | 0,05;0,06;0,08<br>0,10; 0,12;0,15<br>0,18; 0,2; 0,22<br>0,25; 0,28<br>от 0,3 до 1,95 | до 4000  | от 4 до 20 с шагом 1 мм для толщин до 0,4 мм          | 350 – 500<br>420 – 600                            | 280 - 400<br>330 - 480                           |
| Лента стальная холодной прокатки конструкционная<br>ГОСТ 19904-74<br>15; 20; 25; 45 | через 0,05 мм<br>от 2 до 3,6<br>через 0,1 мм   |  | от 20 до 40 с шагом 2 мм                              | 450 – 800<br>500 – 850<br>550 – 600<br>770 – 1050 | 360 – 640<br>400 – 680<br>440 – 720<br>560 – 840 |
| Листы и полосы латунные ЛС59-1; Л68; Л65 ГОСТ 931-70                                | 0,4-1,0 через 0,1 мм<br>1,5; 1,8; 2,0  | Листы: 1500x600; 1410x710; 1000x2000;<br>Полосы: ширина от 40 до 500 |   | 240 – 350   | 240 - 280  |
| Ленты латунные Л68; Л63; ЛС 59-1 ГОСТ 2208-70                                       | 0,05–0,10 через 0,01 мм 0,12; 0,15; 0,18; 0,2  | До 175 для толщины 0,05-0,09 мм<br>20 м - до 0,5 мм                  |   | 300 – 380   | 240 - 300  |
| Ленты медные М1; М2; М3 ГОСТ 1173-70  | 0,25-1,0 через 0,05 мм от 1,1 до 2,0 через 0,1 мм                                    | 10 м - до 1,0 мм<br>7 м - до 2,0 мм                                  |   | 210 – 300   | 170 - 240  |
| Листы, полосы алюминиевые А0; А1; А2; А3; А5; А0-1; Д1; Д16 и т.п. ГОСТ 13726-68    | 0,3; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 3,0; 6,0; 10   | 2000<br>3000<br>4000   | 400; 500; 600<br>800; 1000;<br>1200; 1400;<br>1500    | 70 – 150  | 55 - 120   |
| Полосы и ленты из бериллиевой бронзы БрБ2; БрБ2,5<br>ГОСТ 1789-60                   | 0,05-0,1 через 0,01 мм; 0,12 0,15; 0,18-0,22<br>через 0,02 мм                        | 1000<br>2000<br>4000   | Полосы: 50; 100; 300<br>Ленты: 10-200 толщина до 0,15 | 300 – 360   | 240 – 280  |
| Полосы и ленты из бронз БрОф6,5-0,15; БрОЦ4-5<br>ГОСТ 1761-70                       | 0,25-0,9 через 0,05 мм; далее через 0,1 мм   |  | 10-300 толщина 0,18-0,45                              | 300 – 500<br>600 – 700                            |  |
| Стеклотекстолит, в т.ч. фольгированный  |  |  |   |   | 120 - 150  |

При вырубке материала с подогревом усадка размеров, совпадающих с продольным направлением листа несколько меньше усадки размеров, совпадающих с поперечным направлением. Поэтому при штамповке деталей прямоугольной формы раскрой листа на полосы рекомендуется производить так, чтобы длина и ширина детали совпадали с длиной и шириной листа, соответственно.

При вырубке (пробивке) деталей из гетинакса и текстолита в целях повышения качества поверхности среза, предотвращения появления среза, предотвращения появления трещин и “выпучивания” (расслоения) материала в штампах необходимо применять сильные прижимные устройства. При вырубке гетинакса и текстолита применяют большую величину перемычек, чем для металла, т.к. вследствие хрупкости этих материалов малые перемычки растрескиваются и выкрашиваются.

### 1.3. Оборудование и оснастка, применяемые при штамповке

Основным оборудованием для холодной штамповки являются кривошипные гидравлические и пневматические прессы.

Кинематическая схема кривошипного прессы показана на рис.2.5.

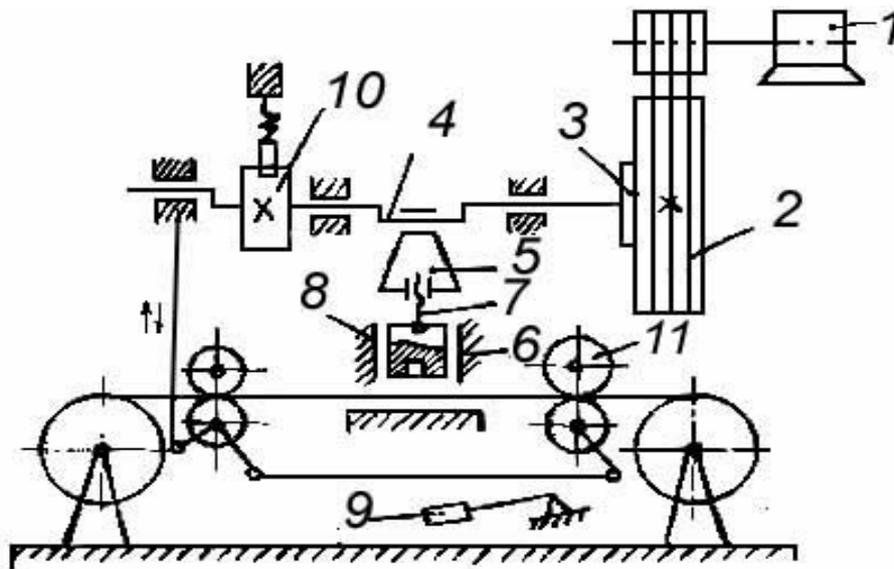


Рис 5 Кинематическая схема кривошипного прессы

Он состоит из кривошипного вала 4, на один из концов которого насажен маховик 2, свободно вращаемый на валу электродвигателем 1 при помощи клиноременной передачи. Кривошипный вал шатуном 5 и винтом 7 соединен с ползуном 6 прессы,двигающегося в направляющих 8. Винт 7 позволяет регулировать положение ползуна 6, что дает возможность устанавливать на пресс штампы различной высоты. Маховик 2 соединяется с кривошипным валом прессы муфтой 3, включаемой нажатием педали 9. Тормоз 10 быстро останавливает кривошипно-шатунный механизм прессы после разъединения муфты. Современ-

менные прессы оснащаются современными устройствами для подачи материала, удаления отходов и изделий.

Для подачи заготовки может быть использовано валковое устройство 11 или клещевые, клинковые и др. механизмы. Отдельные заготовки насыпают в приемники-бункеры, откуда они поштучно попадают в штамп. Для удаления отштампованных изделий и отходов применяют пружинные выбрасыватели, механические руки (роботы), воздушное сдувание и т.д.

Оснасткой к оборудованию холодной штамповки являются штампы.

Как видно из рис.2.6, простейший вырубной штамп состоит из нижней 1 и верхней 2 плит, направляющих колонок 4, хвостовика 3, направляющих втулок 5, пуансонодержателя 8, сменного пуансона 6, жесткого съемника 9, направляющих планок 10, вырубной матрицы 7 и крепежных деталей.

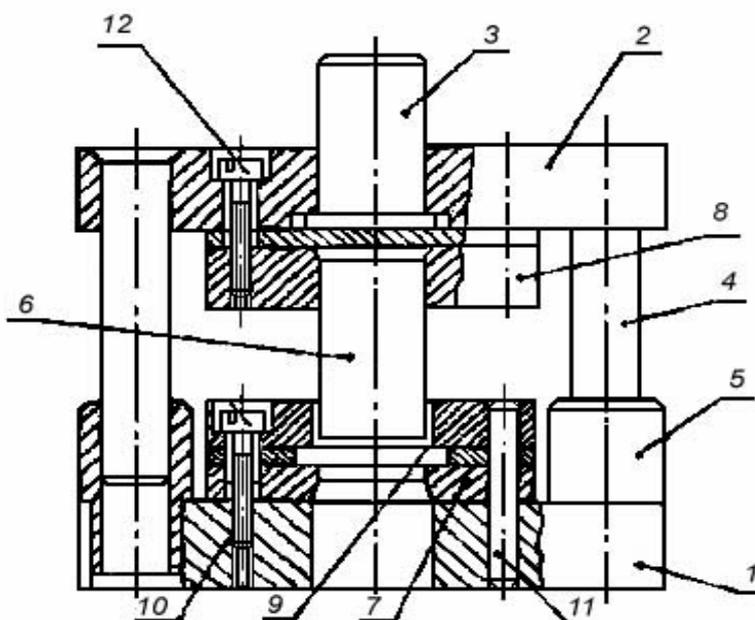


Рис 2.6. Эскиз вырубного штампа

Штампы различают по трем признакам: технологическому, конструктивному и эксплуатационному

По технологическому признаку штампы подразделяются по роду выполняемых операций (отрезные, вырубные, гибочные и т.п.), по количеству одновременно штампуемых деталей (одноместные и многоместные) и по совмещенности операций (одно-операционные, многооперационные).

По конструктивному признаку штампы подразделяются на штампы с направляющими устройствами и без них (открытые), упрощенные и универсальные (переналаживаемые).

По эксплуатационному признаку штампы подразделяются по способу подачи материала (с ручной и автоматической подачей), по способу удаления отштампованной детали (со штамповкой на провал через отверстие в матрице, выталкиванием детали в верхнюю часть штампа и удалением его жестким выталкиванием, со сдуванием детали сжатым воздухом и ручным удалением).

Конструкцию штампа выбирают согласно виду производства. При мелкосерийном производстве выбирают универсальные переналаживаемые штампы, обеспечивающие повышенную точность штамповки, быструю переналадку, обладающие повышенной стойкостью. В крупносерийном и массовом производстве применяют штампы с направляющими колонками и упрощенные штампы, они надежны в эксплуатации, удобны при установке, обладают повышенной стойкостью.

Для изготовления основных деталей штампов - пуансонов и матриц применяются инструментальные стали У7А 48А и т.д. или высокопрочные легированные стали марок ХВГ, Х12Ф1, Х12М (HRC 54-60), вольфрам - кобальтовые твердые сплавы марок ВК-8, ВК-15, ВК20, ВК25, ВК30 (HRC 85-89).

В некоторых случаях для изготовления пуансонов и матриц вытяжных и формовочных штампов может применяться резина марок 3311, 1847, отвержденные эпоксидные смолы марок ЭД - 5, ЭД - 6, Э - 40.

#### *1.4. Импульсные высокоскоростные виды штамповки*

В промышленности нашли применение беспрессовые методы штамповки ввиду ограниченных возможностей механических и гидравлических прессов:

- штамповка давлением ударной волны при взрыве взрывчатых веществ (ВВ) в воде или т.н. взрывная штамповка;
- штамповка воздействием высоковольтного электрического разряда в жидкостях или электрогидравлическая штамповка;
- штамповка импульсами магнитного поля высокой напряженности или магнитоимпульсная штамповка.

Взрывная штамповка применяется для изготовления крупных деталей (1,5-8 м) при толщине материала свыше 2 мм.

В основу электрогидравлической штамповки положен электрогидравлический эффект, открытый советским изобретателем Л.А.Юткиным в 1955 году. Энергия, необходимая для электрического разряда накапливается в высоковольтной конденсаторной батарее (35-40 кВ). Накопленная энергия создает между электродами мгновенный разряд длительностью 0,04 мкс, вызывающий ударную волну в жидкости, которая деформирует заготовку.

Магнитоимпульсная штамповка характерна тем, что давление на деформируемую металлическую заготовку создается непосредственным воздействием импульсного магнитного поля без участия промежуточных твердых, жидких или газообразных сред. Это позволяет штамповать детали из полированных и лакированных заготовок без повреждения поверхности.

Магнитоимпульсная штамповка основана на создании в области обрабатываемой заготовки мощного импульсного магнитного поля. Это поле индуцирует вихревые токи противоположного направления в металлической заготовке, что приводит к появлению электромеханических сил взаимодействия, стремящихся оттолкнуть заготовку от магнитного индуктора. Магнитный импульс длится 10-20 мкс, создавая давление от 3500 до 39000 кгс/см<sup>2</sup>. Движущая заготовка с большой скоростью 300-400 м/с ударяется в матрицу, в результате чего возникают огромные силы соударения, деформирующие заготовку.

