

Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»  
Навчально-науковий інститут  
«Механічна інженерія і транспорт»  
Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

Доля В.М.

ЗАВДАННЯ  
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ  
з дисципліни «Технологія обробки типових деталей»

2018

**Лабораторная работа № 1**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАЗМЕРА**  
**И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАГОТОВОК,**  
**ОБРАБОТАННЫХ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ**

**Цель работы** – получить навыки исследования точности:

- размера цилиндрических поверхностей заготовок посредством точечных диаграмм и закона нормального распределения;
- расположения поверхностей заготовок с помощью закона эксцентриситета (Релея).

**Задание:** обработать, измерить и оценить точность обработки поверхностей партии заготовок одним из указанных преподавателем методом.

**Основные положения**

При механической обработке заготовок возникает ряд систематических и случайных погрешностей их размерных параметров, источниками которых могут являться станок, приспособление, инструмент, заготовка и условия обработки [1–3].

Отклонения размерных параметров деталей затрудняют сборку и ремонт машин, приводят к снижению их надёжности и долговечности, повышают эксплуатационные расходы.

Точность обработки является комплексным понятием. Она характеризует соответствие детали требованиям чертежа.

Точность обработки определяется следующими размерными параметрами: отклонением размера, отклонением формы (макрогеометрия); отклонением расположения осей или поверхностей; шероховатостью поверхности (микрогеометрия).

В данной работе используются два вида отклонений: отклонение размера и отклонение расположения поверхностей.

В производственных условиях контроль размерных параметров осуществляется, с одной стороны, для определения числа годных и бракованных деталей, с другой – для оценки точности наладки станка и определения необходимости его подналадки. Имеются существенные методические различия в организации общего и текущего контроля размерных параметров заготовок, обработки и использовании результатов контроля.

Определение общего числа годных и бракованных деталей в партии производится вне зависимости от очередности их обработки. Текущий контроль параметров обработки для оценки точности наладки станка должен производиться в строгом соответствии с очередностью их обработки. Причём, этот контроль может производиться как приборами активного контроля с автоматической выдачей сигнала на подналадку станка, так и «вручную» при фиксации последовательности обработки деталей. Последовательная фиксация размерных параметров и оценка качества налад-

ки станка производится методом точечных диаграмм. Фактическое число годных и бракованных деталей определяют при контроле параметров у конкретной партии, построении экспериментальных кривых распределения параметров и сопоставлении результатов замеров с допускаемыми отклонениями контролируемых параметров. В массовом производстве при значительном числе деталей в партии подобным образом оценивают лишь выборку из всей партии в количестве 50–60 деталей. Затем обрабатывают полученные экспериментальные данные с помощью статистических вероятностных законов, что позволяет получить теоретические кривые распределения параметров и определить вероятный процент годных и бракованных деталей у всей партии. При этом данные об отклонениях размеров деталей обрабатывают и оценивают с помощью закона нормального распределения (Гаусса), а данные об отклонениях расположения осей и поверхностей (от параллельности, перпендикулярности, соосности и т.д.) обрабатывают и оценивают с помощью закона эксцентриситета (Релея) [2, 3].

В данной работе методом точечных диаграмм будет оценено текущее отклонение размера отверстий в деталях. Отклонение размера заготовки при обработке её по наружному диаметру будет оценено с помощью закона нормального распределения, а отклонения расположения отверстий относительно наружного диаметра заготовки будет оценено с помощью закона эксцентриситета.

### *Метод точечных диаграмм*

Для текущего контроля точности выполнения размеров, фиксации различных отклонений в процессе обработки и определения времени подналадки станка, применяются точечные диаграммы.

Расточка отверстий в заданный преподавателем размер производится на настроенном станке при закреплении заготовок (рис. 1) в трёхкулачковом патроне (рис. 2). Как обработка, так и измерение размера отверстий производится в строгом соответствии с порядковыми номерами заготовок.

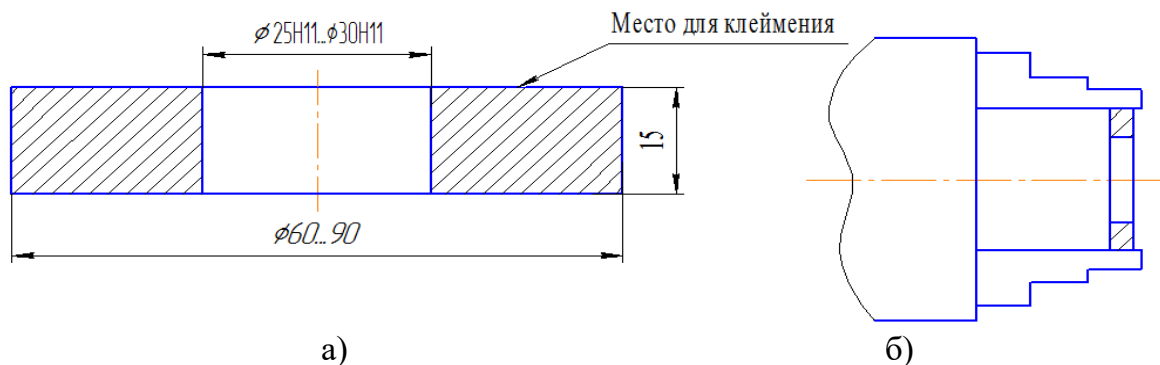


Рис. 1. Заготовка (а) и схема закрепления ее в патроне (б)

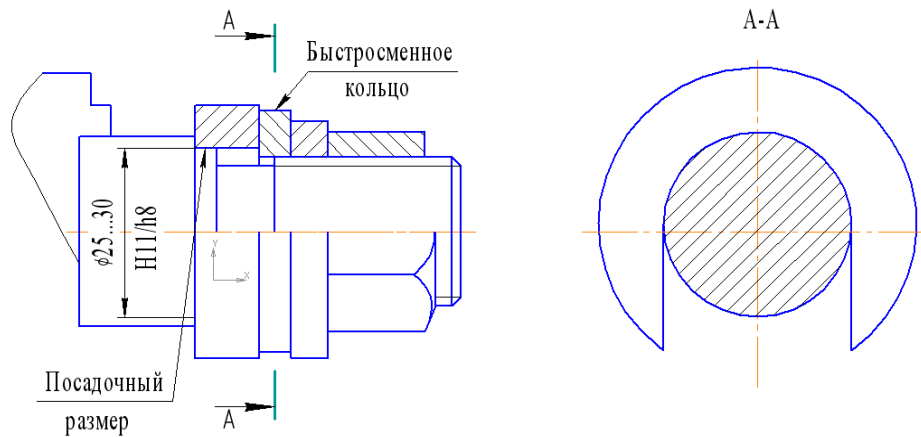


Рис. 2. Оправка для закрепления заготовок

Результаты измерений в виде точек наносятся на рис. 3 до тех пор, пока размеры отверстий находятся в пределах заданного допуска  $T = 0,13$  мм. Если в результате износа резца либо от действия других факторов размер отверстий начинает выходить за допустимые пределы, обработка заготовок прекращается и выполняется подналадка станка. Если продолжить обработку без подналадки станка, то будет иметь место брак деталей по отверстиям и в последующем не будет обеспечена заданная посадка деталей на соответствующую оправку  $H11/h8$ .

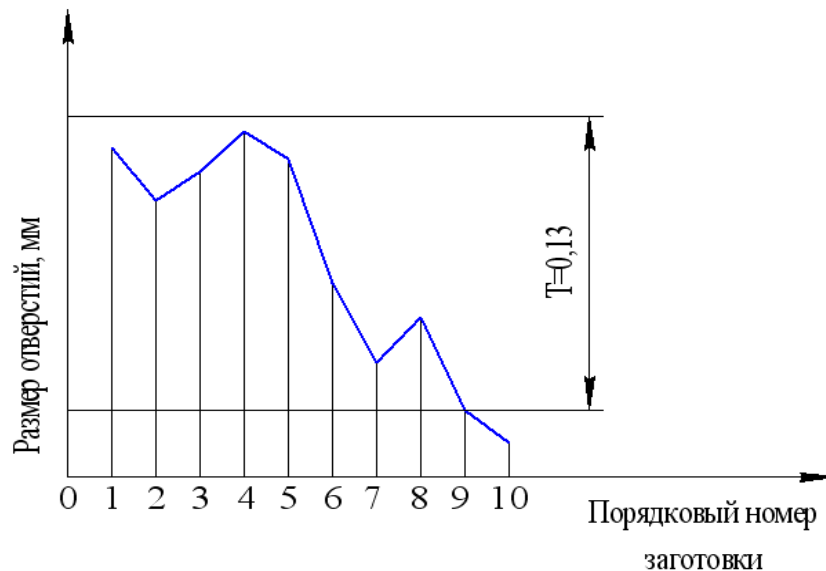


Рис. 3. Точечная диаграмма

### ***Закон нормального распределения размеров***

Многочисленными экспериментами установлено, что отклонения размеров заготовок при механической обработке подчиняются закону нормального распределения (Гаусса).

Поэтому с помощью указанного распределения будут исследованы отклонения размеров наружных поверхностей заготовок, установленных на

посадочное место оправки и обработанных на настроенном станке по наружному диаметру. В этом случае измерение размеров производится после обработки всех заготовок без взаимоувязки последовательности обработки и измерения. Для оценки точности размеров у малой выборки заготовок используется эмпирическая кривая, а для оценки точности большой партии заготовок по размерам малой выборки используется теоретическая кривая нормального распределения размеров.

#### *Построение эмпирической кривой распределения размеров*

В эмпирических распределениях мерой рассеивания полученных в результате измерений является их размах

$$X = X_{\max} - X_{\min},$$

где  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  – соответственно наибольший и наименьший размеры.

Размах делится на 5–8 равных интервалов. Затем определяют цену интервала

$$C = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k},$$

где  $k$  – количество интервалов.

В каждый интервал включаются размеры, лежащие в пределах от наименьшего значения до наибольшего, исключая его. Далее подсчитывается количество деталей в каждом интервале – частота. По полученным данным строится эмпирическая кривая в координатах  $x_{\text{ср}}, m$ , где  $x_{\text{ср}}$  – середины интервалов случайной величины,  $m$  – частоты. Полученные точки соединяются прямыми.

*Пример.* Задан наружный диаметр детали  $\varnothing 86,2_{-0,7}$ ,  $T=0,7$  мм, а полученные размеры после обтачивания  $X_{\max}=86,13$  мм;  $X_{\min}=85,40$  мм.

Результаты измерения размеров приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ интервала	Интервал	Середина интервала $x_{\text{ср}}$	Частота $m$
1	85,40...85,50	85,45	2
2	85,50...85,60	85,55	4
3	85,60...85,70	85,65	8
4	85,70...85,80	85,75	13
5	85,80...85,90	85,85	9
6	85,90...86,00	85,95	6
7	86,00...86,10	86,05	5
8	86,10...86,20	86,15	3

Нанеся полученные значения  $X_{\text{ср}}$  и  $m$  на рис. 4 и соединив точки прямыми линиями, получим эмпирическую кривую распределения размеров.

*Построение теоретической кривой нормального распределения размеров и оценка точности обработки*

Дифференциальная функция закона нормального распределения случайной величины имеет вид

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где  $\varphi(x)$  – плотность вероятности;

$x_i$  – текущий размер  $i$ -й детали;

$\bar{x}$  – среднее значение (математическое ожидание) величин  $x_i$ ;

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i; \quad (2)$$

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение случайной величины

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^k (x_{cp} - \bar{x})^2 \cdot m}; \quad (3)$$

$e$  – основание натуральных логарифмов,  $e=2,71828\dots$ ;

$n$  – общее число деталей в выборке.