*2. Оборудование, оснастка, инструмент, заготовки, применяемые при выполнении лабораторной работы.*

1. Пресс одно-кривошипный марки К211ЧУ4.
2. Вырубные, пробивные, гибочные, комбинированные штампы.
3. Измерительный инструмент: штангенциркуль ШЦ - 1 ГОСТ 166 - 03, линейка 1 - 200 ГОСТ 427 - 75.
4. Заготовки: штампованные детали РЭС и электронно-оптической аппаратуры.
5. Материалы: электрокартон.

*3. Порядок выполнения работы*

1. Получить у лаборанта или преподавателя штампованные детали.
2. Рассчитать размеры развертки детали, используя формулы (2-4).
3. Произвести рациональный раскрой материала, рассчитать номинальную ширину полосы. Определить коэффициент использования материала.
4. Рассчитать усилие вырубки, гибки, необходимое для изготовления данной детали. По формуле (3.6) определить усилие штамповки. Выбрать по усилию штамповки необходимое оборудование (типы прессов их характеристики приведены на стенде).
5. Разработать технологический процесс изготовления детали, который должен включать в себя подготовительные, штамповочные, отделочные, контрольные и др. операции.
6. Ознакомиться с конструкцией однокривошипного прессы. Под руководством преподавателя или лаборанта произвести процесс штамповки детали из электрокартона.
7. Изучить конструкции штампов, имеющихся в лаборатории, ознакомиться с их особенностями.
8. Изучить стенд “Листовая штамповка в технологии производства деталей РЭС” и правила оформления операционной карты листовой штамповки.

#### *4. Содержание отчета*

1. Цель работы.
2. Чертеж детали.
3. Эскиз развертки детали.
4. Эскиз полосы с раскроем.
5. Расчеты размеров детали, полосы, коэффициента использования материала, усилий вырубки, гибки штамповки, выбор оборудования.
6. Блок-схема техпроцесса изготовления детали.
7. Выводы по работе.

#### *5. Контрольные вопросы*

1. Процесс пластической деформации.
2. Механизмы пластической деформации.
3. Преимущества холодной листовой штамповки.
4. Разновидность листовой штамповки.

5. Типы прессов для холодной листовой штамповки.
6. Принцип работы кривошипного пресса.
7. Виды операций, выполняемых с помощью листовой штамповки.
8. Виды раскроя полосы.
9. Как снизить усилие вырубки?
10. Материалы деталей штампов.
11. Особенности штамповки металлических материалов.
12. Автоматизация и механизация процесса листовой холодной штамповки.
13. Классификация штампов.
14. Способы удаления заусениц.

#### *Литература*

1. Технология деталей и периферийных устройств ЭВА: Учебн. пособие для радиотехнических спец. вузов/М.Д. Тявловский, А.А. Хмыль, В.К. Станишевский. - Мн.: Высшая школа, 1981. - 255 с.
2. Технология металлов и других конструкционных материалов. В.В. Архипов, А.А. Абиндер, М.А. Касенков и др. - М.: Высшая школа 1968.
3. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. - М.:, Машиностроение, 1979 - 576 с.
4. Савровский В.С, Головня В.Г. конструкционные материалы и их обработка. М. Высшая школа 1976.

## *Лабораторная работа № 3*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС ПРЯМЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

#### **Цель работы**

1. Изучение классификации, состава и свойств пластмасс.
2. Изучение технологических процессов, оснастки и оборудования для изготовления деталей из пластмасс.
3. Разработка технологического процесса прямого прессования с заполнением операционной технологической карты.
4. Исследование влияния температуры, удельного давления, прессования и времени выдержки под давлением на качество полученных деталей.

#### *ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ*

##### Вариант 1

1. Термореактивные пластмассы и их свойства.
2. Прямое прессование.
3. Исследовать влияние температуры прессования на качество деталей. Пластмасса: фенопласт К-21-22 ГОСТ 5689-.79 ( $T = 130, 140, 150, 160, 170^{\circ}\text{C}$ ), время выдержки под давлением 1 мин, удельное давление 25 МПа, температура предварительного нагрева  $80^{\circ}\text{C}$ .

##### Вариант 2

1. Термопластичные пластмассы и их свойства.
2. Литьевое прессование.
3. Исследовать влияние удельного давления на качество деталей. Пластмасса: полиэтилен ПЭНД ГОСТ 16338-85Е ( $P_{\text{уд}} = 20, 25, 30, 35 \text{ МПа}$ ,  $T = 190^{\circ}\text{C}$ ), остальные параметры из вар. 1.

##### Вариант 3

1. Композиционные пластмассы.
2. Характеристики оборудования и оснастки для прессования пластмасс.
3. Исследовать влияние выдержки под давлением на качество деталей. Пластмасса: полистирол ПСМ 115 ГОСТ 20282-77Е ( $t = 0.5, 0.8, 1.0, 2.0 \text{ мин}$ )  $T = 180^{\circ}\text{C}$ , остальные параметры из вар.1.

##### Вариант 4

1. Общая характеристика физико-механических свойств пластмасс.
2. Разработка и оформление техпроцесса прямого прессования.
3. Исследовать влияние температуры предварительного подогрева на ка-

чество деталей. Пластмасса: фенопласт К-21-22 ( $T_{\text{ПРЕД}} = 70, 80, 90, 100^{\circ}\text{C}$ ),  $T = 150^{\circ}\text{C}$ , остальные параметры из вар.1.

## 1. Краткие теоретические сведения

### *1.1. Классификация, состав и свойства пластмасс*

При изготовлении изделий конструктивной базы РЭС и электронно-оптической аппаратуры в качестве конструкционных и радиотехнических материалов широкое применение находят пластмассы.

Пластмассы – это неметаллические материалы, изготовленные на основе природных или синтетических высокомолекулярных соединений, полимеров.

Природные полимеры являются веществами биологического происхождения (канифоль, битум, шеллак, янтарь). Синтетические полимеры получают реакциями полимеризации или поликонденсации простых органических веществ, мономеров.

По отношению к нагреванию и растворителям пластмассы делятся на термопластичные (термопласты) и термореактивные (реактопласты). Такое деление находится в прямой зависимости от типа и природы полимера, составляющего основу пластмассы. Термопласты при нагревании переходят в вязкотекучее состояние, при охлаждении затвердевают. Этот переход можно повторять многократно, т.е. возможна вторичная переработка материала. Термопласты растворяются в органических растворителях. Полимеры этой группы имеют линейную или разветвленную структуру молекул. В силу низкой термостойкости изделия из большинства термопластов могут нормально работать при температурах не более  $60-70^{\circ}\text{C}$ . В то же время они хорошие диэлектрики, прочны и коррозионностойки. Благодаря высокой текучести из термопластов можно получать изделия сложной формы.

Термореактивные полимеры при нагреве до определенной температуры расплавляются и в результате химических превращений твердеют, переходя в нерастворимое состояние. Этот процесс является необратимым. Для реактопластов характерна пространственная структура молекул. Большинство полимеров этой группы обладают ценными физико-механическими свойствами. Они являются хорошими диэлектриками, термостойки (могут эксплуатироваться при температуре  $100-110^{\circ}\text{C}$ ), не боятся агрессивных сред.

Пластмассы разделяют на простые (однокомпонентные) и сложные (композиционные). Простые пластмассы представляют собой чистые, чаще всего термопластичные полимеры: полиэтилен, полистирол, винилпласты, полиамидные смолы, фторопласты. Композиционные пластмассы состоят из полимера и специальных добавок, обеспечивающих повышение жесткости, прочности, термостойкости и других свойств. Полимеры в композиционных пластмассах

выполняют функцию связующих веществ. Ими служат главным образом термо-реактивные синтетические смолы (фенолформальдегидные, эпоксидные, кремнийорганические и др.). В качестве добавок применяются:

*наполнители* (органического и неорганического происхождения), обеспечивающие требуемые физико-механические свойства. По характеру распределения в полимере они могут быть порошковыми (кварцевая мука, тальк, каолин, мел, известь, древесная мука и др.); волокнистыми (стекловолокно, минеральная вата, целлюлозная масса, льняные очесы и др.) и листовыми (бумага, асбокартон, стекло- и хлопчатобумажная ткань и др.). Содержание наполнителей в пластмассах доходит до 40-65%;

*пластификаторы*, повышающие пластичность и снижающие температуру размягчения пластмассы при формовке изделий. Это чаще всего низкомолекулярные высококипящие жидкости (дибутилфталат, камфара, крезилфосфат и др.);

*стабилизаторы*, замедляющие процесс старения и связывающие продукты распада (стеараты кальция, свинца и бария, углекислый свинец и др.);

*красители и пигменты*, придающие пластмассам необходимую окраску (нигрозин, родамин, мумиё);

*катализаторы*, сокращающие время отверждения и ускоряющие технологический процесс (известь, окись магния и др.);

*смазывающие вещества*, способствующие отделению готовых изделий от металлических пресс-форм (стеарин, олеиновая кислота) и др.

## 1.2. Методы изготовления деталей из пластмасс

Основными методами изготовления деталей из пластмасс являются прямое (компрессионное) и литьевое прессование, литье под давлением, дутьевое и вакуумное формование. Для получения неразъемных соединений используют сварку и склеивание. Отделку и доводку деталей, нарезание резьбы, изготовление отверстий выполняют обработкой резанием. Для листовых пластмасс можно применять штамповочные операции с применением прижима в зоне обработки.

Основными технологическими свойствами пресс-материалов являются:

*усадка* – уменьшение размеров детали от момента затвердевания пластмассы до ее полного остывания. Действительная усадка  $Y_d$  (%):

$$Y_d = \frac{A_f - A_d}{A_d} \cdot 100, \%$$

где  $A_f$  и  $A_d$  - размеры гнезда пресс-формы при температуре прессования и детали при комнатной температуре соответственно. Усадку необходимо учитывать при проектировании детали, пресс- и литьевой формы;

*текучесть* – способность пластмассы заполнять форму при заданных те-

температуре, давлении и времени выдержки, в конкретных условиях прессования; *таблетуемость* – способность материала подвергаться уплотнению для уменьшения объема загрузочной камеры, упрощения дозировки и др. Порошковые и волокнистые пресс-материалы уплотняются до твердых (не рассыпающихся) тел в виде дисков, шариков, гранул.

При проектировании деталей из пластмасс, получаемых методами прессования и литья, нужно учитывать следующее:

достижимая точность метода соответствует 10-12 качеству, шероховатость поверхности -  $R_z10 - R_z3,2$ ;

стенки детали должны быть равномерными, толщиной 1-10 мм; поверхности, перпендикулярные линии разъема формы, делаются с уклоном в 1-5 градусов;

отверстия диаметром менее 1,5 мм не формируются, резьбовые поверхности получают с помощью металлической арматуры и др.