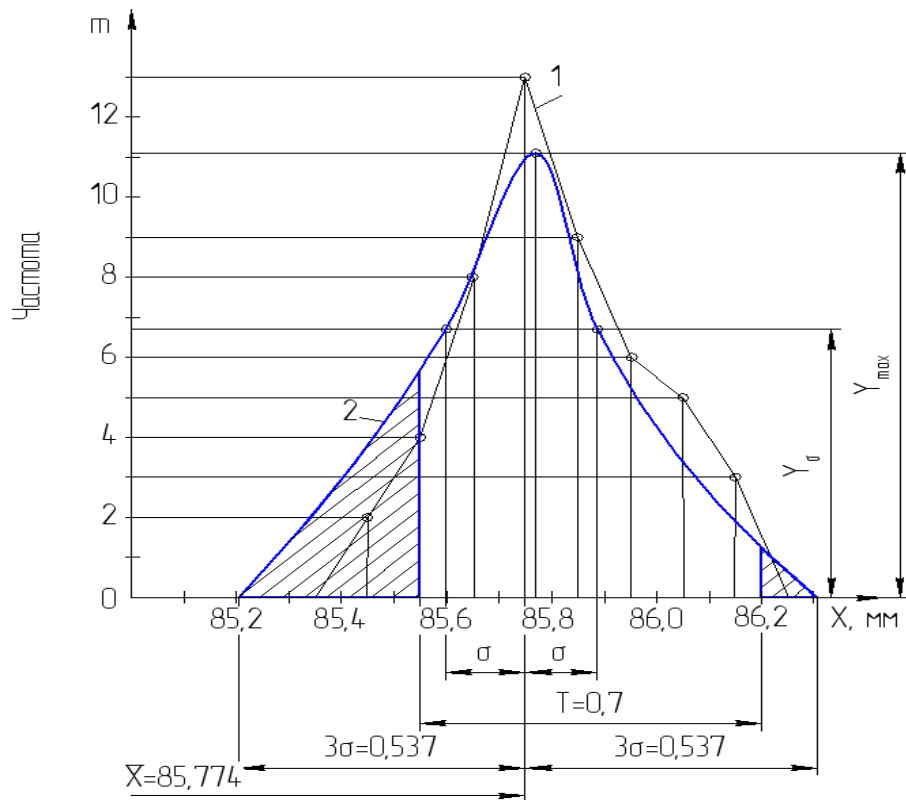


Рис. 4. Закон нормального распределения размеров:  
 1 – эмпирическая кривая распределения размеров;  
 2 – теоретическая кривая распределения размеров

Интегральный закон нормального распределения в общем виде может быть представлен как

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x_i - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (4)$$

Кривая закона нормального распределения обладает рядом свойств:

– ветви кривой асимптотически приближаются к оси абсцисс, сливаясь с ней в бесконечности, то есть зона рассеивания случайной величины  $x$  лежит в пределах  $\pm\infty$ ;

– максимальное значение величины  $Y = \varphi(x)$  будет при  $x = \bar{x}$  и составит

$$Y_{\max} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \approx \frac{0,4}{\sigma}; \quad (5)$$

– точки перегиба кривой расположены на расстоянии  $\pm\sigma$  от среднего значения  $\bar{x}$ , а величина

$$Y_{\sigma} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi e}} \approx \frac{0,24}{\sigma}. \quad (6)$$

При увеличении  $\sigma$  кривая «сплющивается», а при уменьшении «вытягивается» вверх.

Теоретическая кривая Гаусса строится в аналогичных координатах, что и эмпирическая. Для вычисления функции распределения случайной величины  $x$  необходимо по формуле (3) определить параметр  $\sigma$ . По оси абсцисс откладывают точку с координатами  $\bar{x}$  и  $Y_{\max}$ , вычисленными по формулам (2) и (5).

Для построения на одном графике эмпирической и теоретической кривых должно быть выдержано равенство площадей под кривыми. Для этого ордината теоретической кривой умножается на масштабный коэффициент  $Cn$

$$Y_{\max} = \frac{0,4Cn}{\sigma},$$

где  $C$  – цена интервала.

Далее проставляются точки перегиба на расстоянии  $\pm\sigma$  от  $\bar{x}$  с ординатами  $Y_{\sigma} = \frac{0,24Cn}{\sigma}$  и точки  $\pm 3\sigma$  с ординатами  $Y = 0$ . Полученные точки соединяются плавными кривыми.

Для примера построения теоретической кривой нормального распределения размеров по данным табл. 1 и формулам (2) и (3) определим значения  $\bar{x}$  и  $\sigma$ . Полученные значения приведены в табл. 2.

С учетом масштабного коэффициента по формулам (5) и (6) находим:

$$Y_{\max} = \frac{0,4 \cdot 0,1 \cdot 50}{0,179} = 11,1; \quad Y_{\sigma} = \frac{0,24 \cdot 0,1 \cdot 50}{0,179} = 6,7.$$

Таблица 2

Интервалы	Середина интервала $x_{cp}$	Частота $m$	$(x_{cp} - \bar{x})^2 m$
85,40...85,50	85,45	2	0,2048
85,50...85,60	85,55	4	0,1936
85,60...85,70	85,65	8	0,1152
85,70...85,80	85,75	13	0,0052
85,80...85,90	85,85	9	0,0576
85,90...86,00	85,95	6	0,1944
86,00...86,10	86,05	5	0,392
86,10...86,20	86,15	3	0,4332
Сумма			1,596
Характеристика $\sigma$			0,179

Полученные 5 точек нанесем на рис. 4 и, соединив плавной кривой, получим теоретическую кривую закона нормального распределения размеров. Соотнеся ее с полем допуска  $T=0,7$  мм, можно установить, что часть размеров оказалась за его пределами.

Для определения вероятного процента брака большой партии заготовок по результатам измерения малой выборки, используют следующее положение.

Принято, что для практики достаточными являются пределы, равные  $\pm 3\sigma$  от значения  $\bar{x}$ , так как в эти пределы попадает 99,73 % всех значений случайной величины  $x$ . Тогда

$$F(3\sigma < x_i < 6\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{(\bar{x}-3\sigma)}^{(\bar{x}+3\sigma)} e^{-\frac{(x_i-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx = 0,9973 \approx 1. \quad (7)$$

Вероятность попадания значений величины  $x_i$  в любой другой интервал может быть найдена по формуле

$$F(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x_i-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (8)$$

Произведя замену  $x$  путем подстановки

$$t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}, \quad (9)$$

получим

$$F(x_1 < x < x_2) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (10)$$

Интеграл

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (11)$$



носит название нормированной функции Лапласа и его значение для различных  $t = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$  приведены в приложении 1.

Эта функция четная, следовательно  $\Phi(-t) = \Phi(t)$ . Вероятность того, что случайная величина, подчиняющаяся закону нормального распределения, находится в пределах  $x_1 \dots x_2$ , может быть записана через  $\Phi(t)$  следующим образом:

$$P(x_1 < x < x_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \Phi\left(\frac{x_2 - \bar{x}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - \bar{x}}{\sigma}\right). \quad (12)$$

При хорошей точности процесса обработки должно выполняться следующее условие

$$\Delta x \leq T, \quad (13)$$

где  $\Delta x$  – зона практического рассеивания, равная  $6\sigma$ ;

$T$  – допуск по чертежу.

Если это условие не выполняется, то определяется вероятный процент брака

$$P(T_n < x < T_b) = \Phi(t_1) + \Phi(t_2), \quad (14)$$

где  $T_n$  и  $T_b$  – нижнее и верхнее допустимые отклонения;

$\Phi(t_1)$  и  $\Phi(t_2)$  – определяются по приложению 1 в зависимости от параметра  $t$ :

$$t_1 = \frac{T_n - \bar{x}}{\sigma}; \quad t_2 = \frac{T_b - \bar{x}}{\sigma}.$$

Процент неисправимого брака

$$P(x < T_n) = 0,5 - \Phi(t_1).$$

Процент исправимого брака

$$P(x < T_b) = 0,5 - \Phi(t_2).$$

Для рассмотренного примера:

$$t_1 = \frac{T_n - \bar{x}}{\sigma} = \frac{85,50 - 85,774}{0,179} = -1,53; \quad t_2 = \frac{T_b - \bar{x}}{\sigma} = \frac{86,20 - 85,774}{0,179} = 2,38.$$

Найдя по приложению 1 значения  $\Phi(t_1) = 0,4387$  и  $\Phi(t_2) = 0,4907$ , определим соответственно процент неисправимого и исправимого брака:

$$P(x < T_n) = 0,5 - 0,4387 = 0,0613 \cdot 100\% = 6,13\%;$$

$$P(x < T_b) = 0,5 - 0,4907 = 0,0093 \cdot 100\% = 0,93\%.$$

### ***Закон распределения эксцентриситета***

С помощью закона распределения эксцентриситета будут исследованы отклонения расположения отверстий относительно наружного диаметра, то есть разностенность заготовок в диаметральном сечении. Разность двух противоположащих значений дает искомую величину разностенности. Для оценки точности расположения у малой выборки заготовок используется

эмпирическая кривая, а для оценки точности большой партии заготовок по результатам обмеров малой выборки используется теоретическая кривая распределения эксцентриситета (Релея).

*Построение эмпирической кривой распределения*

В этом случае, как и при нормальном законе распределении размеров, мерой рассеивания является размах. Размахом  $R$  называется разность между наибольшим  $R_{\max}$  и наименьшим  $R_{\min}$  значениями разностенности заготовок

$$R = R_{\max} - R_{\min}.$$

Размах делится на 5–8 равных интервалов. Затем определяют величину интервала

$$C = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{k},$$

где  $k$  – количество интервалов.

В каждый интервал включаются размеры, лежащие в пределах от наименьшего значения интервала включительно до наибольшего, исключая его. Далее подсчитывается количество деталей в каждом интервале – частота  $m$ .

Для примера результаты измерения отклонений разностенности приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ интервала	Интервал	Середина интервала $R_{\text{ср}}$	Частота, $m$
1	0,03...0,23	0,13	14
2	0,23...0,43	0,33	17
3	0,43...0,63	0,53	7
4	0,63...0,83	0,73	6
5	0,83...1,03	0,93	4
6	1,03...1,23	1,13	1
7	1,23...1,43	1,33	1

Нанеся полученные значения  $R_{\text{ср}}$  и  $m$  на рис. 5 и соединив точки прямыми линиями, получим эмпирическую кривую распределения эксцентриситета.

*Построение теоретической кривой закона распределения эксцентриситета (Релея) и оценка точности обработки*

Закон Релея однопараметрический и дифференциальная функция его распределения имеет вид

$$\varphi(R) = \frac{R}{\sigma^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}, \quad (15)$$

где  $R$  – в общем случае переменная величина эксцентриситета, причем  $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$ , а  $X$  и  $Y$  – координаты точки конца радиуса  $R$  (рис. 6);

$\sigma$  – среднее квадратичное отклонение значений координат  $X$  и  $Y$ , имеющих одинаковый вид распределения, поэтому

$$\sigma = \sigma_X = \sigma_Y.$$

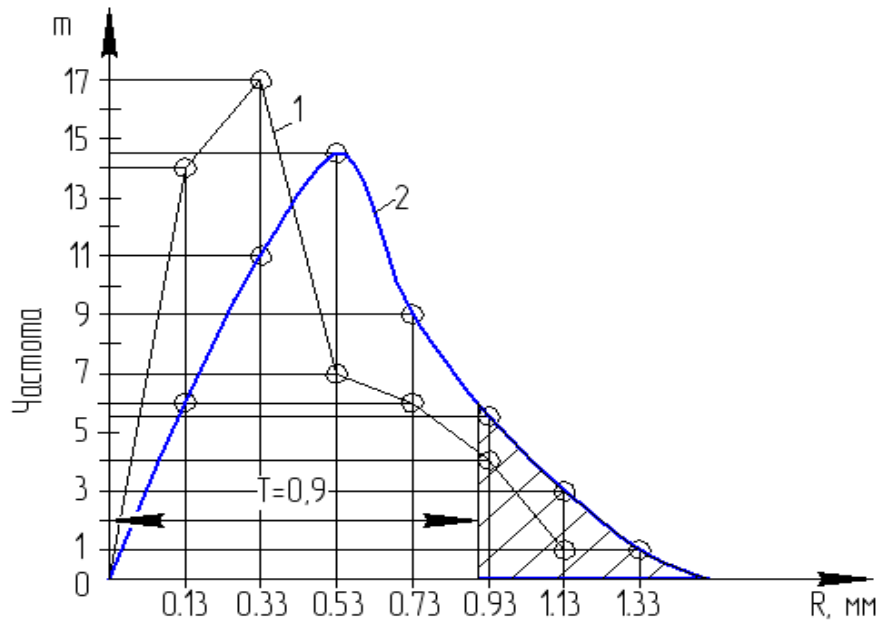


Рис. 5. Закон эксцентриситета:  
1 – эмпирическая кривая распределения;  
2 – теоретическая кривая распределения

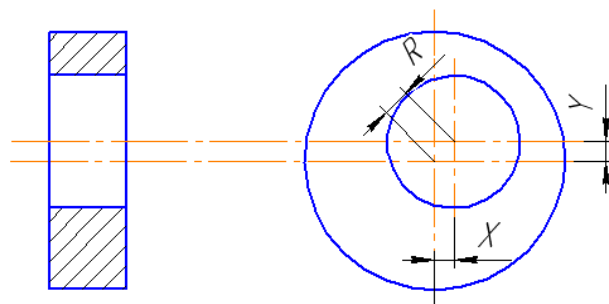


Рис. 6. Пример эксцентриситета поверхностей

Функция распределения эксцентриситета

$$F(R) = \frac{1}{\sigma^2} \int_0^R R e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} dR = 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}. \quad (16)$$

Особенностью данного распределения является то, что в основе его лежит нормальное распределение, так координаты  $X$  и  $Y$  точки конца радиуса  $R$  распределены нормально, а само распределение  $\sigma$  не является нормальным. Связь между  $\sigma_R$ ,  $\bar{R}$ ,  $\sigma$  выражаются зависимостями:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{\sqrt{\frac{\pi}{2}}} \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{\sigma_R}{\sqrt{2 - \frac{\pi}{2}}}, \quad (17)$$

где  $\bar{R}$  – среднее значение случайной величины  $R$

$$\bar{R} = \frac{\sum_1^n R_i}{n}; \quad (18)$$

$R_i$  – текущая величина эксцентриситета  $i$ -й детали;

$n$  – общее количество деталей;

$\sigma_R$  – среднее квадратичное отклонение  $R$  от  $\bar{R}$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_1^n (R_{cp} - \bar{R})^2}{n}}. \quad (19)$$

Зона практического рассеяния погрешностей  $R$ , которую обозначим  $\Delta R$ , принимается равной

$$\Delta R = 3,5\sigma. \quad (20)$$

При этом вероятность попадания значений  $R$  в интервал  $\Delta R$  будет равна 99,78 %, так как при коэффициенте  $R/\sigma = 3,5$  функция распределения эксцентриситета  $F(R) = 0,9978$  (приложение 2).