### 1.2.1. Прямое (компрессионное) прессование (рис.3.1)

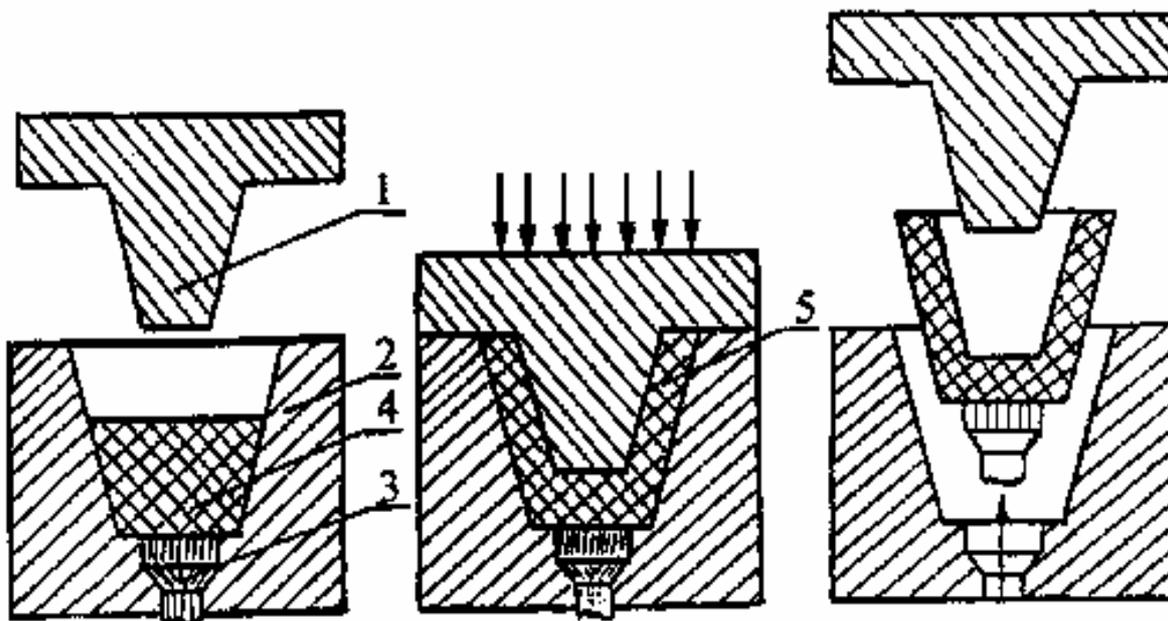


Рис.3.1. Переходы операции изготовления деталей прямым (компрессионным) прессованием: а – дозировка и загрузка; б – прессование; в – извлечение детали

Исходный материал 4 в виде порошка, гранул, таблеток, крошки или волокнистой массы загружается в пресс-форму 2 и при повышенной температуре сдавливается пуансоном 1, который одновременно оформляет часть поверхности изделия. Нагревание материала производят перед загрузкой или непосредственно в пресс-форме. Давление при прессовании зависит от текучести материала, а температура - от вида пластмассы. После выдержки

давление снимают и изделие 5 извлекают из пресс-формы при помощи выталкивателей 3. Прямое прессование применяют для производства деталей простой конфигурации из термопластичных и термореактивных материалов. Недостатки метода: наличие механических напряжений в изделии из-за градиентов температуры, погрешность размеров, необходимость удаления грата и точной дозировки. Режимы обработки некоторых видов пластмасс методом прямого прессования приведены в Приложении.

### 1.2.2. Литьевое прессование (рис.3.2)

В отличие от прямого при литьеом прессовании исходный материал 5 доводится до пластического состояния в отдельной загрузочной камере 4, из которой выдавливается пуансоном 6 через литниковую систему 3, в формирующую полость матрицы 2, где выдерживается до отверждения. Удаление изделия 8 осуществляется путем разъема пресс-формы и использования выталкивателей 1. Преимущества литьевого прессования: возможность получения деталей более сложной формы с однородной структурой, более высокая производительность, не требуется точная дозировка; а недостаток - дополнительный расход материала на литники 7 и усложнение конструкции пресс-форм. Режимы литьевого прессования приведены в приложении.

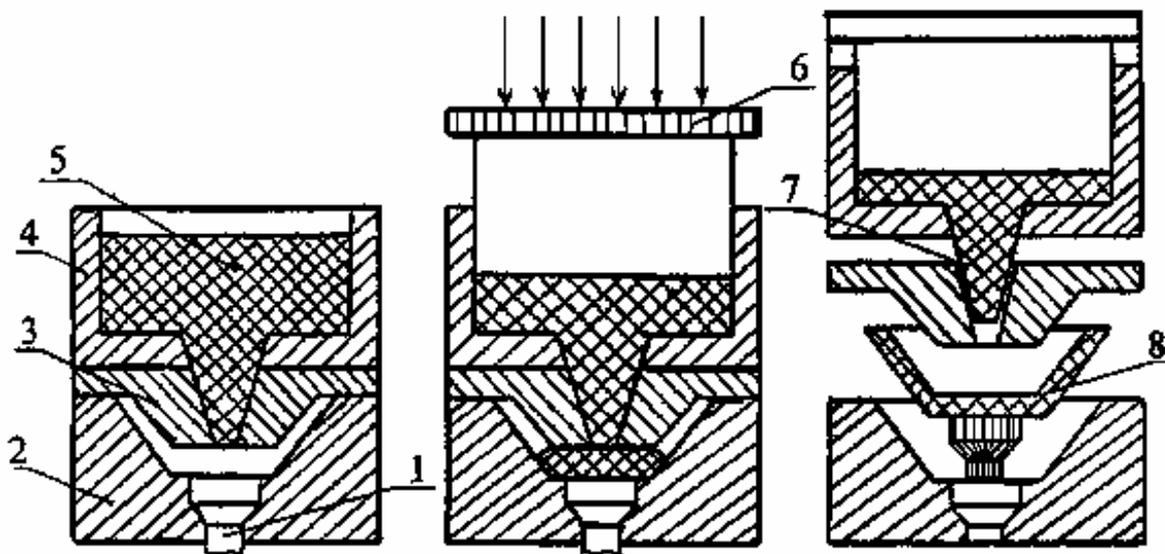


Рис.3.2. Переходы операции изготовления деталей литьевым прессованием.

### 1.2.3. Литье под давлением (рис.3.3)

Полимерный материал 1 в виде гранул или порошка загружают в бункер 3

термопластавтомата. Дозирующее устройство 2 подает порцию, соответствующую массе отливки с литниковой системой загрузочную камеру 4, когда поршень 6 находится в крайнем левом положении. В камере материал размягчают до состояния текучести электронагревателями 5, после чего выталкивают поршнем через сопло 9 и литниковую систему в оформляющую полость литейной формы. Остывая под определенным давлением, полимер приобретает конфигурацию изделия. После этого поршень отводится в исходное положение, половина 8 формы отходит до упора 10 и выталкиватели извлекают деталь 11 из стационарной части формы 7. Литье под давлением является высокопроизводительным и экономичным методом. Для него применяют механические, пневматические и гидравлические полуавтоматические или автоматические литейные машины, производительность которых (16-20 тыс. изделий в смену), что в 20-40 раз выше, чем при прямом или литевом прессовании. Методом литья под давлением получают изделия сложной конфигурации из термопластов.

Для получения труб, лент, различных профилей, нанесения изоляции на провода и т.п. применяется метод экструзии, который представляет собой непрерывное выдавливание полимерного материала в вязкотекучем состоянии через отверстия определенного профиля. Метод дает возможность получать изделия непрерывно, что обеспечивает высокие экономичность и производительность.

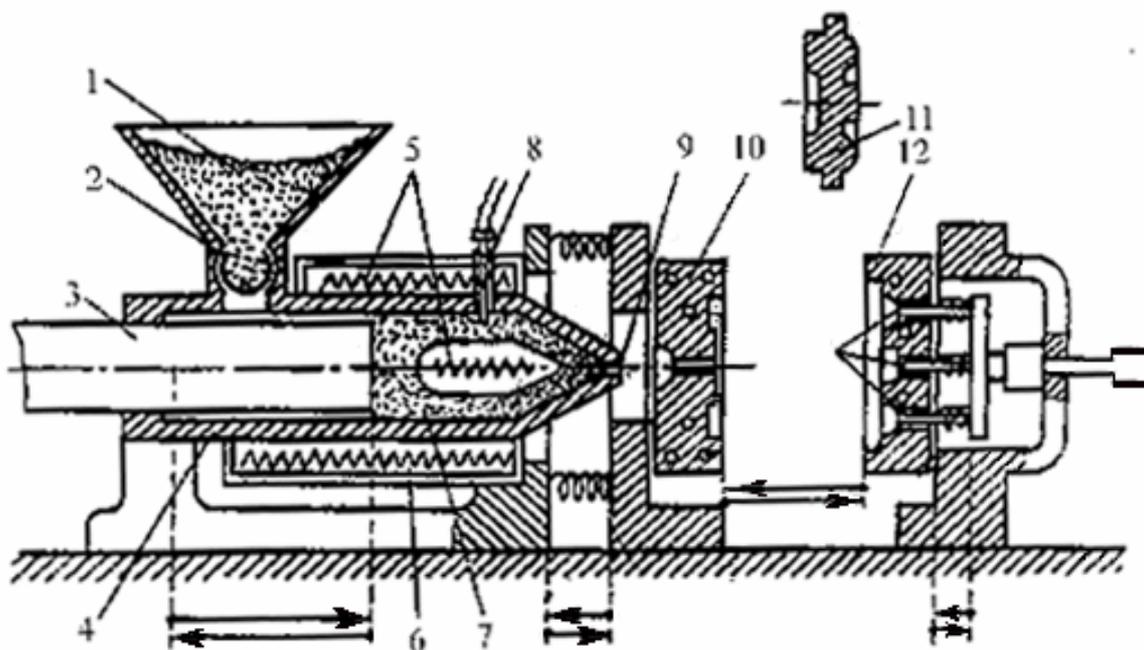


Рис.3.3. Схема изготовления деталей литьем под давлением.

Дутьевое и вакуумное прессование применяются для получения деталей пространственной формы и листовых термопластов. Предварительно нагретый до высокоэластичного состояния пресс-материал под действием сжатого воздуха, или атмосферного давления (полость матрицы вакууммируется) вдавливается в рабочую полость матрицы. Готовая деталь после охлаждения выталкивается сжатым воздухом. Соединения в месте контакта за счет взаимной диффузии молекул поверхностных слоев деталей из термопластов при нагревании. В зависимости от способа нагрева применяют сварку контактным теплом нагревательного элемента-инструмента, нагретым воздухом, токами высокой частоты, ультразвуком и др.

Качество изделий из пластмасс зависит от свойств перерабатываемого материала, состояния СТО и инструмента, технологических режимов формования и др.

### *1.3. Технологическая схема операции прямого прессования*

Кратко охарактеризуем основные переходы операции прессования.

Подготовить пресс-материал - заключается в его предварительном подогреве, что сокращает основное технологическое время операции в 2-3 раза и улучшает физико-механические свойства изделий. В зависимости от природы пресс-материала температура предварительного подогрева составляет 80-200°C. Нагрев производится в термошкафах или с помощью токов высокой частоты.

Подготовить пресс-форму - т.е. очистить ее от остатков пресс-материала, собрать ее и прогреть. Очистка может производиться механически или промывкой в растворителях.

Уложить арматуру в пресс-форму, если изготавливается армированное изделие.

Дозировать пресс-материал – осуществляется при его загрузке в пресс-форму путем взвешивания, объемным измерением или штучным исчислением в зависимости от состояния пресс-материала (пресс-порошок, гранулы, таблетки). Взвешивание является самым точным, но наиболее трудоемким способом и применяется при дозировке несыпучих материалов.

Загрузить пресс-материал - заключается в ручной или автоматической загрузке пресс-материала в формирующую полость пресс-формы.

Прессовать. Основными технологическими режимами этого перехода являются температура, давление и время выдержки, которые выбираются в зависимости от типа пластмассы (см. таблицу). Отклонение от оптимальных режимов приводит к ухудшению свойств изделий. Для термореактивных пластмасс часто применяется подпрессовка, целью которой является удаление из пресс-

формы газов и паров, образующихся в ходе химических реакций.

Извлечь деталь из пресс-формы. Осуществляется вручную или автоматически с помощью специальных толкателей или применением разъемных матриц.

Контролировать деталь – включает ее визуальный осмотр, определение геометрических размеров, механических, электрических и др. свойств, определяемых ТУ на изделие.

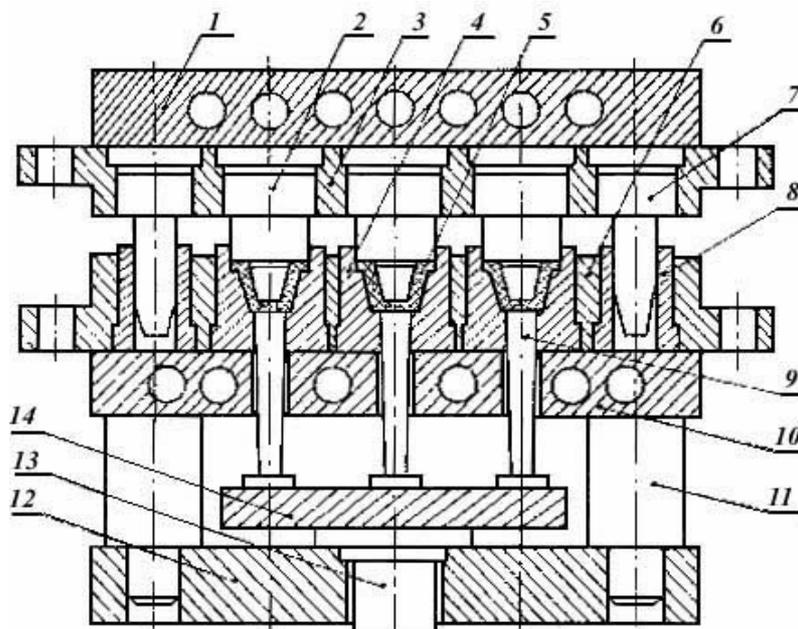
#### *1.4. Оборудование и оснастка операции прессования*

В качестве оборудования для операций прессования применяются гидравлические и механические прессы как простого, так и двойного действия, обеспечивающие удельное давление прессования порядка 60-80 МПа.

Оснасткой операции прессования являются пресс-формы, которые по способу установки на столе прессы делятся на съемные и стационарные. Съемные пресс-формы обслуживаются вручную и применяются в единичном и мелкосерийном производстве. Стационарные пресс-формы, закрепляющиеся на верхней и нижней плитах прессы, оборудованы нагревателями, механизмами автоматической загрузки и выталкивания, применяются при крупносерийном и массовом производстве.

На рис.3.4 представлена конструкция многоместной пресс-формы с горизонтальной плоскостью разъема. Пуансонодержатель закрепляется на верхней плите прессы, а нижняя часть с матрицами крепится к столу прессы. Правильное взаимное расположение пуансонов и матриц производится центрированием направляющих колонок по втулкам.

Все детали пресс-формы по выполняемым функциям делят на две группы: формующие и вспомогательные. К группе формующих относят: матрицы, пуансоны, вкладыши, гладкие и резьбовые формующие стержни. Рабочие поверхности формующих деталей подвергаются нагреву и абразивному износу, поэтому для их изготовления применяют высокопрочные легированные стали



типа ХГ, ХВГ, 5ХНМ, Х12М. Матрицы могут быть как цельными, так и разъемными.

Рис. 3.4. Конструкция многоместной пресс-формы с горизонтальной плоскостью разреза: 1 - верхняя плита обогрева; 2 - пуансоны; 3 – пуансонодержатели; 4 – матрицы; 5 - детали; 6 - матрицедержатель; 7 - направляющие колонки; 8 - втулки направляющих колонок; 9 – выталкиватели; 10 - нижняя плита обогрева; 11 - опорные колонки; 12 – основание; 13,14 – детали выталкивающего устройства

По конструкции загрузочной камеры, пресс-формы делятся на открытые, закрытые и комбинированные (рис.3.5а,б,в, соответственно). При работе с открытыми пресс-формами не нужна точная дозировка пресс-материала, так как при плоском замыкании имеется возможность его выхода из рабочей полости, пресс-формы закрытого типа требуют точной дозировки и обычно применяются для формовки деталей из реактопластов. В комбинированных пресс-формах, занимающих промежуточное положение, между боковыми поверхностями загрузочной камеры и пуансона имеется зазор для выхода излишнего материала, Они несложны в изготовлении и долговечны. При проектировании пресс-форм расчет размеров оформляющих поверхностей деталей производят с учетом коэффициента усадки материала изделия.

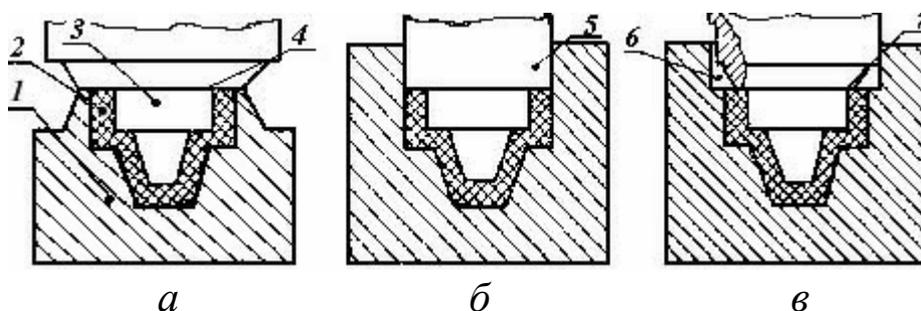


Рис.3.5. Пресс-формы открытого (а), закрытого (б) и комбинированного (в) типов: 1 - матрица; 2 - деталь; 3 – пуансон; 4 - плоскость замыкания; 5 - замыкающая поверхность; 6 – место для выхода избытка пресс-материала.

Для нагрева пресс-форм используют перегретый пар, горячую воду, газ, электрический ток, токи высокой частоты.

## *2. Оборудование, оснастка, инструмент и материалы, применяемые при выполнении лабораторной работы*

### 1. Лабораторный макет.

2. Система силоизмерительная ЦТМ-5.
3. Прибор для измерения твердости ТК-2.
4. Маятниковый копер МК-15.
5. Микроскоп МИС-11.
6. Штангенциркуль ШЦ-Ш-125-01 ГОСТ 166-73.
7. Весы технические ТЧ.
8. Пресс-материалы: фенопласт К-21-22, полиэтилен, полистирол.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения работы (см. лабораторный макет на рис.3.6) необходимо:

1. Отвинтив гайки 2, разобрать макет: отделить плиту 3 с винтом 1 и поршнем 4, снять цилиндр литьевой 6 с нагревателем 7 и пресс-форму 5.
2. Проверить поршень и цилиндр литьевой на наличие остатков пластмассы от предыдущей отливки. При их наличии произвести зачистку.
3. Проверить на отсутствие грата в пресс-форме и правильность сборки. Установить пресс-форму на подогреватель 8;
4. В зависимости от задания засыпать в литьевой цилиндр 25-30 гранул полиэтилена или 60-65 гранул полистирола;
5. Выдвинув при помощи винта поршень таким образом, чтобы его можно было вставить на 2-3 мм в литьевой цилиндр, закрепляют плиту совместно с литьевым цилиндром на стойках 10;
6. Гайки 2 зажимаются до упора, а винт 1 вворачивается так, чтобы поршень находился в литьевом цилиндре с небольшим давлением. Этим достигается уплотнение гранул, что исключает образование воздушных пузырей;
7. Включаются тумблеры “Сеть”, тумблер нагревателя литьевого цилиндра ставится в положение “I” (соответствует максимальной скорости нагрева) и тумблер подогрева литьевой формы;

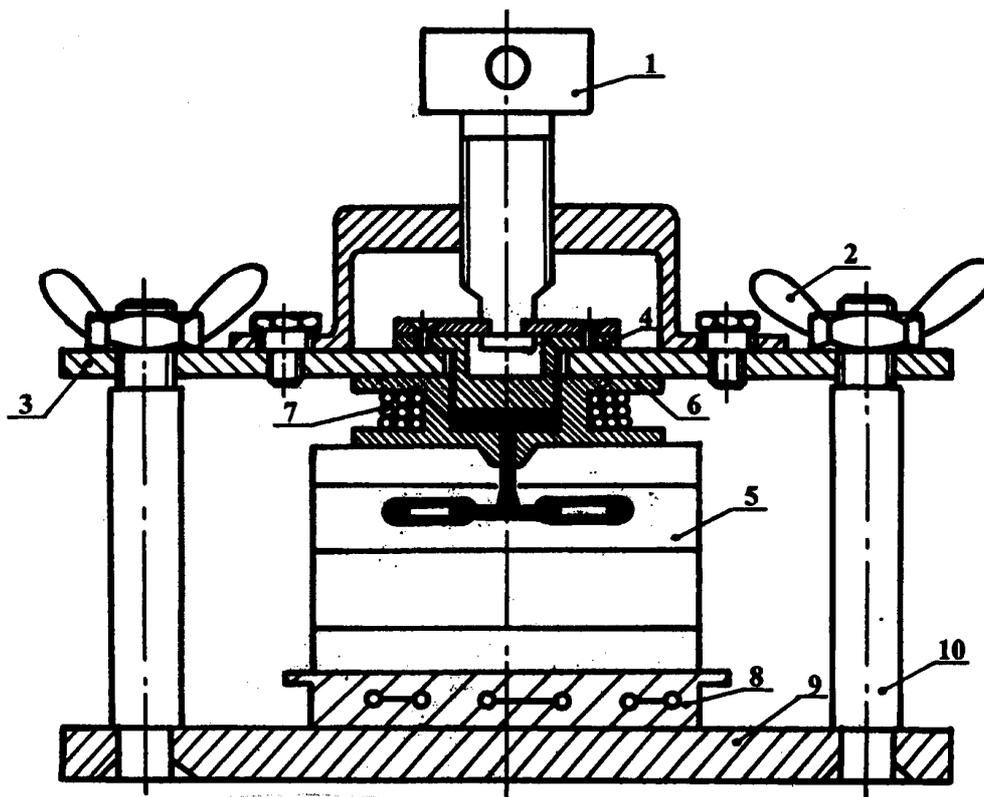


Рис.3.6. Схема лабораторного макета.

8. Выдерживается время 5-10 минут. При помощи термопары контролируется температура литьевого цилиндра ( $180^{\circ}\text{C}$  для полиэтилена и  $190-200^{\circ}\text{C}$  для полистирола), формы, нижнего нагревателя в зависимости от времени через каждые 30 секунд. При контроле температуры литьевого цилиндра термопара помещается между креплением ручки и корпусом цилиндра.

9. После достижения необходимой температуры и выдержки 1-2 минуты при меньшей скорости нагрева литьевого цилиндра (тумблер нагрева литьевого в положении “II”) со скоростью 1 оборот в секунду закручивается винт 1 без остановок до упора (предварительно убедиться в совмещении поршня с литьевым цилиндром), создавая давление в литьевом цилиндре. Давление контролируется по положению рычага вращения винта относительно шкалы. Нормальное давление соответствует положению рычага на первой риске. Если упругий элемент рычага изогнулся до второй риски, то поршень или уперся в край цилиндра или не расплавилась пластмасса, забито литьевое отверстие и т.д.

10. Дать выдержку давления 1-2 минуты, а затем при помощи винта 1 поднять поршень в верхнее положение.

11. После охлаждения литьевой формы до  $70^{\circ}\text{C}$  произвести разработку макета и извлечь деталь.

12. Исследовать ее качество путем измерения ударной вязкости, твердости, точности геометрических размеров.

13. Определить усадку детали, построить зависимости качественных параметров (по указанию преподавателя) от исследуемого технологического фактора.

## **2. 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Цель работы.
2. Индивидуальное задание,
3. Краткие теоретические сведения.
4. Схема исследуемого техпроцесса.
5. Характеристика применяемого оборудования, оснастки, инструментов, материалов.
6. Экспериментальные данные и их обработка.
7. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

## **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Общая характеристика физико-механических свойств пластмасс,
2. Термопластичные пластмассы и их свойства.
3. Термореактивные пластмассы и их свойства.
4. Композиционные пластмассы и их свойства.
5. Технологический процесс прямого прессования.
7. Технологический процесс литьевого прессования,
8. Литье под давлением.
9. Характеристика оборудования, применяемого для прессования пластмасс.
10. Характеристика оснастки для прессования пластмасс.
11. Технологические режимы прессования пластмасс.
12. Разработка и оформление технологических процессов прессования.

### **Литература**

1. Гуль В.В., Агутин М.С. Основы переработки пластмасс.- М.: Химия, 1985.
2. Технология конструкционных материалов. Учебник для ВУЗов/ Под ред. А.М.Дальского.- М.: Машиностроение, 1985.- 448 с.
3. Ачкасов Н.А., Терган В.С., Козлов В.И. Технология точного приборостроения.- М.: Машиностроение, 1981.- 351 с.
4. Яковлев А.Д. Технология изготовления изделий из пластмасс.- М.: Машиностроение, 1986.- 284 с.

## Лабораторная работа №4

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

### 1. Цель работы

Изучить сущность шероховатости поверхности и причины ее возникновения, параметры и условные обозначения шероховатости поверхности на чертежах, принципы выбора параметров для нормирования шероховатости. Ознакомиться с оборудованием, применяемым для исследования шероховатости поверхности. Изучить методику исследования шероховатости поверхности с помощью микроскопа и профилометра. Исследовать влияние режимов резания на шероховатость поверхности деталей.