Учитывая, что

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{\sqrt{\frac{\pi}{2}}} \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{\sigma_R}{\sqrt{2 - \frac{\pi}{2}}},$$

формулу (20) можно заменить:

$$\left. \begin{aligned} \Delta R &= 5,35\sigma_R \\ \Delta R &= 2,80R \end{aligned} \right\}. \quad (21)$$

Теоретическая кривая Релея строится в тех же координатах, что и эмпирическая. Для вычисления функции распределения случайной величины  $R$  необходимо определить параметр  $\sigma$ , который соотношениями (17) связан с  $\bar{R}$  (18) и  $\sigma_R$  (19).

Для построения необходимо определить  $m'$  (табл. 4).

Таблица 4

Интервалы значения $R_i$	$m$	$\frac{R_H \delta_i}{\sigma}$	$F(R)$	$\frac{m'}{n}$	$m'$
1	2	3	4	5	6

В графу 1 и 2 (табл. 4) заносятся интервалы значения  $R_i$  и их частоты  $m$  из табл. 3.

Затем по формулам (17) и (19) определяем  $\sigma$  и  $\sigma_R$ .

В графе 3  $R_n \delta_i$  – максимальное значение измеряемого параметра в каждом интервале.

В графе 4 значение  $F(R)$  для  $\frac{R_n \delta_i}{\sigma}$  берутся из приложения 2.

Для заполнения графы 5 необходимо из каждого последующего значения  $F_i(R)$  вычесть предыдущее значение  $F_{i-1}(R)$ .

Графа 6 заполняется путем умножения данных графы 5 на  $n$ .

Для примера построения теоретической кривой распределения эксцентриситета по данным таблицы 3 и формулам (17)–(19) определим значения  $\sigma$ ,  $\sigma_R$ ,  $\bar{R}$ . Полученные значения занесем в табл. 5.

Таблица 5

Интервалы	Середина интервала $R_{cp}$	Частота $m$	$\bar{R}$	$(R_{cp} - \bar{R})^2 m$	$\sigma_R$	$\sigma$
0,03...0,23	0,13	14	0,428	0,8136	0,294	0,449
0,23...0,43	0,33	17		0,4930		
0,43...0,63	0,53	7		0,9990		
0,63...0,83	0,73	6		0,5470		
0,83...1,03	0,93	4		0,0730		
1,03...1,23	1,13	1		0,1630		
1,23...1,43	1,33	1		0,2430		

Определение теоретических частот  $m'$  выполняем в соответствии с табл. 4. Полученные данные приведены в табл. 6.

Таблица 6

Интервалы	$m$	$\frac{R_n \delta_i}{\sigma}$	$F(R)$	$\frac{m'}{n}$	$m'$
0,03...0,23	14	0.5	0.118	0.12	6
0,23...0,43	17	0.9	0.333	0.22	11
0,43...0,63	7	1.4	0.825	0.29	14.5
0,63...0,83	6	1.8	0.802	0.28	9
0,83...1,03	4	2.2	0.911	0.11	5.5
1,03...1,23	1	2.7	0.974	0.06	3
1,23...1,43	1	3.1	0.992	0.02	1

Полученные значения  $m'$  откладываем на соответствующее значение  $R_{cp}$  на рис. 5 и, соединив плавной кривой, получаем теоретическую кривую распределения Релея. Соотнеся ее с полем допуска  $T=0,9$  мм, можно определить процент брака большой партии заготовок по результатам малой их выборки, используя следующие положения.

Вероятность того, что случайная величина, подчиняющаяся закону Релея, примет значения в пределах от  $0 \dots R$ , может быть записана следующим образом

$$P(0 < R_i < R) = \int_0^R \varphi(R) dR = \frac{1}{\sigma^2} \int_0^R R e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} dR = 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}.$$

При удовлетворительной точности процесса необходимо выполнение следующего условия

$$\Delta R \leq T, \quad (22)$$

где  $\Delta R$  – зона практического рассеивания (20);

$T$  – заданный допуск по чертежу.

Если условие (22) не выполняется, то определяется вероятностный процент неисправимого брака

$$g = [1 - F(R)] \cdot 100 \%, \quad (23)$$

где  $F(R)$  определяется по приложению 2 в зависимости от  $R/\sigma$ ; в данном случае  $R$  – данное значение допуска  $T$ .

Для рассмотренного примера  $R = T = 0,9$  мм;  $\sigma = 0,448$ ; значит

$$\frac{R}{\sigma} = \frac{0,9}{0,448} = 1,9.$$

Найдя  $F(R) = 0,8355$ , определим вероятный процент брака

$$g = (1 - 0,8355) \cdot 100 = 16,45 \%. .$$

### Порядок выполнения работы

1. Обработать партию заготовок с использованием одной из шести оправок с посадочными размерами 25h8; 26h8; 27h8; 28h8; 28h8; 30h8.
2. Провести измерения размеров или расположения поверхностей. По полученным данным составить таблицы (аналогично табл. 1 и 3).
3. Построить эмпирическую кривую распределения размеров или расположения поверхностей и определить фактический брак деталей.
4. Провести вычисления и построить теоретическую кривую распределения и определить вероятностный процент брака.
5. Оформить отчет.

### Оформление отчёта

#### Лабораторная работа № 1

1. Название, цель работы, задание.
2. Эскиз заготовки и оправки для закрепления заготовки.
3. Таблица результатов измерения размеров деталей или расположения поверхностей после обтачивания заготовок.
4. Вычисления, необходимые для построения теоретических кривых распределения.

5. Построение эмпирических и теоретических кривых распределения.
6. Определение фактического и вероятностного брака деталей.
7. Анализ полученных данных.

### Контрольные вопросы

1. Какие случайные величины подчиняются закону нормального распределения?
2. Какие случайные величины подчиняются закону эксцентриситета?
3. Для какой цели применяются точечные диаграммы?
4. По каким точкам перегиба строится теоретическая кривая Гаусса?

## Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ФОРМЫ ДЕТАЛИ В ПРОДОЛЬНОМ СЕЧЕНИИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ

**Цель работы** – освоение методики теоретического и экспериментального определения погрешностей формы деталей в продольном сечении, возникающих при обработке на токарном станке.

**Задание:** определить аналитически и экспериментально погрешности формы деталей в продольном сечении, возникающие при установке и закреплении их в центрах и трехкулачковом патроне.

### Основные положения

При обработке деталей на металлорежущих станках силы резания вызывают деформации элементов технологической системы (станок – приспособление – инструмент – заготовка). Непостоянство жесткости технологической системы вызывает при обработке деталей появление таких погрешностей в продольном сечении как конусность, бочкообразность, седлообразность и др. [1, 4].

Погрешность обработки нежесткой детали ( $\frac{l}{d} > 5$ ) приближенно можно определять как деформацию изгиба детали под действием силы  $P_y$  (пренебрегая деформацией остальных элементов системы, как и деформацией детали под действием сил  $P_x$  и  $P_z$ ).

Жесткостью  $j$  технологической системы называется способность этой системы оказывать сопротивление действию деформирующих ее сил.

Если жесткость элементов станка очень велика, а жесткость обрабатываемой заготовки мала (обточка длинного и тонкого вала на массивном станке), то отжатия передней бабки станка  $y_{п.б}$  и задней бабки станка  $y_{з.б}$  малы, а отжатие заготовки  $y_{зар}$  значительно. В результате этого форма детали становится бочкообразной. Наоборот, при обработке массивной заго-

товки, дающей минимальный прогиб, на станке малой жесткости ( $y_{п.б}$  и  $y_{з.б}$  значительны) форма детали получается корсетобразной с наименьшим диаметром в середине заготовки.

Для вычисления погрешностей обработки, связанных с упругими отжатами технологической системы, жесткость этой системы должна получить количественное выражение. А.П. Соколовским предложено выражать жесткость  $j$ , кН/м (кгс/мм) технологической системы отношением нормальной составляющей  $P_y$ , кН (кгс) силы резания к суммарному смещению  $y$ , м (мм) лезвия режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки, измеренному в направлении нормали к этой поверхности, т.е.

$$j = P_y / y .$$

При определении жесткости элементов технологической системы перемещение всегда измеряется в направлении, перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, и в расчет вводится нормальная составляющая усилия  $P_y$  резания, однако при этом одновременно учитывается влияние на  $y$  и остальных составляющих силы резания ( $P_y$  и  $P_x$ ). Исследования показали, что упругое смещение  $y$ , рассчитываемое только в условиях действия  $P_y$ , всегда больше (а следовательно, численное значение жесткости системы меньше), чем при определении его с учетом одновременного действия составляющих  $P_y$  и  $P_x$ . В связи с этим при экспериментальном определении жесткости технологическую систему следует нагружать системой сил, близкой к эксплуатационной.

Жесткость системы можно также вычислить из уравнения

$$j = \Delta P_y / \Delta y .$$

Отжатие  $y_{зар}$ , зависящее от метода установки заготовок на станке, можно подсчитать по обычным формулам сопротивления материалов. Так, при обтачивании гладкого вала в центрах можно определять величину его прогиба как прогиба балки, свободно лежащей на двух опорах. Наибольший прогиб вала по его середине

$$y_{зар} = \frac{P_y l^3}{48EJ} ,$$

а прогиб вала в сечении приложения резца, расположенном на расстоянии  $x$  от передней бабки

$$y_{зар} = \frac{P_y x^2 (l - x)^2}{3EJ} ,$$

где  $l$  – длина заготовки;

$E$  – модуль упругости;

$J$  – момент инерции сечения заготовки (для круглого вала  $J=0,05d^4$ ).

При положении резца в середине вала жесткость вала

$$j_{зар} = \frac{48EJ}{l^3} ,$$



а при положении резца на расстоянии  $x$  от передней бабки станка

$$j_{\text{заг}} = \frac{3EJl}{x^2(l-x)^2}.$$

Для гладкого вала, консольно закрепленного в патроне:

$$y_{\text{заг}} = \frac{P_y l^3}{3EJ} \text{ и } j_{\text{заг}} = \frac{3EJ}{l^3},$$

а для гладкого вала, закрепленного в патроне и поддерживаемого центром (с учетом податливости заднего центра и упругости крепления в патроне):

$$y_{\text{заг}} = \frac{P_y l^3}{100EJ} \text{ и } j_{\text{заг}} = \frac{100EJ}{l^3}.$$

### Порядок выполнения работы

1. Определить подачу  $S$  и скорость резания  $V$ , ориентируясь на получистовую обработку ( $R_z \leq 20$ ) с глубиной резания  $t=1$  мм (приложение 3). Определить частоту вращения шпинделя станка  $n$ . Значения  $S$  и  $n$  уточнить по станку.

2. Установить заготовку в самоцентрирующий трехлапчатый патрон по схеме 1 (рис. 7). Длина выступающей части заготовки  $l=8\dots 10d$ .

3. Производим обточку прутка по схеме 1.

4. Установить контрольную оправку в центрах токарного станка.

5. Установить и закрепить в резцедержателе станка стойку с индикатором, проверить соосность переднего и заднего центров. Сдвигая заднюю бабку в поперечном направлении, добиться, чтобы соосность не превышала 0,015мм.

6. Установить заготовку с хомутиком в центрах. Произвести обточку заготовки по схеме 2 (рис. 7).

7. Определить величину радиальной составляющей силы резания (приложение 4, п. 3).

8. Для каждого варианта обработки нарисовать схему для определения деформации детали под действием силы  $P_y$ .

9. Рассчитать ожидаемые деформации заготовки под действием радиальной составляющей силы резания  $P_y$  в шести сечениях (рис. 8) при обработке по схемам 1 и 2 (рис. 7).