### 2. Индивидуальные задания

#### Вариант 1

1. Физическая сущность шероховатости поверхности.
2. Оборудование, применяемое для исследования шероховатости.
3. Исследовать шероховатость поверхностей деталей в соответствии с вариантом 1 табл.1.

#### Вариант 2

1. Условное обозначение шероховатости поверхности на чертежах.
2. Методика исследования шероховатости поверхности с помощью микроскопа МИС-11 и профилометра-профилографа.
3. Исследовать шероховатость поверхности детали в соответствии с вариантом 2 табл.1.

#### Вариант 3

1. Нормирование параметров шероховатости поверхности.
2. Шероховатость поверхностей деталей, полученных литьем и обработкой давлением.
3. Исследовать шероховатости поверхностей деталей в соответствии с вариантом 3 табл.1.

#### Вариант 4

1. Методы контроля шероховатости поверхностей.
2. Шероховатость поверхностей деталей, полученных при различных видах обработки резанием.
3. Исследование шероховатости поверхности деталей в соответствии с вариантом 4 табл.1.

## 2.1. Таблица 1 – Индивидуальные задания к лабораторной работе

| N вар | Материал | Вид обработки | 2.2. Инструмент  | N образца | 2.3. Режимы обработки |          |         |
|-------|----------|---------------|--|-----------|-----------------------|----------|---------|
|       |          |               |  |           | n, об/мин             | S, мм/об | Примеч. |
| 1     | Ст3      | Точение       | Резец проходной отогнутый                              | 2         | n 1                   | S1       |         |
|       |          |               |  | 3         | n 1                   | S3       |         |
|       |          |               |  | 4         | n2                    | S1       |         |
|       |          |               |  | 5         | n3                    | S1       |         |
| 2     | 40X      | Фрезерование  | Фреза торцовая с 5-тигранными пластинами из тв. сплава | 2         | nl                    | S2       |         |
|       |          |               |  | 3         | nl                    | S3       |         |
|       |          |               |  | 4         | n2                    | S1       |         |
|       |          |               |  | 5         | n3                    | S1       |         |
| 3     | 40X      | Сверление     | Сверло спиральное из быстрорежущей стали               | 1         | nl                    | S1       |         |
|       |          |               |  | 3         | nl                    | S3       |         |
|       |          |               |  | 4         | n2                    | S1       |         |
|       |          |               |  | 5         | n3                    | S1       |         |
| 4     | 40X      | Развертывание | Развёртка цилиндрическая                               | 1         | nl                    | S1       |         |
|       |          |               |  | 3         | nl                    | S3       |         |
|       |          |               |  | 4         | n2                    | S1       |         |
|       |          |               |  | 5         | n3                    | S1       |         |

### 3. Краткие сведения из теории

Состояние поверхности в значительной мере определяет надежность, прочность, износо- и коррозионную стойкость деталей, узлов и приборов. Качество поверхности характеризуется совокупностью физико-механических и химических свойств, а также геометрических отклонений реальной поверхности от номинальной

Реальная поверхность - это поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды. Ее получают в процессе обработки.

Номинальная поверхность - это поверхность детали, изображенная на чертеже.

Геометрические отклонения реальной поверхности от номинальной характеризуются волнистостью» макро- и микронеровностями. Условно их различают в зависимости от отношения шага S к высоте H неровностей. При  $S/H > 1000$  – макронеровности;  $S/H = 60-1000$  – волнистость; при  $S/H < 50$  – шероховатость поверхности

#### 3.1 Микрогеометрические отклонения поверхности

Микрогеометрические отклонения или шероховатость поверхности оцениваются на относительно малых участках реальной поверхности. Под шерохо-

ватостью понимается совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины. Шероховатость поверхности оценивается по неровностям профиля, получаемого путем сечения этой поверхности плоскостью, перпендикулярной номинальной поверхности (рис.1). ГОСТ 2789-73 устанавливает характеристики и параметры шероховатости поверхности и распространяется на поверхности изделий независимо от их материала и способа изготовления (исключение составляют ворсистые, пористые и аналогичные им поверхности). При определении параметров шероховатости из рассмотрения исключаются местные дефекты поверхности (раковины, трещины, вмятины, царапины и т.д.).

Стандарт устанавливает для количественной оценки шероховатости шесть параметров три высотных ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ), два шаговых ( $S_m$ ,  $S$ ) и параметр относительной опорной длины профиля ( $t_p$ ).

1. Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  — это среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Y(x)| dx, \text{ приближенно } R_a = \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i|, \quad (1)$$

где  $l$  — базовая длина;  $n$  — число измеренных точек профиля на базовой длине.

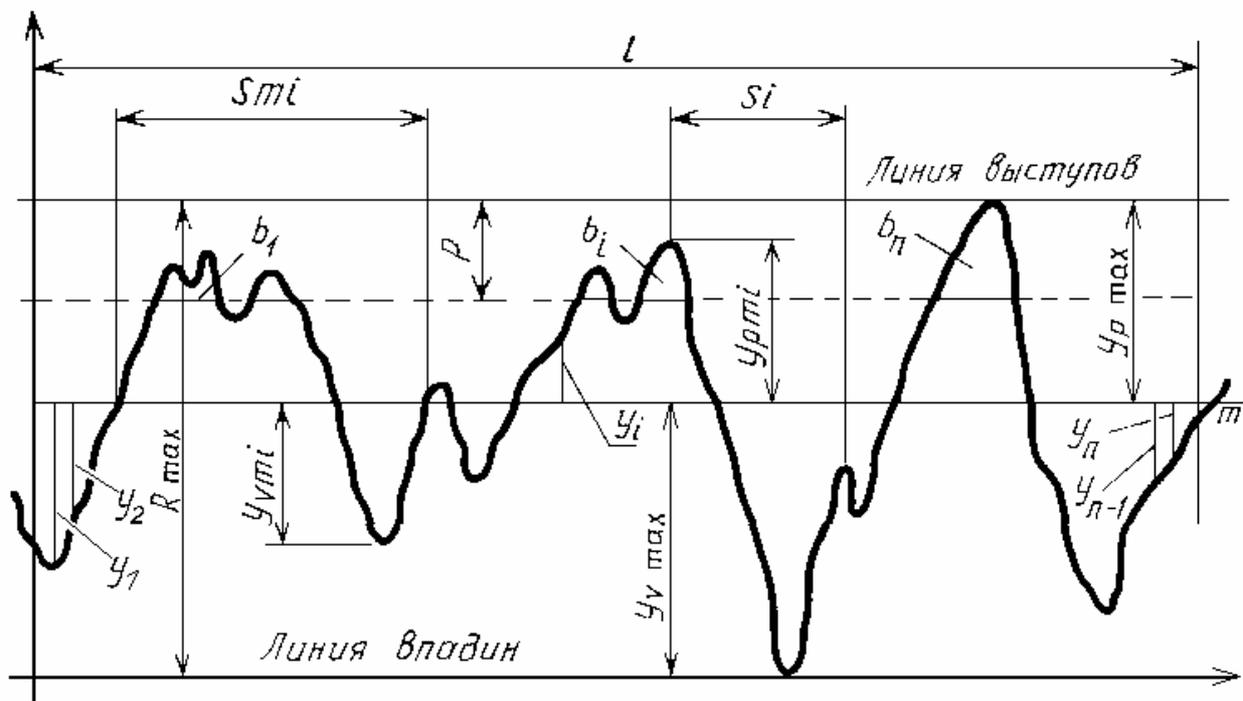


Рис.1. Параметры шероховатости поверхности

Базовая длина - это длина базовой линии, в пределах которой осуществляется оценка того или иного параметра шероховатости.

Базовая линия - это линия заданной геометрической формы, определённым образом проведенная относительно профиля и служащая для оценки геометрических параметров поверхности.

2. Высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$  — сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубины пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |Y_{ip \max}| + \sum_{j=1}^5 |Y_{jv \max}| \right), \quad (2)$$

где  $Y_{ip \max}$  — высота  $i$ -го наибольшего выступа профиля;  $Y_{jv \max}$  — глубина  $j$ -й наибольшей впадины профиля.

3. Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{\max}$  — расстояние между линией выступов и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

4. Средний шаг неровностей профиля  $S_m$  — среднее значение шага неровностей профиля по средней линии  $m$  в пределах базовой длины. Средняя линия профиля представляет собой базовую линию, имеющую форму номинального профиля и проведенную так, что в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля до этой линии минимально.

5. Средний шаг местных выступов профиля  $S$  — среднее значение шагов местных выступов профиля (по вершинам), находящихся в пределах базовой длины.

6. Относительная опорная длина профиля  $t_p$  — отношение опорной длины профиля  $\eta_p$  к базовой длине  $l$ :

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l} = \frac{\eta_p}{l}, \quad (3)$$

где  $b_i$  — опорная длина профиля, равная сумме длин отрезков, отсекаемых на заданном уровне в материале профиля линией, эквидистантой средней линии в пределах базовой длины.

ГОСТ 2789-73 устанавливает числовые значения параметров шероховатости и базовой длины, а также соотношения между этими параметрами и базовой длиной, на которой они оцениваются. Рекомендуемые стандартом соотношения высотных параметров и базовой длины даны в табл.2.

Таблица 2 – Параметры и классы шероховатости поверхности

| Класс | 2.4. Параметр шероховатости  |                                   | Базовая длина, мм |
|-------|------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
|       | Ra, мкм                      | Rz, мкм                           |                   |
| 1     | 80; 63; <u>50</u> ; 40       | 320; 250; <u>200</u> ; 160        | 8,0               |
| 2     | 40; 32; <u>25</u> ; 20       | 160; 125; <u>100</u> ; 80         |                   |
| 3     | 20; 16; <u>12,5</u> ; 10     | 80; 63; <u>50</u> ; 40            |                   |
| 4     | 10,0; 8,0; <u>6,3</u> ; 5,0  | 40; 32; <u>25</u> ; 20,0          | 2,5               |
| 5     | 5,0; 4,0; <u>3,2</u> ; 2,5   | 20,0; 16,0; <u>12,5</u> ; 10,0    |                   |
| 6     | 2,5; 2,0; <u>1,6</u> ; 1,25  | 10,0; 8,0; <u>6,3</u>             | 0,8               |
| 7     | 1,25; 1,0; <u>0,8</u> ; 0,63 | <u>6,3</u> ; 5,0; 4,0; <u>3,2</u> |                   |

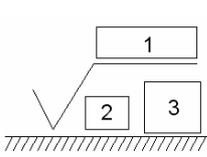
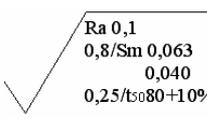
|    |                                  |   |      |
|----|----------------------------------|---|------|
| 8  | 0,63; 0,5; <u>0,4</u> ; 0,32     | <u>3,2</u> ; 2, 5; 2,0; <u>1,6</u>      |      |
| 9  | 0,32; 0,25; <u>0,2</u> ; 0,16    | <u>1,6</u> ; 1,25; 1,0; <u>0,8</u>      | 0,25 |
| 10 | 0,16; 0,125; <u>0,1</u> ; 0,08   | <u>0,8</u> ; 0,63; 0,5; <u>0,4</u>      |      |
| 11 | 0,08; 0,063; <u>0,05</u> ; 0,04  | <u>0,4</u> ; 0,32; 0,25; <u>0,2</u>     |      |
| 12 | 0,04; 0,032; <u>0,025</u> ; 0,02 | <u>0,2</u> ; 0,16; 0,125; <u>0,1</u>    |      |
| 13 | 0,02; 0,016; <u>0,012</u> ; 0,01 | <u>0,1</u> ; 0,08; 0,063; <u>0,05</u>   | 0,08 |
| 14 | 0,01; 0,008;                     | <u>0,05</u> ; 0,04; 0,032; <u>0,125</u> |      |

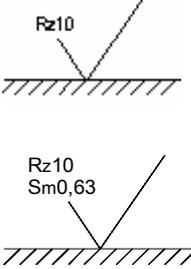
Примечание: предпочтительные значения параметров подчеркнуты.

В дополнение к количественным параметрам шероховатостей допускается нормирование качественной характеристики - направления неровностей» ГОСТ 2789-73 устанавливает следующие типы направлений неровностей: параллельный, перпендикулярный, перекрещивающийся, произвольный, кругообразный и радиальный. Направление неровностей определяется по отношению к линии, изображающей поверхность на чертеже, или к центру поверхности (кругообразный и радиальный тип).

Обозначение шероховатости поверхности на чертеже нормировано ГОСТ 2.309-73 с Изменениями № 3 от 12.06.2003 г. Условные обозначения шероховатостей приведены в табл.3.

Таблица 3 – Условные обозначения шероховатости поверхности

| Элементы обозначения                                    | Графическое изображение   | Пояснение  |
|---|---|--|
| Знак, принятый для обозначения шероховатости на чертеже |  | Знак условного обозначения шероховатости; распределение информации по зонам: 1 - вид обработки поверхности или другие дополнительные указания; 2 – условное обозначение направления неровностей; 3 – значение базовой длины, параметры шероховатости и их значения |
|   |  | Знак, соответствующий конструкторскому требованию, чтобы поверхность была образована полным удалением поверхностного слоя материала (например, точением, шлифованием и т.д.). Следы необработанной поверхности не допускаются.                                     |
|   |  | знак, соответствующий условию нормирования шероховатости, когда метод образования поверхности чертежом не регламентируется; применение предпочтительно.  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | $A-\sqrt{Ra} 1,6$   | Знак, соответствующий требованию, чтобы поверхность была образована без удаления поверхностного слоя материала (например, литьем, штамповкой и т.д.). Следы зачистки поверхности не допускаются.   |
|   | $\sqrt{Ra 0,1}$<br>$0,8/Sm 0,063$<br>$0,040$<br>$0,25/t_{\sigma 80}+10\%$         | Если буквенное обозначение параметра не указано, то числовое значение относится к параметру Ra.  |
| Указание нормируемого параметра шероховатости |  | Буквенные обозначения параметров Rz, Rrpn, S, Sm и tr указывают перед их новыми значениями. Значения параметров Ra, Rz, Rmax указываются в мкм, параметров S и Sm - в мм, tr - в процентах от l , уровня сечения P для параметра tr - в процентах от Rmax. |

Выбор параметров для нормирования шероховатостей должен производиться с учетом назначения и требуемых эксплуатационных свойств поверхности (см. табл.4). Основным в большинстве случаев является нормирование высотных параметров. Из них наиболее информативен параметр  $R_a$ , который и определен стандартом как предпочтительный.

При назначении числовых значений параметров шероховатости необходимо учитывать возможность их обеспечения при использовании рациональных методов обработки поверхности. Так, шероховатость поверхностей деталей, получаемых литьем металлов и сплавов, в основном определяется видом литья, свойствами литейного материала, состоянием поверхностей литейных форм и условий кристаллизации расплава. Наилучшим качеством обладают поверхности деталей, получаемых литьем в металлические формы (литье в кокиль, под давлением, центробежное литье), обусловлено это тем, что за счёт быстрого охлаждения расплава на гладких стенках литейной формы поверхностный слой получается с плотной, мелкозернистой структурой и не имеет пор, раковин и микротрещин. Некоторые значения параметров шероховатости поверхностей отливок приведены в прил.2.

Шероховатость поверхностей пластмассовых деталей, полученных методами литья и прессования, определяется состоянием поверхностей стенок литейных форм и форм для прессования.

При обработке деталей давлением (прокатка, фрезерование, волочение, ковка, штамповка и т.д.) шероховатость их поверхностей зависит в основном от состояния поверхности обрабатывающего инструмента, физико-механических свойств обрабатываемого материала, а также температурных условий. Например, прокат, изготовленный в холодном состоянии, имеет более качественную поверхность, чем горячекатаный.

При разделительных операциях холодной штамповки (пробивка, вырубка, калибровка, просечка и др.) происходит как срезание, так и скалывание материала. Шероховатость в зоне среза определяется состоянием режущих кромок пуансона и матрицы, величиной зазора между ними, физико-механическими свойствами материала детали. Шероховатость в зоне скалывания имеет значительно большую величину и определяется в основном физико-механическими свойствами обрабатываемого материала. Возможные значения параметров шероховатости поверхностей деталей, получаемых операциями обработки давлением, приведены в прил.2.

Таблица 4 – Эксплуатационные свойства поверхности и обеспечивающая их номенклатура параметров шероховатости

| Эксплуатационные свойства поверхности           | Параметры шероховатости поверхности и характеристики, определяющее эксплуатационное свойство |
|---|--|
| Изломоустойчивость при трении                   | Ra(Rz), $t_p$ , направление неровностей  |
| Виброустойчивость                               | Ra(Rz), $S_m$ , $S$ , направление неровностей  |
| Контактная жёсткость                            | Ra(Rz), $t_p$  |
| Прочность соединения                            | Ra(Rz)   |
| Прочность конструкций при циклических нагрузках | $R_{max}$ , $S_{rn}$ , $S$ , направление неровностей   |
| Герметичность соединений                        | Ra(Rz), $R_{max}$ , $t_p$  |
| Сопротивление в волноводах                      | Ra, $S_m$ , $t_p$  |

Причины возникновения шероховатости поверхности при механической обработке носят различный характер в зависимости от вида обработки. Так, при обработке лезвийным инструментом (точение, фрезерование, сверление, развертывание и т. д.) на шероховатость поверхности оказывает влияние состояние режущей кромки и геометрия режущего инструмента, режимы обработки (скорость и глубина резания, величина подачи и т. д.), а также физико-механические свойства обрабатываемого материала. При абразивной обработке деталей (шлифование, полирование, хонингование, суперфиниширование, доводка и т. д.) шероховатость поверхности определяется размером зёрен абразивного материала. Для достижения высокого класса шероховатости такую обработку необходимо производить поэтапно, снимая на каждом последующем этапе наружный поверхностный слой и уменьшая размер абразивного зерна. Рекомендуемые значения параметров шероховатости поверхности для некоторых видов механической обработки приведены в прил. 3.

### 3.2 Методы контроля шероховатости поверхности

Условно все методы контроля шероховатости поверхности можно объединить в три основные группы: контроль шероховатости поверхности сравнением

с рабочими образцами шероховатости; измерение параметров шероховатости бесконтактными методами и измерение параметров шероховатости контактными методами.

Наиболее простым способом оценки качества обработанной поверхности является сравнение её с поверхностями рабочих образцов. Рабочие образцы шероховатости стандартизированы и выпускаются с шероховатостью разных классов, получаемой различными методами механической обработки. Образцы комплектуются в наборы по методам обработки. Сравнение обработанных поверхностей с поверхностями рабочих образцов производится визуально. Такой способ сравнения позволяет давать заключение о соответствии или несоответствии испытываемой поверхности установленным образцам: например, заключение о том, что по высотным параметрам образцовая и испытываемая поверхность отличается не более чем в два раза. Некоторое улучшение в визуальную оценку вносит применение лупы. Существенно уменьшает вероятность ошибки при визуальной оценке шероховатости поверхности применение двойных микроскопов сравнения, позволяющих при значительных увеличениях наблюдать в поле зрения окуляра одновременно небольшие участки поверхности образца и испытываемой детали. Однако этот метод сравнения требует значительных затрат времени.

К группе бесконтактных методов контроля шероховатости поверхности относятся методы измерения параметров шероховатости с помощью оптических приборов: интерференционный, светового сечения и теневой проекции, растровый, рефлектометрический и др.

Интерференционный метод измерения шероховатости реализуется с помощью специальных интерференционных микроскопов (МИИ-4, МИИ-2Н МИИ-11) и заключается в измерении высот неровностей профиля поверхности по искривлению интерференционных полос, наблюдаемых в поле зрения окуляра микроскопа. Искривление интерференционных полос соответствует профилю поверхности. Этот метод позволяет измерять шероховатость поверхности от Ra 0,16 до Ra 0,008.

Метод светового сечения заключается в том, что на исследуемую поверхность падает под углом  $\alpha$  узкий пучок света, формируемый с помощью проекционного микроскопа. На поверхности создается граница тени и света (световое сечение), подобная профилю сечения поверхности плоскостью. По конфигурации этой границы можно судить о расположении, форме и размерах неровностей на испытываемой поверхности. Наблюдение полученного светового сечения осуществляется с помощью второго микроскопа, расположенного под углом  $2\alpha$  относительно первого. Реализуется данный метод с помощью двойного микроскопа Линника МИО-11 и прибора светового сечения ГОС-2. Эти приборы позволяют производить измерение высотных параметров в пределах 0,5-80 мкм и шаговых в пределах 0,002-8,0 мм.

Метод теневой проекции является видоизменением метода светового сечения. Он удобен для измерения шероховатостей сравнительно грубых поверх-

ностей, Особенность его в том, что на контролируемую поверхность направляют пучок света, на пути которого вблизи поверхности располагают экран с прямоугольными краями. Границу тени при отражении светового пучка от поверхности, представляющую собой теневую картину профиля обследуемого ее участка, рассматривают через микроскоп и по её конфигурации определяют параметры шероховатости. Реализуется метод с помощью прибора теневой проекции ПТС-1. Пределы измерения высотных параметров на этом приборе 40-320 мкм, погрешность 15%.

Растровый метод измерения высот неровностей профиля заключается в следующем. Если на испытуемую поверхность наложить стеклянную пластину с нанесенными на ней штрихами (т.е. с растровой сеткой), то при наклонном падении лучей отражённая картина растровой сетки накладывается на штрихи самой сетки и наблюдаются муаровые полосы. Когда поверхность лишена неровностей, то муаровые полосы будут представлять собой систему прямых линий, тёмных и светлых. При наличии на поверхности неровностей муаровые полосы искривляются пропорционально масштабу проектируемого растра. Соотношение горизонтального и вертикального масштабов можно изменять, что позволяет с помощью данного метода измерять неровности от нескольких единиц до сотен микрометров. Данный метод реализуется с помощью однообъективного растрового измерительного микроскопа ОШИ.

Контактные методы измерения шероховатости поверхности основаны на ощупывании исследуемой поверхности алмазной иглой с радиусом закругления, равным 10 мкм, которая совершает поступательное перемещение по определённой трассе относительно поверхности. Во время перемещения игла совершает колебания, повторяющие по величине профиль поверхности. Механические колебания иглы преобразуются в электрические при помощи электромеханического преобразователя. Снятый с преобразователя сигнал усиливают, а затем измеряют его параметры, подобные параметрам неровностей испытуемой поверхности (профилометрирование), или записывают профиль поверхности в выбранных вертикальном и горизонтальном масштабах (профилографирование).

Контактный метод является основным вариантом профильного метода измерения неровностей поверхности. Реализуется этот метод с помощью профилометров и профилографов. Профилометры предназначены для непосредственного анализа среднего арифметического отклонения профиля поверхности  $R_a$ , а профилографы - для записи профиля в виде профилограммы. В промышленности применяют профилографы-профилометры мод. 201, 202, 252 и профилометры цехового типа мод. 253, 283. С помощью этих приборов можно осуществлять контроль шероховатости прямолинейных (мод.252, 283) и криволинейных (в т.ч. шариков и роликов) поверхностей (мод. 202) с погрешностью 10%, а при использовании дополнительных устройств - 16%

### 3 РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

На основании экспериментальных исследований выведены эмпирические зависимости для определения параметров шероховатости поверхностей при различных методах и условиях их обработки С 23.

При получистовом и чистовом точении среднее арифметическое отклонение профиля определяется по формуле

$$Ra = k_0 \frac{S^{k_1} (90^\circ + \gamma)^{k_4}}{\rho^{k_2} v^{k_3}}, \quad (4)$$

где S – 0,05-0,43 мм/об - подача; V - 71-282 мм/мин - скорость резания; ρ – 0,6-2 мм - радиус при вершине резца; γ = +4-(-40) - передний угол; k1, k2, k3, k4 - коэффициенты (приведены в табл.5).