10. Измерить диаметры обработанных поверхностей прутков в шести сечениях (рис. 8). В каждом сечении произвести замеры в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В отчет занести среднее значение размера.

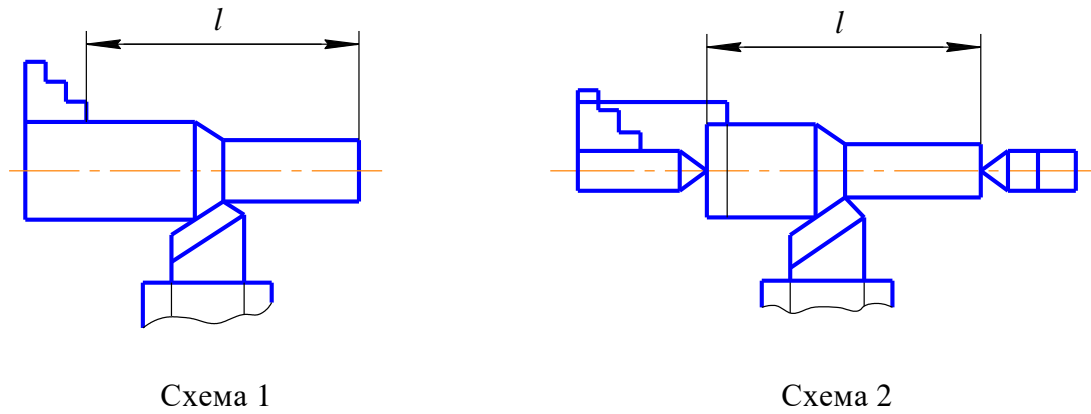


Рис. 7. Схемы обработки деталей

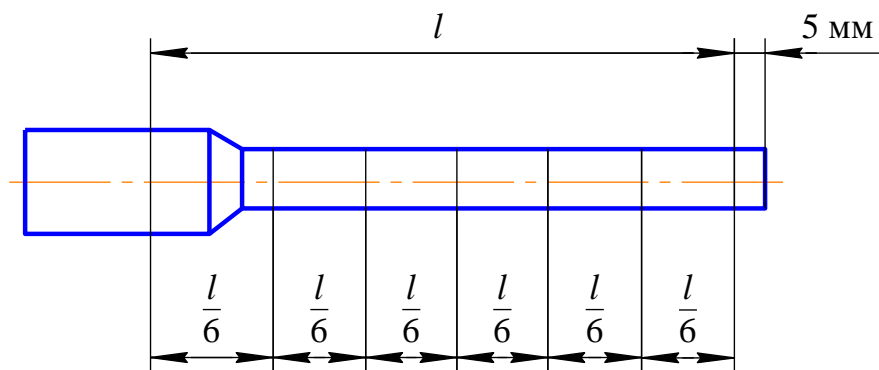


Рис. 8. Схема обмера детали

## Оформление отчета

### Лабораторная работа № 2

1. Название, цель работы, задание.
2. Схемы вариантов обработки деталей.
3. Результат проверки несоосности центров.
4. Расчет схемы резания  $P_y$ .
5. Схемы для определения деформации детали.
6. Расчет ожидаемых деформаций детали в шести сечениях при обработке по схемам 1 и 2.
7. Фактические отклонения формы деталей после обработки по схемам 1 и 2:

$$\Delta_{i\text{факт}} = \frac{d_i - d_1}{2} \text{ – при обработке по 1 схеме;}$$

$$\Delta_{i\text{факт}} = \frac{d_i - d_6}{2} \text{ – при обработке по 2 схеме.}$$

8. Графики формы образующей цилиндрической поверхности детали, построенные по результатам аналитических расчетов и эксперимента (для схем 1 и 2).

9. Оценка степени несовпадения теоретических и фактических значений погрешностей и возможные причины этого.

10. Определение погрешности формы детали в продольном сечении:

$$\Delta d_{\text{расч}} = 2\Delta_{i \text{ max}} ;$$

$$\Delta d_{\text{факт}} = 2\Delta_{i \text{ факт max}} \cdot$$

11. Заключение о характере формы поверхностей, причинах отклонений формы и о пути их уменьшения.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите параметры, характеризующие точность формы в продольном и поперечном сечениях.

2. Перечислите факторы, влияющие на точность формы детали в продольном сечении.

3. Каким образом можно повысить точность формы поверхности?

4. Объясните, в результате чего имеет место расхождение между теоретическими и фактическими деформациями детали.

## **Лабораторная работа № 3 ВЛИЯНИЕ ЖЁСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПРИ ТОЧЕНИИ**

**Цель работы** – ознакомиться с экспериментальными методами определения жёсткости станков; выяснить зависимость точности обработки от жёсткости технологической системы.

### **Задание:**

– определить ожидаемую величину поля рассеивания размеров при обработке партии заготовок диаметром 60...100 мм, если величина припуска меняется в пределах от 1,5 до 4 мм на диаметр;

– определить наибольшую погрешность формы детали в осевом сечении;

– определить, можно ли при указанных условиях на данном станке выдержать точность размера в пределах 0,2 мм и точность формы в осевом сечении в пределах 0,1 мм при однопроходной обработке на настроенном станке (способ автоматического получения размеров).

### **Основные положения**

Под жёсткостью технологической системы понимают её способность противодействовать относительному перемещению режущего инструмента и обрабатываемой детали в направлении получаемого размера под действием возникающих при обработке усилий [3, 4].

Под влиянием сил резания происходят как упругие деформации деталей технологической системы, так и контактные деформации в стыках, в результате чего нарушается первоначально установленное относительное положение инструмента к обрабатываемой детали.

Выдерживаемый на данной операции размер получает приращение, величина и знак которого зависят от конструктивного исполнения, качества сборки и степени изношенности узлов станка, места приложения нагрузки и направления вектора силы резания.

Аналитический расчёт величины относительного перемещения инструмента и детали под действием всех трёх составляющих силы резания  $P_z$ ,  $P_y$ ,  $P_x$  весьма трудоёмок. Поэтому для этой цели пользуются экспериментальными методами. Наиболее распространёнными из них являются метод статистического нагружения и, так называемый, производственный метод.

Наиболее часто жёсткость станков определяют методом статистического нагружения их узлов силой определённого направления с одновременным измерением упругих деформаций. С целью упрощения приспособлений для нагружения чаще всего направление нагружающей силы принимают вдоль оси  $y$ , имея в виду то, что в большинстве случаев радиальная составляющая силы резания  $P_y$  оказывает наибольшее влияние на приращение размера.

Схема определения жёсткости по этому методу показана на рис. 9.

Величина нагружающей силы  $P_y$  измеряется с помощью кольцевого динамометра 3. Каждое деление индикатора 4, установленного в динамометре, соответствует силе 42,5 Н. Измерение упругих деформаций производится с помощью скобы 6.

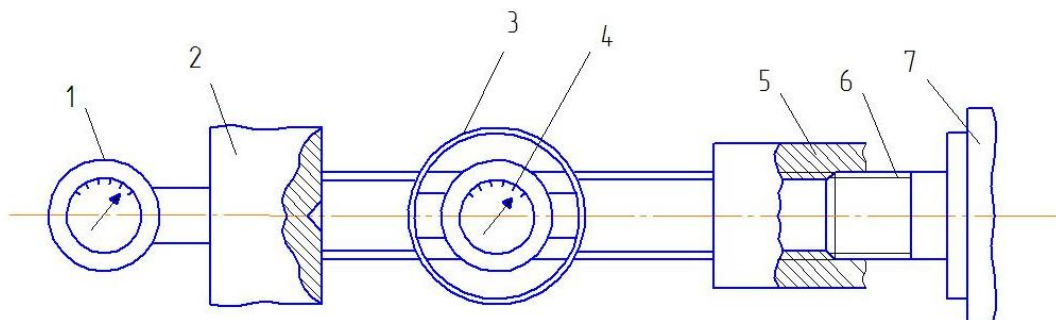


Рис. 9. Схема определения жесткости

Передний конец скобы закреплён в резцедержателе 7, на заднем конце скобы закреплён индикатор 1, ножка которого упирается в нагрузочный валок 2, установленный в центрах станка. Нагружение производится свинчиванием гайки 5 резьбового наконечника скобы 6.

Показания индикатора 1 соответствуют суммарной величине отжатий в технологической системе  $Y_c$ . Как правило, зависимость  $Y_c = f(P_y)$

нелинейна, а её график (рис. 10), построенный даже после многократного повторения цикла нагрузка – разгрузка, имеет петлю гистерезиса. Если в какой-либо точке кривой  $Y_c = f(P_y)$  провести касательную, то её угловой коэффициент (численно равный тангенсу угла наклона) называют коэффициентом жёсткости  $J$ . Определив среднюю величину этого коэффициента в интересующем нас диапазоне как отношение  $\Delta P/\Delta y$  и рассчитав силу  $P_y$ , мы можем найти деформацию технологической системы и приращение размера обрабатываемой детали по сравнению с настроечным.

Однако этот метод не учитывает действие двух остальных составляющих силы резания  $P_z$  и  $P_x$ . Кроме того, условия статического нагружения не соответствуют реальным, например, отсутствуют вибрации, сопровождающие процесс обработки и увеличивающие деформацию элементов технологической системы [3].

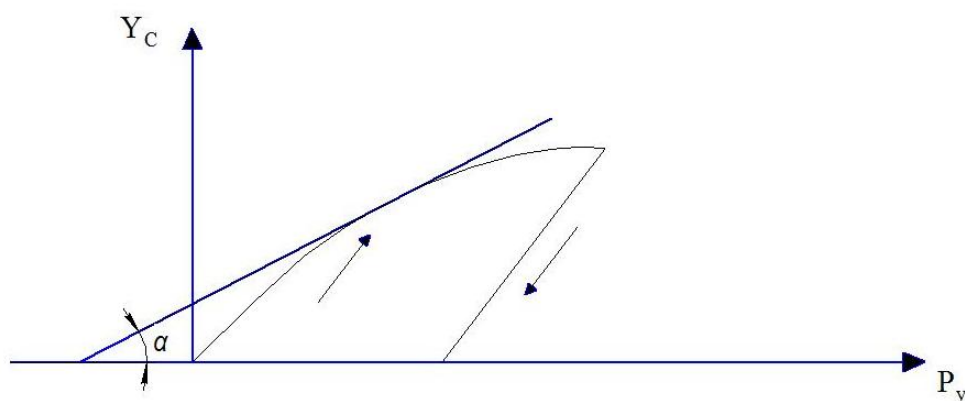


Рис. 10. График зависимости  $Y_c = f(P_y)$

Более точным является производственный метод. Преимущество этого метода перед другими состоит в том, что величина упругих перемещений определяется непосредственно при обработке. Условия нагружения технологической системы могут при этом в точности соответствовать производственным. Вместо измерения относительных смещений узлов станка здесь измеряют непосредственно приращение размера на обработанной детали. Сущность этого метода состоит в том, что обрабатывается заготовка со ступенчатым изменением припуска (рис. 11).

При обработке такой заготовки изменяется глубина резания, силы резания и, следовательно, величина суммарной деформации технологической системы.

На обрабатываемой поверхности появляется уступ, высота которого  $\Delta y$  равна разности деформаций технологической системы при обработке с глубиной резания  $t_1$  и  $t_2$ . Подсчитав составляющие силы резания  $P_{y1}$  и  $P_{y2}$  и их разность  $\Delta P_y = P_{y1} - P_{y2}$ , можно, как и в предыдущем случае, найти коэффициент жесткости

$$J = \frac{\Delta P_y}{\Delta y}$$

Однако для технолога определение жесткости оборудования не является самоцелью. Его прежде всего интересует, как отразится нестабильность упругих деформаций технологической системы на точность обработки.