При сверлении среднее арифметическое отклонение профиля боковой поверхности отверстия можно рассчитать по формуле

$$R_a = 6,3d^{0,25} v^{0,12} S^{0,41}, \quad (5)$$

где d - 12-25 мм - диаметр отверстия; v=12-20 м/мин - скорость резания; S - 0,06-0,14 мм/об – подача.

При торцовом фрезеровании

$$R_a = 4,38 \frac{S_z^{1,69} t^{0,15}}{v^{1,25} \rho^{0,14} \gamma^{0,46}}, \quad (6)$$

где Sz – 0,08-0,6 мм/зуб - подача на 1 зуб; t = 0,3-1,8 мм - глубина резания; v - 18-44 м/мин - скорость резания; ρ = 0,5-2,0 мм - радиус при вершине резца; γ = 5-20 - передний угол.

Таблица 5 - Коэффициенты для расчета Ra при получистовом точении

| Материал | k0   | k1   | k2    | k3   | k3   |
|----------|------|------|-------|------|------|
| Ст3      | 0,01 | 0,65 | 0,6   | 0,5  | 1,9  |
| Сталь20  | 41,8 | 0,75 | 0,55  | 1,38 | 0,25 |
| Сталь 45 | 7,0  | 0,05 | 0,65  | 0,36 | 0,15 |
| Сталь70  | 5,8  | 1,1  | 0,681 | 0,15 | 0,45 |

При развертывании отверстий среднее арифметическое отклонение профиля боковой поверхности отверстия

$$R_a = 0,1 \frac{d^{0,26} v^{0,89}}{S^{0,27}}, \quad (7)$$

где d = 12-25 мм - диаметр отверстия после развертывания; V = 5-10 м/мин - скорость резания; S - 0.6-1.6 мм/об подача. Скорость резания для всех упомянутых видов обработки:

$$v = \frac{\pi d n}{1000}, \quad (8)$$

где:

- для токарной обработки  $d$  - диаметр, обрабатываемой поверхности, мм;  
 $n$  - скорость вращения шпинделя, об/мин;

- для фрезерной обработки торцовой фрезой  $d$  - диаметр окружности, на которой расположены вершины зубьев фрезы, об/мин;  $n$  - скорость вращения фрезы, об/мин;

- для сверления и развёртывания  $d$  - диаметр обрабатываемого отверстия, мм;  $n$ -скорость вращения инструмента, об/мин.

#### **4. Оборудование, инструменты и материалы**

4.1. Профилометр мод. 283.

4.2. Микроскоп МИС-11.

4.3. Линейка 1-250 ГОСТ 427-7.5

4.4. Образцы для исследования (см. табл.1).

#### **5. Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка состоит из двойного микроскопа Линника МИО-11, профилометра модели 288 и образцов для исследования.

Двойной микроскоп Линийка используется для измерения высоты неровностей в диапазоне 0,8-62 мкм. Микроскоп ШС-11 (рис.2) имеет осветительный тубус 1 с источником света 2, измерительный тубус 9, приборный столик 3, на котором непосредственно или с помощью призмы 4 устанавливается измеряемый объект 5. Свет от источника 2 в виде световой полоски падает на поверхность объекта под углом  $\psi_1$  к ее нормали, отражается под углом  $\psi_2 = \psi_1$ , попадает в оптическую систему измерительного тубуса 9 и наблюдается в окуляре 7 на фоне штриховой сетки измерительной микрометрической головки 6. Отраженный луч имеет форму криволинейной световой линии, копирующей форму микропрофиля поверхности объекта.

Для измерения высоты неровностей фокусировкой прибора добиваются чёткого изображения в поле зрения окуляра световой линии и штриховой сетки (рис.5.2). Фокусировка осуществляется вертикальным перемещением каретки с тубусом, перемещением осветительного тубуса вдоль собственной оси и изменением угла наклона  $\psi_1$  осветительного тубуса.

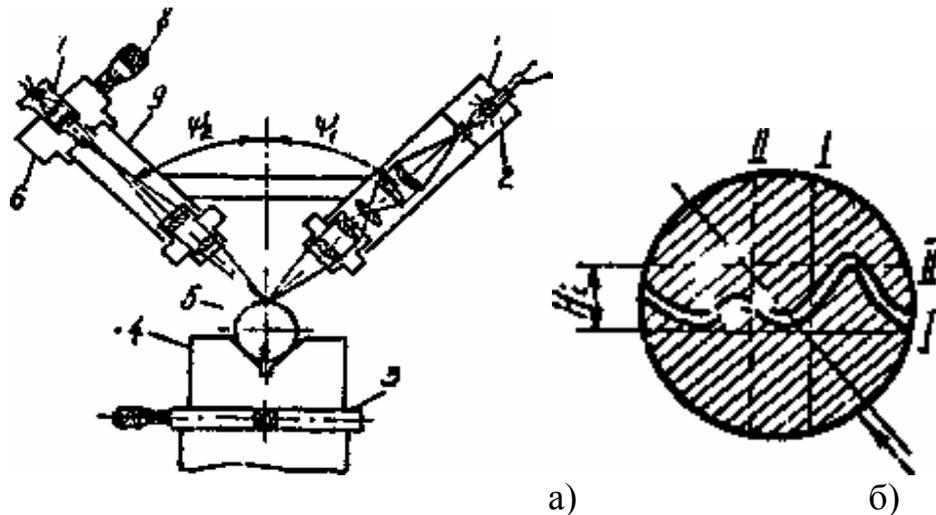


Рис.2. Оптическая схема двойного микроскопа Линника МИС-11 (а); изображение световой линии в окуляре его измерительного тубуса (б)

Измерение высоты неровностей проводят следующим образом. Совместив горизонтальную линию штриховой сетки с нижним контуром впадины неровности (положение штриховой сетки I-I), снимают отсчёт показаний на барабанчике 8 измерительной головки. Затем вращением барабанчика перемещают штриховую сетку в положение I-I до совмещения горизонтальной линии сетки с нижним контуром выступа неровности и снова фиксируют показания на шкале барабанчика. Высота неровности

$$H = \frac{H}{2N} 10, \text{ мкм} \quad (9)$$

где  $N$  - масштаб увеличения сменных объективов (табл.6);  $H$  - разность показаний шкалы барабанчика.

Для определения параметров шероховатости  $R_a$  или  $R_z$  необходимо произвести измерение высот неровностей соответствующее число раз на базовой длине, перемещая объект вместе с предметным столиком в поле зрения окуляра измерительного тубуса микроскопа и по формулам (1) и (2) рассчитать параметры  $R_a$  и  $R_z$ .

Таблица 6 – Параметры сменных объективов

|   |             |            |          |           |
|---|-------------|------------|----------|-----------|
| Фокусное расстояние, мм                   | 25          | 13,89      | 8,16     | 4,25      |
| Увеличение объектива, N                   | 5,9*        | 10,6*      | 18*      | 34,5*     |
| Пределы измерения высоты неровностей, мкм | 6, 3...6, 2 | 3,2...18,7 | 1,6...10 | 0,8...3,2 |

Профилометр с унифицированной электронной системой модели 283 предназначен для измерения шероховатости поверхности деталей с твердостью не менее HB10, сечение которых в плоскости измерения представляет собой прямую линию. Прибор позволяет измерять среднее арифметическое отклонение профиля поверхности  $R_a$  в пределах 0,02-10 мкм с систематической погрешностью 10%.

Профилометр (рис.3) состоит из датчика 1, привода 2, электронного блока 3, стойки 4, соединительного шнура б и призмы 5.

Датчик преобразует линейные колебания иглы, совершаемые ею при ошупывании исследуемой поверхности детали, в электрический сигнал. Он представляет собой механически управляемую лампу – механотрон, подвижной анод которой посредством тонкой мембраны связан со щупом. На щупе закреплена алмазная игла с радиусом закругления 10 мкм. Привод предназначен для перемещения датчика по измеряемой поверхности с двумя фиксированными скоростями – 0,25 и 0,8 мм/с. При скорости перемещения 0,25 мм/с длина трассы ошупывания (трассирования) составляет 1,5 мм, а при скорости 0,8 мм/с – 4,3 мм. Электронный блок предназначен для усиления, фильтрации, детектирования, интегрирования и модуляции сигнала, вырабатываемого датчиком.

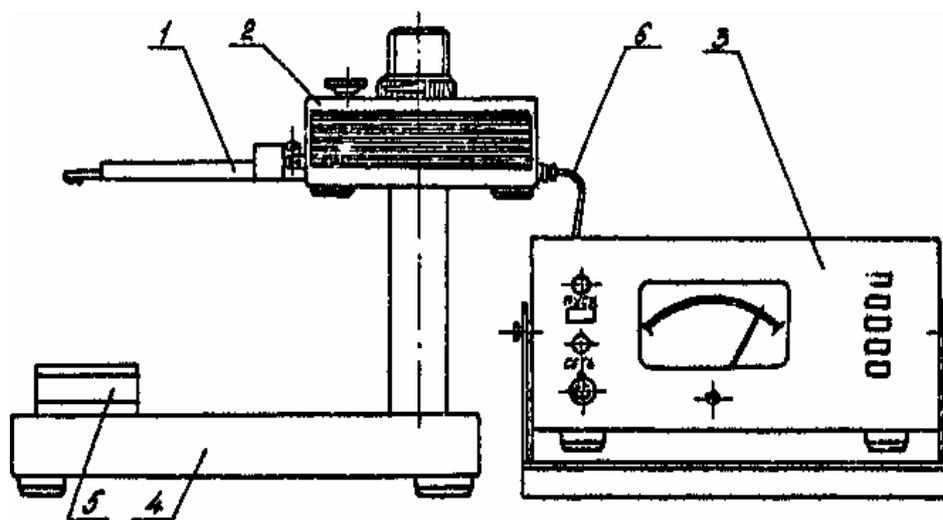


Рис.3. Общий вид профилометра мод. 283

На передней панели блока расположены основные окна управления и индикации: показывающий прибор, шкала которого проградуирована непосредственно в значениях  $R_a$ , тумблер и сигнальная лампочка включения сети, сигнальная лампочка и кнопка пуска хода датчика, переключатель пределов измерений. Стойка предназначена для закрепления привода с датчиком и размещения измеряемой детали. Привод с датчиком закрепляется на колонке стойки с помощью специального кронштейна, который может перемещаться по вертикали и поворачиваться в каретке, что позволяет производить измерение шероховатости горизонтальных и наклонных поверхностей деталей с различных размеров. Плоские детали устанавливаются непосредственно на плате стойки, а цилиндрические – закрепляются в специальной призме. При измерении шероховатости поверхностей крупногабаритных деталей привод с датчиком снимается со стойки и устанавливается непосредственно на поверхность детали.

## 6. Порядок выполнения работы

6.1. Изучить инструкции по работе с микроскопом МИС-11 и профилометром модели 283.

6.2. Получить образцы для исследования согласно выполняемому варианту (табл.1).

6.3. Подготовить к работе профилометр и микроскоп согласно инструкциям по эксплуатации.

6.4. Произвести измерения параметра Ra шероховатости образцов с помощью профилометра согласно инструкции по эксплуатации.

6.5. Произвести измерения высот неровностей профиля поверхности с помощью микроскопа МИС-11 согласно приведённой методике в том же самом месте поверхности образца. Рассчитать параметр Ra

6.6. Рассчитать теоретическое значение параметра Ra исследуемых образцов согласно методике, приведённой в описании к лабораторной работе и исходных данных, приведенных в табл.1.

6.7. Сравнить значения параметра Ra, определённые с помощью профилометра и микроскопа с расчётными значениями. Произвести анализ полученных результатов.

6.8. Оформить отчёт.

## **7. Содержание отчета**

7.1. Цель работы.

7.2. Индивидуальное задание.

7.3. Краткие теоретические сведения.

7.4. Характеристики применяемого оборудования.

7.5. Экспериментальные данные и их обработка.

7.6. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

## **8. Контрольные вопросы**

8.1. Понятие шероховатости поверхности.

8.2. Реальная и номинальная поверхность.

8.3. Параметры, характеризующие шероховатость поверхности.

8.4. Связь допусков на линейные размеры элементов детали и шероховатости соответствующих поверхностей.

8.5. Выбор параметров для нормирования шероховатости поверхности.

8.6. Принцип назначения числовых значений параметров шероховатости поверхности.