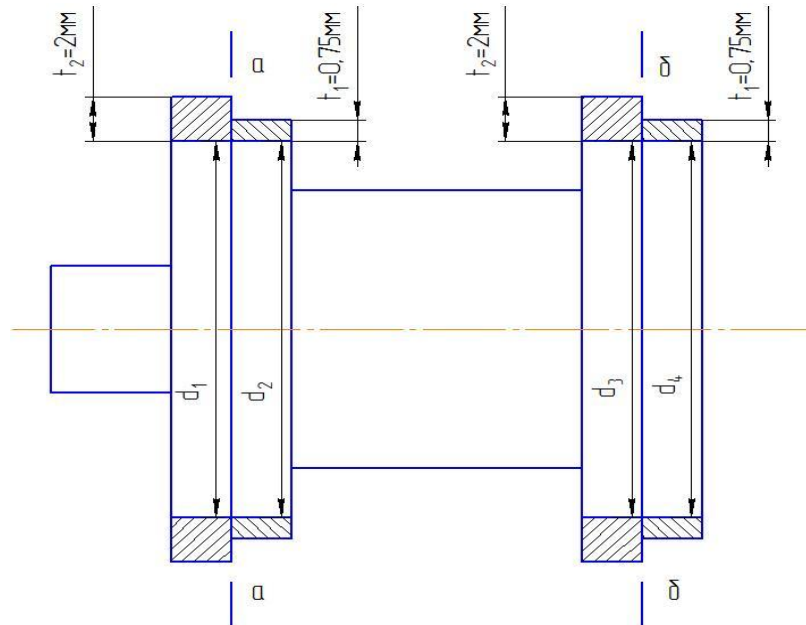


Рис. 11. Эскиз заготовки

С этой целью размер меньшей ступени заготовки (см. рис. 11) выполняют равным наименьшему, а размер большей ступени – наибольшему предельному размеру заготовки в той партии, на обработку которой настроен станок. Таким образом, при обработке меньшей ступени будет сниматься наименьший припуск  $t_1$ , а при обработке большей ступени – наибольший припуск  $t_2$ . Величина изменения припуска на диаметр (удвоенная величина  $\Delta t$ ) равна допуску на размер заготовки, т.е. имитируется обработка двух заготовок из партии – наибольшей и наименьшей. Иногда высоту ступени  $\Delta t$  дополнительно увеличивают для того, чтобы учесть колебание твердости обрабатываемого материала.

Высота ступени на обработанной поверхности в месте перехода припуска (сечения а–а и б–б) соответствует величине поля рассеивания размеров, которое возникает из-за неравномерности деформаций в технологической системе при обработке партии заготовок с переменным припуском и твердостью.

Поскольку жесткость задней бабки станка отличается от жесткости передней бабки, то при снятии одного и того же припуска на правом и левом концах вала (за одну установку) изменение размера на обработанной

поверхности будет различным. По разности размеров на концах вала можно судить об ожидаемой величине конусности обработанных деталей.

Минимальную величину конусности будет иметь деталь с наименьшим припуском (условно принимается, что величина припуска вдоль оси на каждой заготовке постоянна). Эту конусность можно скомпенсировать за счет сдвига задней бабки. В этом случае конусность детали с наибольшим припуском несколько уменьшится.

### Порядок выполнения работы

1. Настроить станок на следующие режимы обработки:

$$V=80\dots 140 \text{ м/мин}; S=0,15\dots 0,3 \text{ мм/об.}$$

2. Пользуясь соответствующими нормативами [3], подсчитать величину радиальной составляющей силы резания при обработке с глубиной резания  $t_1=0,75$  мм и  $t_2=2,0$  мм.

3. Произвести нагружение возле передней и задней бабок станка силами 425 Н и 850 Н и определить суммарную величину отжатий.

4. Подсчитать коэффициенты жесткости станка у передней и задней бабок как отношения:

$$J_{\text{п.б}} = \frac{\Delta P_y}{\Delta y_{\text{п.б}}}; \quad J_{\text{з.б}} = \frac{\Delta P_y}{\Delta y_{\text{з.б}}}.$$

5. Подсчитать ожидаемую величину приращений размера возле передней и задней бабок при обработке заготовки со ступенчатым изменением глубины резания от 0,75 до 2,0 мм по формулам:

$$\Delta d_{\text{п.б}} = 2 \frac{P_{y2} - P_{y0,75}}{J_{\text{п.б}}}; \quad \Delta d_{\text{з.б}} = 2 \frac{P_{y2} - P_{y0,75}}{J_{\text{з.б}}}.$$

Подсчитать ожидаемую величину конусности:

$$K_{\text{min}} = 2P_{y0,75} \left( \frac{1}{J_{\text{з.б}}} - \frac{1}{J_{\text{п.б}}} \right); \quad K_{\text{max}} = 2P_{y2} \left( \frac{1}{J_{\text{з.б}}} - \frac{1}{J_{\text{п.б}}} \right).$$

6. С помощью контрольной оправки и индикатора проверить соосность центров станка.

7. Обточить две заготовки со ступенчатым возрастанием припуска (в работе сплошные заготовки заменены двумя парами колец, посаженных на оправку).

8. Замерить величины приращений диаметров на обоих концах заготовки.

9. Условно, пренебрегая другими видами погрешностей, дать ответы на вопросы, поставленные в разделе «Задание».

10. Сравнить результаты, полученные в пп. 5 и 8, дать объяснение их несовпадению.

11. Оформить отчет.

## Оформление отчёта

### Лабораторная работа № 3

1. Название, цель работы, задание.
2. Результаты измерения жесткости токарного станка методом статического нагружения и расчет усилий резания:
  - а) схема нагружения;
  - б) таблица результатов (табл. 7).

Таблица 7

Измерение жесткости методом статического нагружения					Расчет усилий резания		
Обозначение	$P_y$ , Н	$y$ , мм	$\Delta y = y_2 - y_1$	$J = \frac{P_y}{\Delta y}$	$P_z = C_{P_z} t^{X_{P_z}} S^{Y_{P_z}} K_{P_z};$ $P_y = 0,4P_z$		
Сечение у передней бабки	425 850				$P_{y0,75}$	$P_{y2}$	$\Delta P_y = P_{y2} - P_{y0,75}$
Сечение у задней бабки	425 850						

3. Расчет ожидаемой величины поля рассеивания размера и конусности:

$$\Delta d_{п.б}; \Delta d_{з.б}; K_{\min}; K_{\max}.$$

4. Эскиз обработки.
5. Результаты измерения обточенных колец и определение фактического поля рассеивания размера и конусности:

$$\Delta d_{п.б} = d_1 - d_2; \Delta d_{з.б} = d_3 - d_4; K_{\max} = d_3 - d_1; K_{\min} = d_4 - d_2.$$

6. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Что понимается под жесткостью технологической системы?
2. За счет чего можно компенсировать конусность детали?
3. Какие факторы не учитываются при определении жесткости станков методом статического нагружения?
4. Объясните несовпадение расчетных величин приращений размеров с фактическими величинами.
5. Исходя из какого условия устанавливают размеры большей и меньшей ступеней заготовки?



## **Лабораторная работа № 4**

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ ИЗДЕЛИЯ**

*Цель работы* – ознакомление со структурой и методикой проектирования технологического процесса сборки изделия.

*Задание:*

- составить структурную схему изделия;
- разработать технологическую схему сборки изделия и сборки узлов;
- разработать маршрутный технологический процесс сборки изделия;
- выполнить разборку и сборку образца изделия.

#### **Основные положения**

Сборка – процесс образования разъёмных и неразъёмных соединений составных частей изделия. По своему объёму сборка подразделяется на общую и узловую. При общей сборке объектом является изделие в целом, а при узловой сборке – составная часть изделия, т.е. сборочная единица или узел [1, 5].

Технолог, разрабатывающий технологический процесс сборки изделия, должен: отчетливо представлять задачи, для решения которых создается изделие; понимать связи, посредством которых изделие должно выполнять предписанный ему процесс; обеспечить с требуемой точностью все необходимые связи в изделии соответствующим построением технологического процесса его изготовления, предъявив требования сборки к технологии изготовления деталей и контролю их точности.

Разработка технологического процесса сборки изделия ведётся в несколько этапов:

- I – разработка структурной схемы изделия;
- II – разработка технологической схемы сборки;
- III – разработка технологического процесса сборки изделия;
- IV – выполнение разборки и сборки образца изделия.

#### *I. Разработка структурной схемы изделия*

Структурная схема изделия разрабатывается на основе сборочного чертежа. После изучения конструкции и работы как всего изделия, так и отдельных её сборочных единиц, анализа технических условий на их изготовление и сборку, приступают к разбивке изделия на составные части.

При выполнении работы целесообразно исходить из следующих принципов:

- сборочная единица не должна расчленяться как в процессе сборки, так и в процессе транспортировки и монтажа;

– сборочная единица не должна состоять из большого числа деталей и сопряжения и, в то же время, излишнее «дробление» изделия на сборочные единицы не рационально, так как это усложняет процесс комплектования при сборке, создаёт дополнительные трудности в организации сборочных работ;

– большинство деталей изделия должно войти в те или иные сборочные единицы с тем, чтобы сократить число отдельных деталей, подаваемых непосредственно на сборку (исключение составляют базовые детали, а также детали крепления);

– изделие следует расчленять таким образом, чтобы конструктивные условия позволяли осуществлять сборку наибольшего числа сборочных единиц, независимо одну от другой и без ущерба для эксплуатации изделия. Такое расчленение обеспечивает и лучшую ремонтпригодность изделий.

В структурной схеме различают сборочные единицы первого, второго и других, более высоких, порядков. Сборочная единица первого порядка входит непосредственно в состав изделия при его общей сборке. Она может состоять из отдельных деталей, а также из одной или нескольких сборочных единиц второго порядка. Сборочная единица второго порядка входит в состав единицы первого порядка и, в свою очередь, может состоять из сборочных единиц третьего порядка и деталей и т.д.

Структурная схема изделия «Клапан» (рис. 12) приведена на рис. 13.

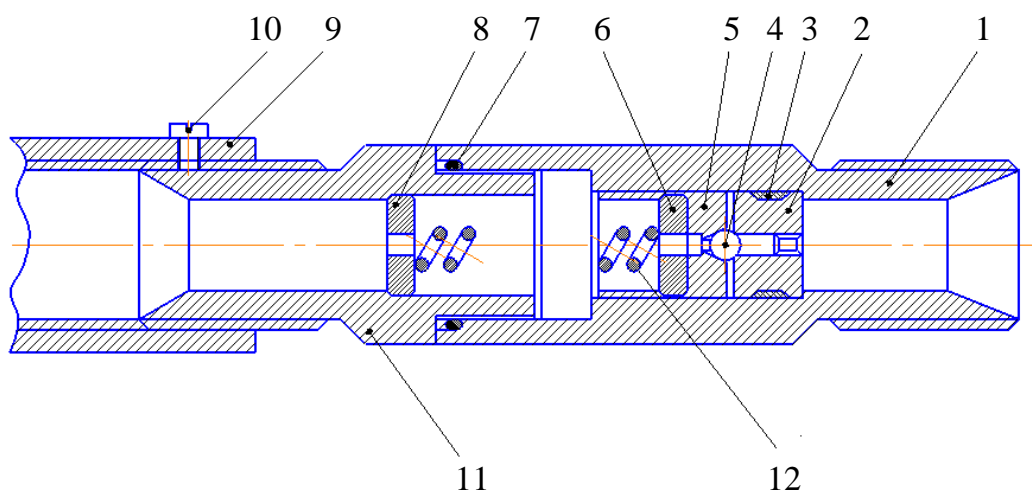


Рис. 12. Изделие «Клапан»: 1 – корпус; 2 – гнездо; 3, 7 – кольца уплотнительные; 4 – шарик; 5 – направляющая; 6, 8 – шайбы; 9 – втулка; 10 – винт; 11 – штуцер; 12 – пружина

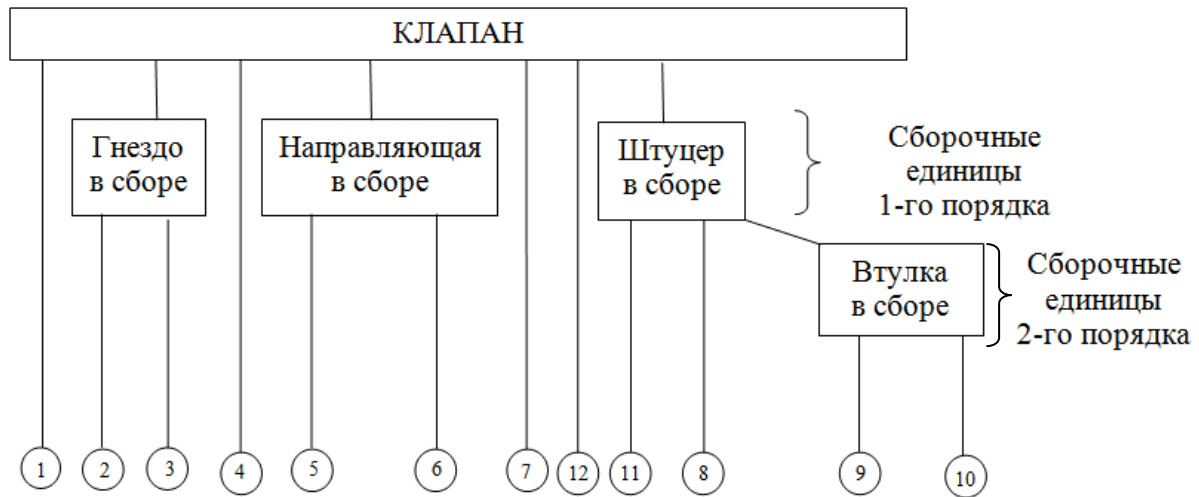


Рис. 13. Структурная схема изделия «Клапан»

## II. Разработка технологической схемы сборки

Технологическая схема сборки – это графическое отображение состава и последовательности сборки деталей и узлов изделия. Она является первичным технологическим документом, дающим объёмное представление о процессе сборки.

Технологическая схема сборки:

- отражает полную структуру и порядок комплектования изделия и его узлов по времени;
- служит первым этапом проектирования линий сборки (планировки участков сборки);
- позволяет из множества вариантов сборки выбрать оптимальный вариант;
- способствует отработке изделия на технологичность;
- значительно упрощает проектирование всего технологического процесса сборки.

Разработка технологической схемы сборки начинается с определения базового элемента. Базовым называется основной элемент (деталь, узел), с которого начинают сборку.

На технологической схеме сборки каждый элемент изделия обозначается прямоугольником расчленённым на три части (рис. 14).

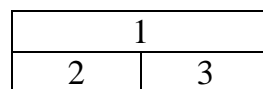


Рис. 14

В верхней части 1 прямоугольника указывается наименование элемента; в левой нижней части 2 – индекс элемента, а в правой нижней части 3 –

количество элементов. Индексация деталей производится в соответствии с номерами, присвоенными им на сборочных чертежах изделий.

Узлы обозначаются буквами «Сб», что означает «Сборка». Каждому узлу присваивается номер его базового элемента. Например, «Сб. 3» – узел с базовой деталью № 3. Порядок узла указывается соответствующим цифровым индексом, представляемым перед буквенным обозначением «Сб». Например, «1 Сб. 5» означает узел первого порядка с базовой деталью № 5.

При составлении технологической схемы сборки необходимо руководствоваться следующим. Процесс сборки изделия и каждого из его узлов изображается участком прямой линии, которая начинается с изображения базового элемента (детали или узла) и заканчивается изображением узла или изделия. Над линией в порядке последовательности присоединяются прямоугольники, обозначающие все детали, а под ней изображаются узлы, непосредственно входящие в изделие.

На схеме указываются также необходимые технологические примечания, например: «установить по шаблону», «приварить», «запрессовать», «сверлить в сборе», «смазать» и т.д.

При выполнении сборки должна соблюдаться такая последовательность установки, при которой смонтированные в первую очередь детали и сборочные единицы не должны мешать установке последующих деталей и сборочных единиц.

Технологическая схема сборки изделия приведена на рис. 15, сборки узлов 1-го и 2-го порядков – на рис. 16.

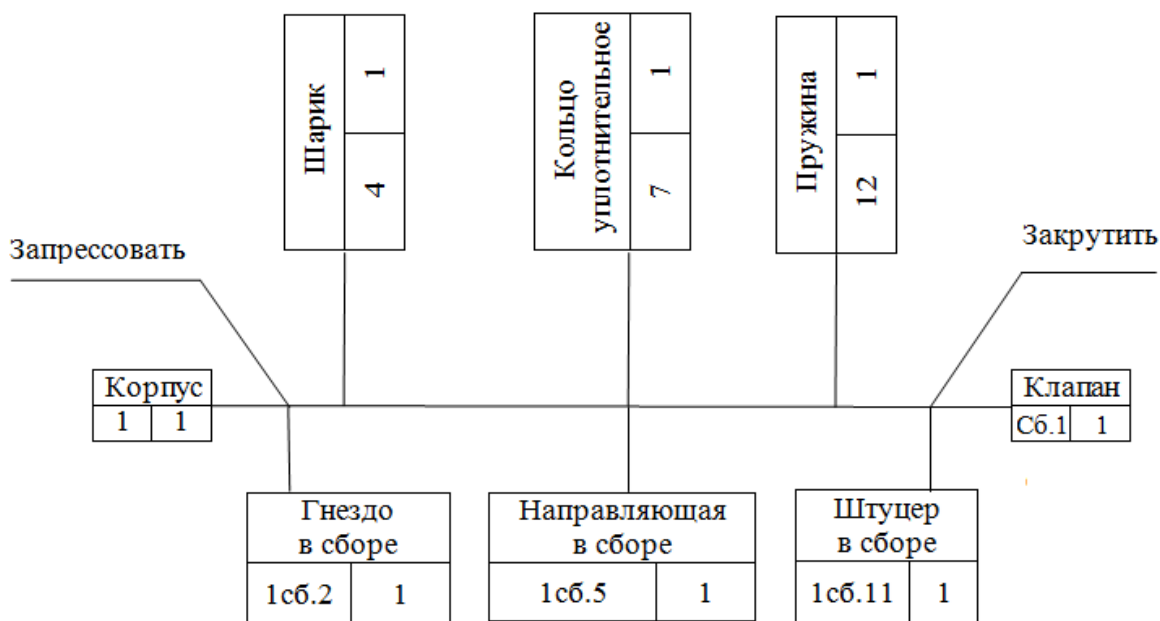


Рис. 15. Технологическая схема сборки изделия «Клапан»

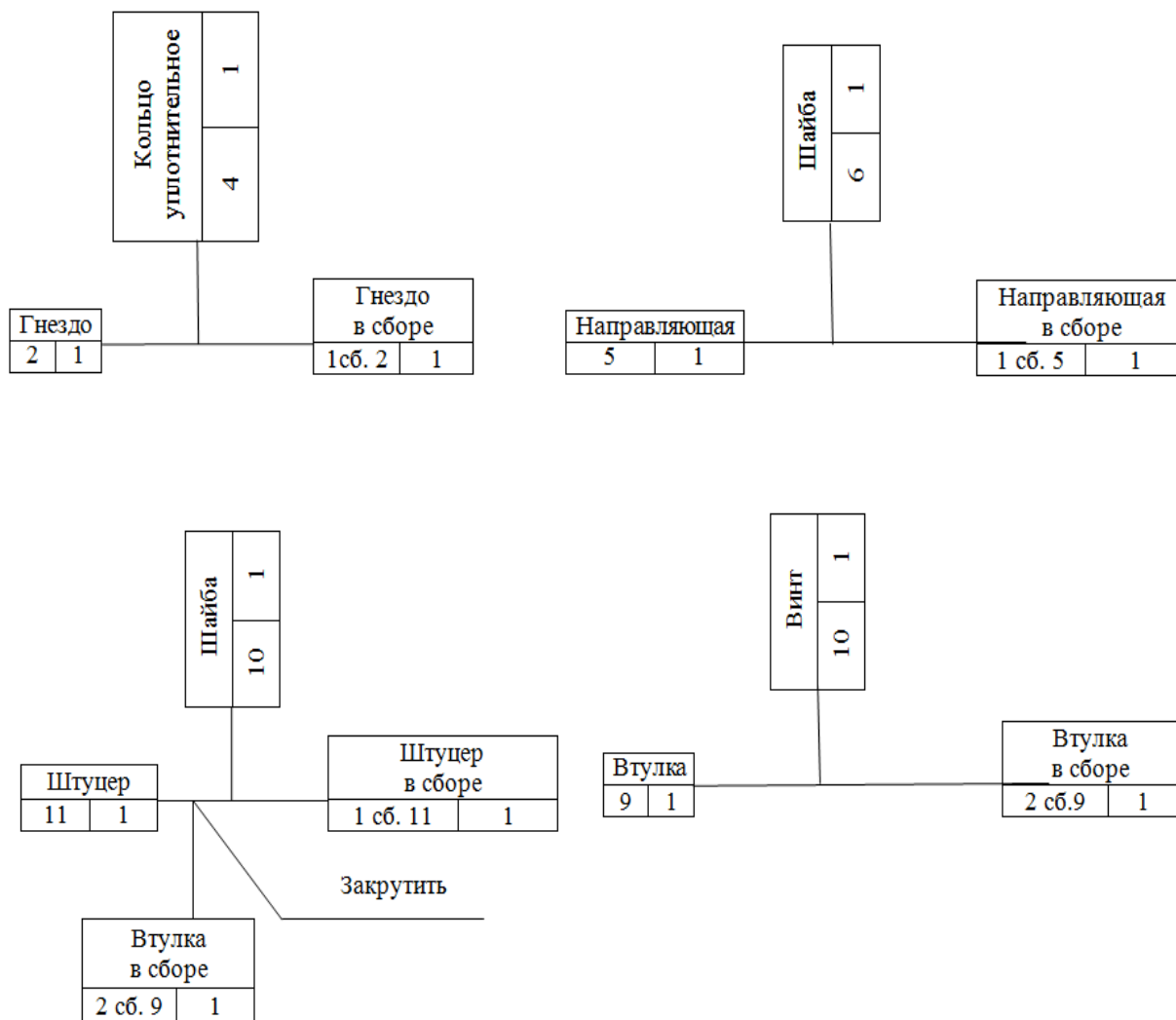


Рис. 16. Технологические схемы сборки узлов 1-го и 2-го порядков

### III. Разработка маршрутного технологического процесса сборки

Маршрутный технологический процесс сборки оформляется в упрощённом виде без указания переходов и режимов работы. При разработке маршрутного технологического процесса устанавливается содержание сборочных операций, причём с таким расчётом, чтобы на каждом рабочем месте выполнялась по возможности однородная по своему характеру и технологически законченная работа, с указанием применяемого оборудования и инструмента. При составлении маршрута сборки большое значение имеет назначение операций технического контроля и других вспомогательных операций (очистка деталей, регулирование, балансировка, испытание и др.) Пример оформления технологического процесса сборки приведен в табл. 8.

Таблица 8

№ операции	Наименование операции	Содержание операции	Оборудование и инструмент
05	Сборка гнезда с кольцом	Установить в гнездо (2) кольцо (3)	–
10	Сборка втулки	Ввернуть винт (10) во втулку (9)	Отвертка
15	Сборка штуцера	Установить в штуцер (11) шайбу (8) и ввернуть его во втулку	–
20	Сборка направляющей	Установить в направляющую (5) шайбу (6)	–
25	Сборка корпуса клапана	1. Установить гнездо (2) в корпус клапана (1) и запрессовать. 2. Установить шарик (4) в корпус клапана. 3. Установить на шарик (4) направляющую (5). 4. Установить кольцо (7) в торцовую канавку корпуса. 5. Установить пружину (12) в отверстие направляющей (5). 6. Ввернуть штуцер в корпус клапана.	Оправка, молоток, ключ
30	Контрольная	Испытать на стенде. Показания прибора должны быть 10,5... 13,5 МПа	Испытательный стенд

#### *IV. Разборка и сборка изделия*

В процессе разборки и сборки изделия определяется правильность разработанной технологической схемы сборки и маршрутного технологического процесса сборки. При этом устраняются замеченные ошибки, вносятся изменения в последовательность сборки, дополняются технологические примечания и т.д.

#### **Оформление отчёта**

##### Лабораторная работа № 4

1. Название, цель работы, задание.
2. Краткое описание сборочного узла.
3. Технологическая схема сборки узла.
4. Маршрутный технологический процесс сборки узла.
5. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип работы узла «Привод насоса».
2. Перечислите организационные формы сборки.
3. Объясните, как влияет технологический процесс на качество машин.
4. Назовите оборудование, применяемое при сборке.
5. Что показывается на технологических схемах сборки?

## Лабораторная работа № 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ ДЕТАЛИ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ И ТОЧЕНИИ

**Цель работы** – освоить методику расчета погрешности базирования и влияние ее на точность обработки.

**Задание:** работа выполняется на примере фрезерной и токарной операции.

### Фрезерная операция

Требуется обработать поверхность  $P$  детали, приведенной на эскизе (рис. 17). Выполняя работу, студент должен использовать два варианта базирования детали.

*1 вариант.* При обработки поверхности  $P$  за технологическую базу принимается поверхность  $K$ . Измерение размера  $A$  производится в контрольном приспособлении с базированием детали по поверхностям двух отверстий  $R$ . Таким образом, в рассматриваемом варианте технологическая база  $K$  не совпадает с измерительной  $R$ .

*2 вариант.* При обработке поверхности  $P$  в качестве технологической базы используются поверхности двух отверстий  $R$  с базированием по пальцу. Технологическая база и измерительная совмещены.