8.7. Шероховатость поверхностей литых заготовок деталей.

8.8. Шероховатость поверхностей заготовок деталей, обрабатываемых давлением.

8.9. Шероховатость поверхностей при различных видах обработки деталей резанием.

8.10. Условное обозначение шероховатости поверхности на чертежах.

8.11. Методы контроля шероховатости поверхностей деталей.

8.12. Оборудование, применяемое для контроля шероховатости поверхностей.

## Литература

1. Справочник конструктора-приборостроителя. Проектирование. Основные нормы. /В. Л. Соломахо, Р. Е. Томилин, Б. В. Цитович, Л. Г. Юдовин. - Мн.: Выш. Школа, 1988.
2. Справочник технолога-машиностроителя в двух томах. Т.1 /Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова.- М.: Машиностроение, 1988.
3. Федоренко В. А., Шошин А. И. Справочник по машиностроительному черчению./Под ред. Г.Е.Поповой.- Л.: Машиностроение, 1983.
4. Дунин-Варковокий И. В. , Картошева Л. Е. Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности.- М.: Машиностроение, 1978.
5. Якушев А.Е и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технология. Учебник для вузов.- М.: Машиностроение, 1986.
6. Журавлёв А.Е. Допуски и технические измерения. Учебник для проф.-техн. училищ. - М.: Высш. школа, 1981.

Приложение 1 Шероховатость поверхности и качества отливок

| Вид литья                 | Материалы                     | Размеры заготовок (мм)          | Значение Ra, мкм не более |             | Квалитеты точности      |                         |                   |
|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
|                           |                               |                                 | возможные                 | оптимальные | высокая                 | нормальная              | низкая            |
| В песчаные формы; в землю | Чёрные металлы                | -                               | (25) -160                 | 100         | 16, 17                  |                         |                   |
|                           | Цветные сплавы                | 1...1000<br>1000...2500         | (12, 5) -50               |             | (12)-14<br>14, 15       | 15<br>15, 16            | 16<br>16, 17      |
| В кокиль                  | Черные металлы                | -                               | (6,3)-25                  | 25          | 14...16                 |                         |                   |
|                           | Цветные сплавы                | 1...180<br>180-1000             | (3,2)-12,5                |             | (11)-12<br>12...14      | 14<br>14,15             | 14,15<br>15,16    |
| По выплавляемым моделям   | Черные металлы                | -                               | (1,6)-12,5                | 6,3         | 11...13                 |                         |                   |
|                           | Цветные сплавы                | 1...30<br>30...260<br>260...500 | 1,6-12,5                  |             | 10,11<br>11,13<br>12,14 | 12,13<br>12,14<br>14,15 | 14<br>14,15<br>15 |
| В оболочковые формы       | Черные металлы                | -                               | 6,3...25                  |             | 1...14                  |                         |                   |
|                           | Цветные металлы               | 1...260<br>260...1000           | (1,6)-12,5                | 12,5        | (11)-13<br>12...14      | 14<br>14,15             | 15<br>15,16       |
| Под давлением             | Цинк., магн. и алюмин. сплавы | -                               | (0,8)...6,3               | 6,3         | (9)...11                | 12                      | 14,5              |
|                           | Медные сплавы                 | -                               | (0,8)...6,3               |             | 11...13                 | 12...14                 | 15                |
| Центробежное              | -                             | -                               | 3,2...25                  | 12,5        | (11)-13                 | 14                      | 15                |

Приложение 2 Шероховатость поверхностей и качества деталей, обрабатываемых давлением

| Вид обработки                         | Значения Ra, мкм | Квалитеты |            |
|---------------------------------------|------------------|-----------|------------|
|                                       |                  | Экономич. | Достижимые |
| Горячая объёмная штамповка без калиб- | 12,5...50        | 9...11    | -          |

| ровки  |   |   |             |     |
|--|---|---|-------------|-----|
| Холодная штамповка в вытяжных штампах                        | Вытяжка полых деталей простых форм (корпуса, стаканы) | 0,8...3,2                                       | по диаметру |     |
|  |   |   | 10,11       | 8,9 |
|  | по высоте   |   |             |     |
|  | 8...12  |   | 7           |     |
|  | Глубокая вытяжка                                      |   | 11          | -   |
| Холодная штамповка в вырубных, пробивных и зачистных штампах | Контурные размеры при вырубке плоских деталей         | Зона среза 3,2, 6,3<br>Зона скалывания 25...100 | 12,13       | 11  |
|  | То же при пробивке                                    |   | 11          | 8,9 |
|  | То же, но при зачистке                                | 0,8...3,2                                       | 8,9         |     |
|  | То же, но при зачистке и калибровке                   | 0,8...3,2                                       | 6,7         | -   |
| Круглый холодный прокат (калиброванный)                      | Сталь   | 0,8...3,2                                       | -           | -   |
|  | Латунь  | 0,4...2,6                                       | -           | -   |
| Прокат труб  | Алюминиевые сплавы                                    | 0,8...2,6                                       | -           | -   |
| Прокат листовой  | Сталь   | 0,8...3,2                                       | -           | -   |
|  | Латунь  | 0,4...1,6                                       | -           | -   |
| Прокат ленты   | Сталь   | 0,8...1,6                                       | -           | -   |
|  | Латунь, бронза  | 0,2...0,8                                       | -           | -   |
| Прокат после обдувки песком                                  | Сталь   | 3,2...6,3                                       | -           | -   |
|  | Алюминиевые сплавы                                    | 3,2...6,3                                       | -           | -   |

Приложение 3 Шероховатость поверхности и качества при обработке деталей резанием

| 2.5. Вид обработки                 |  | Значения параметра Ra, мкм | 2.6. Качества |            |
|------------------------------------|--|----------------------------|---------------|------------|
|                                    |  |                            | экономичные   | достижимые |
| 1                                  |  | 2                          | 3             | 4          |
| Отрезка                            | пилой<br>резцом<br>фрезой<br>абразивом | 25...50(12,5)              | 15...17       | -          |
|                                    |  | 25...10                    | 14...17       | -          |
|                                    |  | 25...50                    | 14...17       | -          |
|                                    |  | 3,2...6,3                  | 12...15       | -          |
| Фрезерование торцовой фрезой       | черновое<br>чистовое<br>тонкое         | 6,3...12,5                 |               |            |
|                                    |  | 3,2...6,3(1,6)             | 12...14 (11)  |            |
|                                    |  | (0,8)...1,6                | 11 8,9        | 10 6,7     |
| Фрезерование цилиндрической фрезой | черновое<br>чистовое<br>тонкое         | 25...50                    | 12...14 (11)  | -          |
|                                    |  | 3,3...6,3                  | 11(10)        | -          |
|                                    |  |                            | 8,9           | 6,7        |

|   |                                   |                        |                  |           |
|---|-----------------------------------|------------------------|------------------|-----------|
| Фрезерование скоростное                     | черновое                          | 3,2                    | 12...14          | 11        |
|   | чистовое                          | 0,8...1,6              | 11...13          | 8,9       |
| Сверление                                   | до 15 мм                          | 6,3...12,5             | 12...14          | 10,11     |
|   | свыше 15 мм                       | 12,5...25              | 12...14          | 10,11     |
| Рассверливание                              |                                   | 12,5...25(63)          | 12...14          | 10,11     |
| 1   |                                   | 2                      | 3                | 4         |
| Зенкерование                                | черновое (по кор-<br>ме) чистовое | 12,5...25<br>3,2...6,3 | 12...15<br>10,11 | -<br>8,9  |
|   | Растачивание                      | черновое               | 50...100         | 15...17   |
| получистовое                                |                                   | 12,5...25              | 12...14          | -         |
| чистовое тонкое                             |                                   | 1,0...3,2(0,8)         | 8,9              | 7         |
| (алмазное)                                  |                                   | 0,4...0,8(0, 2)        | 7                | 6         |
| Развертывание                               | получистовое                      | 6,3...12,5             | 9,10             | 8         |
|   | чистовое                          | 1,6...3,2 (0,4)...0,8  | 7,8(8)           | -         |
|   | тонкое                            |                        | 7                | 6         |
| Протягивание                                | получистовое                      | 0,3                    | 8,9              | -         |
|   | чистовое                          | 0,8...3,2              | 7,8              | -         |
|   | отделочное                        | 0,2...0,4              | 7                | 6         |
| Зенкерование                                | угловое плоское                   | 3,2...6,3              | -                | -         |
|   | с направлением                    | 6,3...12,5             | -                | -         |
| Слесарная опиловка                          |                                   | (1,6)...25             | 8...11           | 6,7       |
| Шлифование круглое                          | получистовое                      | 3,2...6,3              | 8...11           | -         |
|   | чистовое                          | 0,8...1,6              | 6...8            | -         |
|   | тонкое                            | 0,2...0,4 (0,1)        | 5                | выше 5-го |
| Шлифование плоское                          | получистовое                      | 3,2                    | 8...11           | -         |
|   | чистовое                          | 0,8...1,6              | 6...8            | -         |
|   | тонкое                            | 0,2...0,4 (0,1)        | 6,7              | 6         |
| Прошивание                                  | чистовое тонкое                   | 0,4...1,6 0,05...1,6   | 7...9<br>6,7     | -<br>-    |
| Калибрование отверстий шариком или оправкой | после сверления                   | 0,4...1,6              | 8,9              | 7, 6      |
|   | растачивания                      | 0,4...1,6              | 7                |           |
|   | развёртывания                     | 0,05...1,6             | 7                |           |
| Притирка                                    | чистовая                          | 0,4...3,2              | 6,7              | -         |
|   | тонкая                            | 0,1...1,6              | 5                | -         |
| Полирование                                 | обычное                           | 0,2...1,6              | 6                | -         |
|   | тонкое                            | 0,05...0,1             | 5                | -         |
| Доводка                                     | грубая                            | 0,4                    | 6,7              | 5         |
|   | средняя                           | 0,1...0,2              | 5,6              | 5         |
|   | тонкая                            | 0,05                   | 5                | выше 5-го |
|   | отделочная (зеркальная)           | 0,012...0,025          | -                | -         |
| Хонингование                                | плоскостей                        | 0,1...0,4              | 7,8              | 6         |
|   | цилиндров                         | 0,05...0,1             | 6,7              | -         |
| Суперфиниширование                          | плоскостей                        | 0,2...0,4(0,05)        | 5 и точнее       | -         |
|   | цилиндров                         | 0,1...0,4 (0,05)       | 6 и точнее       | -         |

|  |                                 |                      |         |   |
|--|---------------------------------|----------------------|---------|---|
| Обработка<br>зубьев зубчатых колес                           | строгание                       | 3,2...6,3 (1,6)      | 7...10  | - |
|  | фрезерование                    | (1,6)...3,2          | 7...10  | - |
|  | шлифование                      | 0,4...0,6            | 5,6     | - |
|  | шевингование                    | 0,8...1,6 (0,4)      | 5,6     | - |
| Анодномеханическое шлифование                                | черновое                        | 1,6...3,2            | 6...9   | - |
|  | чистовое                        | 0,2...0,8            | 6,7     | - |
|  | притирочное                     | 0,4...0,1            | 5...7   | - |
|  | отделочное                      | 0,05...0,2           | 5,6     | - |
| 1  |                                 | 2                    | 3       | 4 |
| Электроискровое шлифование                                   |                                 | 3,2...2,5            | 8...10  | - |
| Электроконтактн. сверление                                   |                                 | 2,5...100            | 12...14 | - |
| Элэрополирование (в знаменателе значение Ra исх.поверхности) | декоративное никелевых покрытий | 0,4...3,2 1,6...12,5 | 6...9   | - |
|  |                                 | 0,4...0,8 1,6...3,2  |         | - |
| Нарезание резьбы фрезой                                      |                                 | 3,2...6,3 (1,6)      | 8       | - |
| Шлифование резьбы  |                                 | 1,6...3,2(0,4)       | 4...6   | - |
| Накатывай, резьбы роликами                                   |                                 | 0,4...0,8            | 6...8   | - |
| Ультразвуковая обработка твердых сплавов                     |                                 | 0,2...0,8            | -       | - |

ПРИМЕЧАНИЕ. В скобках указаны предельно достижимые значения Ra