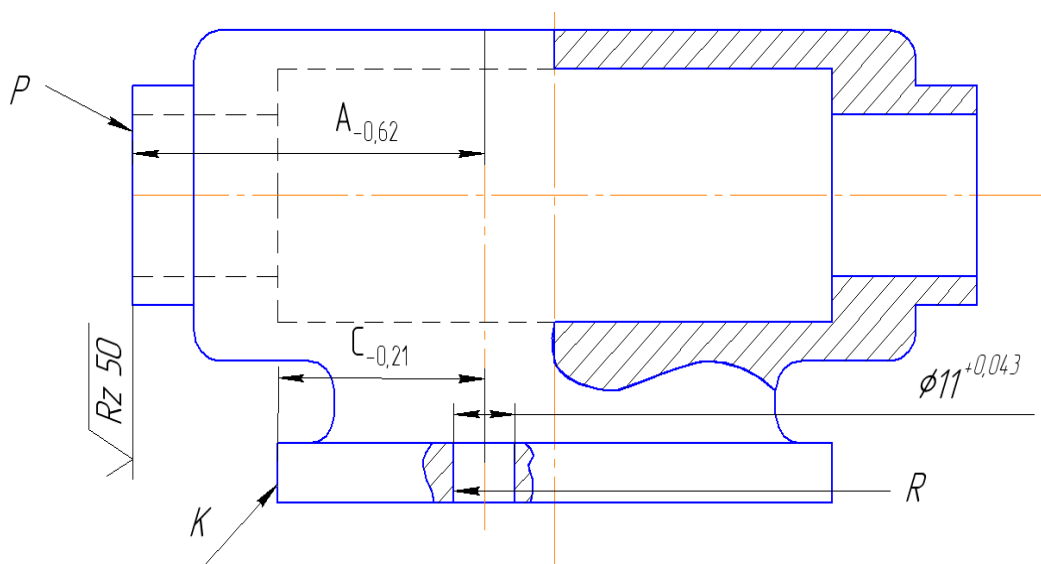


Рис. 17. Деталь для фрезерной операции

## Токарная операция

Требуется обработать поверхность  $P$  детали, приведенной на эскизе (рис. 18). Выполняя работу, студент должен использовать два варианта базирования детали.

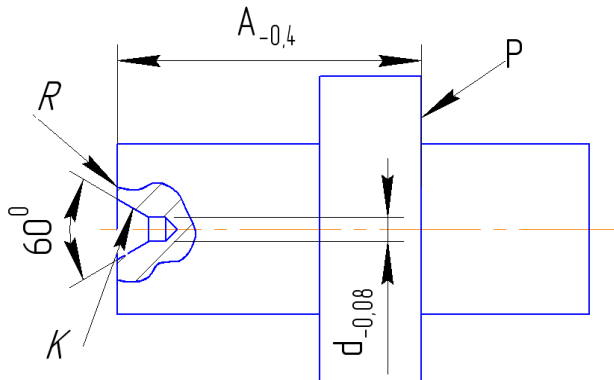


Рис. 18. Деталь для токарной операции

*1 вариант.* При обработке поверхности  $P$  за технологические базы принимаются поверхности  $K$  (поверхности центровых отверстий), то есть обработка идет с жестким передним центром, который ориентирует деталь в радиальном и осевом направлениях. Измерение размера  $A$  производится штангенрейсмусом с базированием детали на измерительную плиту по поверхности  $R$ . Таким образом, в этом варианте технологическая база не совпадает с измерительной. Величина погрешности базирования для размера  $A$  определяется из уравнения

$$\Delta_{\text{ц}} = \frac{Td}{\operatorname{tg}\alpha},$$

где  $Td$  – допуск на диаметр центрального гнезда;

$\alpha$  – половина угла центрального гнезда.

*2 вариант.* При обработке поверхности  $P$  за технологические базы принимаются поверхность  $K$  и поверхность  $R$  (торец), то есть обработка идет с плавающим передним центром, который базирует деталь только в радиальном направлении. В осевом направлении деталь базируется по торцу. Технологическая база здесь совпадает с измерительной. Измерение размера  $A$  производится аналогичным путем.

После анализа вариантов базирования в соответствии с основными положениями, необходимо обработать партию деталей с базированием как по первому, так и по второму вариантам.

## Основные положения

Погрешность базирования имеет место при несовмещении измерительной и технологической баз заготовки, а при установке на охватывающую или охватываемую поверхность к погрешности базирования добавляется и погрешность, вызываемая зазором между установочной базой и установочным элементом [6].



На рис. 19 приведена деталь у которой требуется обработать поверхность М, обеспечивая размер А с допуском ТА, заданный конструктором. При этом удобно в качестве технологической базы использовать поверхность Р. Настройка фрезы в данном случае будет осуществляться на размер С с допуском ТС, а контроль размера А – от поверхности N, которая является измерительной базой.

В данном случае появляется погрешность базирования для размера А, равная допуску на размер С, величина которого устанавливается по справочникам, как средне-экономическая точность операции.

Таким образом, при заданной точности размера А и установленной точности размера С, согласно размерной цепи (рис. 19)  $TA = TC + TB$ , необходимо определить допуск размера В, при котором будет обеспечиваться допуск чертежного размера А.

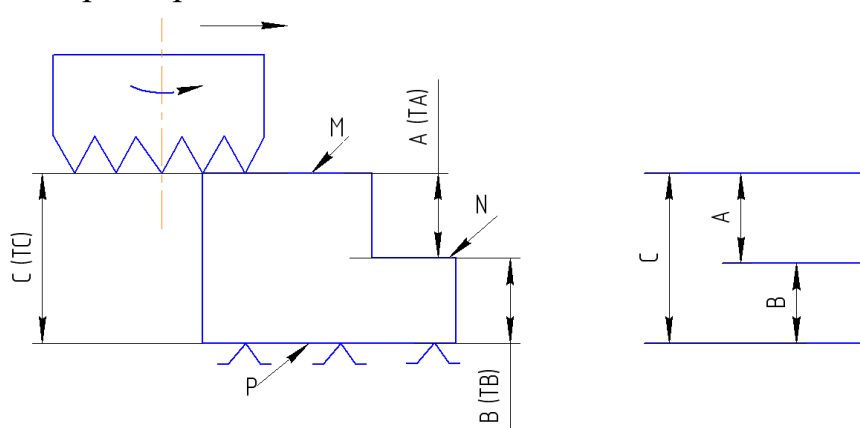


Рис. 19. Схема образования погрешности базирования при несовпадении технологической и измерительной баз

## Порядок выполнения работы

### Фрезерная операция

Определить допустимую погрешность базирования для размера А, задавшись по справочнику средне-экономической точностью операции ( $TA_3$ )

$$[\epsilon_6^A] = TA - TA_3.$$

#### Первый вариант базирования

1. Определить расчетную величину погрешности базирования для размера А.
2. Обработать партию из шести деталей с базированием их по поверхности К.
3. Замерить у всех деталей размеры А и С и определить поле их рассеивания ( $\omega_A$ ,  $\omega_C$ ).
4. Сравнить поле рассеивания размера С с допустимой и расчетной погрешностью базирования, а поле рассеивания размера А с его допуском.

Должны соблюдаться условия:

- а) если  $\omega C \leq [\varepsilon_6^A]$ , то  $\omega A \leq TA$ ;
- б) если  $\omega C > [\varepsilon_6^A]$ , то  $\omega A > TA$ .

#### *Второй вариант базирования*

1. Определить расчетную величину погрешности базирования для размера  $A$ .
2. Обработать партию из шести деталей с базированием отверстий по установочным пальцам.
3. Замерить у всех деталей размер  $A$  и определить величину поля его рассеивания.
4. Замерить величину фактического зазора ( $S_\phi$ ) в соединении отверстие – установочный палец.
5. Сравнить поле рассеивания размера  $A$  с его допуском, а фактический зазор ( $S_\phi$ ) с допустимой и расчетной погрешностью базирования.

#### *Токарная операция*

Определить допустимую погрешность базирования для размера  $A$ , задавшись по справочнику средне-экономической точностью операции ( $TA_3$ )

$$[\varepsilon_6^A] = TA - TA_3.$$

#### *Первый вариант базирования*

1. Определить расчетную величину погрешности базирования для размера  $A$  ( $\varepsilon_6^A$ ).
2. Обработать партию из шести деталей с базированием по жесткому переднему центру.
3. Замерить у всех деталей размер  $A$  и определить величину поля рассеивания.
4. Сравнить поле рассеивания размера  $A$  с данными чертежа и с величиной допуска ( $TA^{pac}$ ), определенного с учетом расчетной величины погрешности базирования

$$TA^{pac} = \varepsilon_{pac}^A + TA_3.$$

#### *Второй вариант базирования*

1. Определить расчетную величину погрешности базирования для размера  $A$ .
2. Обработать партию из шести деталей с базированием по плавающему переднему центру.
3. Замерить у всех деталей размер  $A$  и определить величину поля его рассеивания.
4. Сравнить поле рассеивания размера  $A$  с данными чертежа.

## Оформление отчёта

### Лабораторная работа № 5

1. Название, цель работы, задание.
2. Схема установки заготовки.
3. Расчет погрешностей базирования.
4. Результаты замеров деталей (табл. 9).

Таблица 9

Деталь		1	2	3	4	5	6	Поле рассеивания
Фрезерная операция								
Размер А и С при первом варианте базирования	А							
	С							
Размер А и зазор S при втором варианте базирования	А							
	S							
Токарная операция								
Размер А при первом варианте базирования								
Размер А при втором варианте базирования								

5. Сравнение аналитических и измеренных величин при различных способах базирования.

6. Заключение о точности выполнения размера А при различных способах базирования.

### Контрольные вопросы

1. Понятия базирования и базы.
2. Правило шести точек.
3. Что понимается под погрешностью базирования?
4. В чем заключается принцип совмещения баз?
5. Как определяется расчетная величина погрешности базирования?

## Лабораторная работа № 6 АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ ШТУЧНОГО ВРЕМЕНИ НА СВЕРЛИЛЬНОЙ ОПЕРАЦИИ

**Цель работы** – освоение методики расчета нормы штучного времени при выполнении станочных работ.

**Задание:**

- рассчитать режим резания и выполнить нормирование многопереходной операции обработки отверстия для условий крупносерийного и массового производства;
- определить фактическое время выполнения операции.

### Основные положения

Штучное время – интервал времени, равный отношению цикла технологической операции к числу одновременно изготавливаемых или ремонтируемых изделий [1, 6].

Цикл операции – промежуток календарного времени от начала до конца операции.

Штучное время состоит из следующих элементов

$$T_{шт} = t_o + t_v + t_{т.обс} + t_{орг.обс} + t_{п},$$

где  $t_o$  – основное время;

$t_v$  – вспомогательное время;

$t_{т.обс}$  – время технического обслуживания рабочего места;

$t_{орг.обс}$  – время организационного обслуживания рабочего места;

$t_{п}$  – время перерывов.

Основное время ( $t_o$ ) затрачивается на непосредственное изменение размеров, формы, физико-механических свойств или внешнего вида обрабатываемой заготовки.

При обработке отверстий мерным инструментом основное время определяется расчетным путем по формуле

$$t_o = \frac{L_p}{S \cdot n},$$

где  $L_p$  – расчетная длина обработки, мм (длина хода инструмента в направлении подачи);

$S$  – подача инструмента, мм/об;

$n$  – частота вращения инструмента, об/мин.

При автоматическом цикле обработки (рис. 20) расчетная длина обработки представляет собой сумму собственной длины обработки ( $l$ ), размера врезания инструмента в заготовку ( $l_{вр}$ ), путь подхода инструмента к заготовке для обеспечения работы инструмента в начале резания ( $l_{под}$ ) и размера схода (сбега) инструмента ( $l_{сх}$ )

$$L_p = l + l_{вр} + l_{под} + l_{сх} .$$

При «ручном» подводе инструмента к заготовке

$$L_p = l + l_{вр} + l_{сх} .$$

Значение величин  $l_{вр}$ ,  $l_{под}$ ,  $l_{сх}$ , берутся по нормативным таблицам [7].

Значение величины врезания ( $l_{вр}$ ) можно определить и расчетным методом:

– при сверлении отверстия стандартным сверлом

$$l_{вр} = 0,3d ,$$

где  $d$  – диаметр сверла;

– при зенкерования, развертывании

$$l_{вр} = t \cdot \text{ctg}\varphi ,$$

где  $t$  – глубина резания;  $\varphi$  – угол в плане.

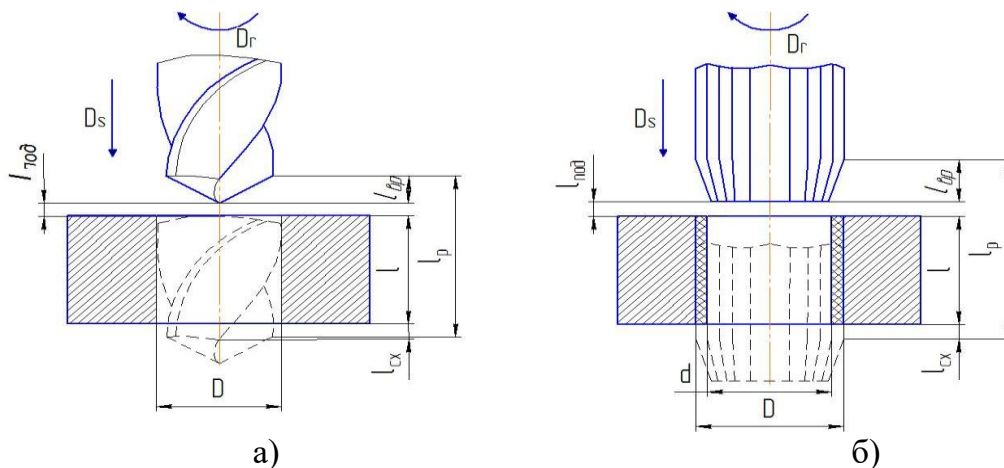


Рис. 20. Схемы для расчета длины обработки:

а – при сверлении; б – при зенкерования и развертывании

Вспомогательное время ( $t_{в}$ ) – время, затрачиваемое на различные действия, обеспечивающие выполнение элементов работы, относящихся к основному времени.

Определение вспомогательного времени заключается в установлении времени выполнения комплексных приемов: времени на установку и снятие детали, включение и выключение станка, на переключение режимов обработки в процессе выполнения операции, на контроль размеров детали.

Вспомогательное время может быть неперекрываемым и перекрываемым. Если вспомогательные работы выполняются не в процессе обработки, то такое вспомогательное время называется неперекрываемым. Если же часть вспомогательных работ производят в процессе выполнения основной работы, то эта часть вспомогательного времени называется перекрываемой.

Продолжительность вспомогательных действий, производимых при изготовлении детали и входящих в состав вспомогательного времени, определяется по нормативам. В табл. 10–16, которые являются фрагментами соответствующих таблиц [7], приведены затраты вспомогательного времени при выполнении элементов сверлильных операций.

Таблица 10

№ поз.	Установочная плоскость	Тип приспособления	Вес детали, кг, до			
			0,25	1,0	3	8
			Время, мин			
1	Горизонтальная	Закрытый (типа кондуктора)	0,09	0,1	0,12	0,15
2	Вертикальная		0,10	0,11	0,13	0,17

Таблица 11

№ поз.	Способ крепления	Количество зажимов	Вес детали, кг, до			
			0,25	1,0	8	20
			Время, мин			
1	Поворотной планкой и гайкой с помощью гаечного ключа	1	0,12	0,13	0,18	0,21
2		2	0,18	0,21	0,29	0,34
3		3	0,24	0,29	0,40	0,47

Таблица 12

№ поз.	Наименование приемов	Время, мин
1	Изменить чистоту вращения шпинделя, величину подачи	0,08

Таблица 13

№ поз.	Характер обработки	Вид подачи	Группа станков		
			I	II	III
			Наибольший диаметр просверливаемого отверстия, мм, до		
			12	25	30
			Время, мин		
1	Сверление по кондуктору, зенкерование, развертывание	Механическая	0,06	0,08	0,08
2		Ручная	0,04	0,05	0,05

Таблица 14

№ поз.	Наименование приемов	Время, мин
1	Поставить и снять кондукторную втулку при внутреннем диаметре втулки в мм до	20
		40
		Св. 40
		0,07
		0,09
		0,12

Таблица 15

№ поз.	Наименование приемов	Время, мин
1	Установить и снять инструмент в быстросменном патроне	Диаметр инструмента, мм до
		15
		25
		30
		0,05
		0,06
		0,09
		0,12

Таблица 16

№ поз.	Измерительный инструмент	Точность измерения	Измеряемый размер, мм до	Длина измеряемой поверхности, мм, до		
				25	50	100
				Время, мин		
1	Калибр-пробка гладкая двухсторонняя	11–12 кв. (4–5 кл.)	20	0,06	0,07	0,09
2			50	0,08	0,09	0,11
3		6–7 кв. (2–3 кл.)	25	0,10	0,11	0,14
4			50	0,12	0,13	0,16

Время обслуживания рабочего места ( $t_{т.обс} + t_{орг.обс}$ ) – смазывание оборудования, уборка и т.д. устанавливаются на основании нормативов и во многих случаях определяют в % к оперативному времени:

$$t_{обс} \approx (4...8\%) t_{оп};$$

$$t_{оп} = t_o + t_b.$$

Время на личные потребности ( $t_{п}$ ) – отдых, производственная гимнастика и т.д. регламентируются законодательством и определяются в % к оперативному времени. Для механических цехов

$$t_{п} \approx (2,5\%) t_{оп}.$$

### Порядок выполнения работы

1. Разработать план операции обработки отверстия в детали (рис. 21) и рассчитать режимы резания (приложение 4). Значения частоты вращения ( $n$ ) и подачи ( $S$ ) скорректировать по станку.

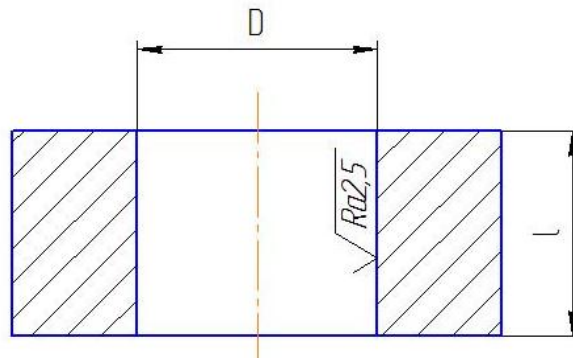


Рис. 21. Деталь

2. Рассчитать штучное время на операцию, используя основные положения данной работы.
3. Произвести обработку отверстия по принятой технологии и с помощью секундомера определить продолжительность операции.
4. Сравнить расчетные значения времени обработки с фактическими.
5. Оформить отчет.

### Оформление отчёта

#### Лабораторная работа № 6

1. Название, цель работы, задание.
2. Эскиз детали.
3. Эскизы переходов операции.
4. Расчет режимов резания.
5. Расчет штучного времени.
6. Результаты замера времени обработки.
7. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Что такое штучное время и как оно рассчитывается?
2. Какие приемы работы относятся к вспомогательным?
3. Что входит в состав времени на техническое и организационное обслуживание?
4. Что называют оперативным временем?
5. Как определяется время на техническое и организационное обслуживание и время на личные потребности?



## **Лабораторная работа № 7**

### **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА**

**Цель работы** – ознакомление со структурой и методикой разработки и оформления технологического процесса механической обработки.

**Задание:**

- по результатам анализа чертежа детали (рис. 22) и образцов деталей с каждой операции воспроизвести технологический процесс изготовления детали с указанием операционного эскиза, допусков и технических требований, оборудования для каждой операции;
- по образцам обработанных деталей определить припуски на обработку и сравнить их с расчетными;
- рассчитать минимальные припуски для каждой операции;
- по чертежу и образцам деталей оценить годность детали по размерам А, Б, В, Г, Д;
- оформить маршрутную карту и по указанию преподавателя – карту эскизов и операционную карту на одну операцию.

#### **Основные положения**

Порядок разработки технологического процесса включает в себя следующие основные этапы [8–10]:

- анализ исходных данных для разработки технологического процесса;
- выбор исходной заготовки и метода её изготовления;
- выбор технологических баз;
- составление технологического маршрута обработки детали;
- расчёт режимов резания и нормирование технологических операций;
- оформление технологической документации.

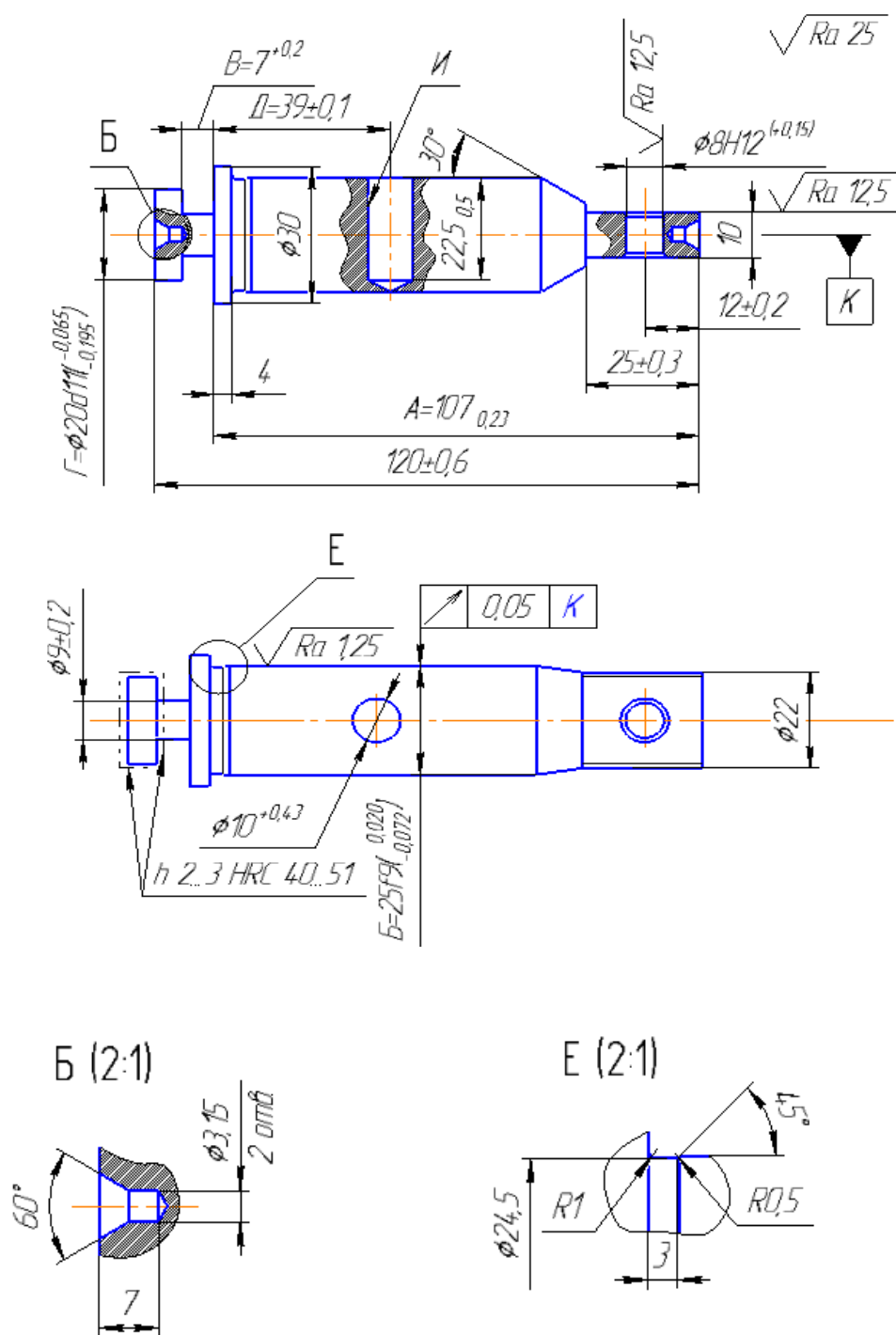
#### ***Анализ исходных данных для разработки технологического процесса***

При анализе исходных данных необходимо:

- ознакомиться с назначением детали в изделии и требованиями к её изготовлению;
- определить основные, вспомогательные и функциональные поверхности детали;
- отработать деталь на технологичность, так как в соответствии с ГОСТ 14.301-83 разработка технологического процесса производится для изготовления изделий, конструкции которых отработаны на технологичность.

Под технологичностью конструкции изделия понимают совокупность свойств конструкции, которые обеспечивают изготовление, ремонт и техническое обслуживание по наиболее эффективной технологии в сравнении

с аналогичными конструкциями при одинаковых условиях изготовления, эксплуатации, при одних и тех же показателях качества.



1 Допускается выход сверла при обработке отверстия И  
2 Н14, h14, IT14/2

Рис. 22. Чертеж вала

Применение эффективной технологии предполагает оптимальные затраты труда, материалов, средств и времени при технологической подготовке производства, в процессе изготовления, эксплуатации и ремонта.

При отработке на технологичность конструкции изделия необходимо анализировать общие требования к технологичности конструкции:

- конструкция детали должна состоять из стандартных и унифицированных конструктивных элементов;
- детали должны изготавливаться из стандартных или унифицированных заготовок;
- размеры и поверхности детали должны иметь соответственно оптимальные параметры точности;
- физико-химические и механические свойства материала, жёсткость детали, её форма и размеры должны соответствовать требованиям технологии изготовления, хранения и транспортировки;
- показатели базовой поверхности (точность, шероховатость) детали должны обеспечивать точность установки, обработки и контроля.

Цель обеспечения технологичности конструкции детали – повышение производительности труда и качества изделия при максимальном снижении затрат времени и средств на разработку, технологическую подготовку производства, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

### ***Выбор исходной заготовки и метода её изготовления***

При выборе заготовки необходимо стремиться к тому, чтобы форма и размеры её были максимально приближены к форме и размерам готовой детали. Для обработки такой заготовки понадобится минимальное число операций, минимальным будет и расход материала.

В качестве заготовок рекомендуется принимать следующие виды и методы получения:

- литьё (в земляные формы, в металлические формы, центробежное литье, литье под давлением, литье по выплавляемым моделям и т.д.);
- поковка (на молотах, на прессах, в открытых или закрытых штампах);
- прокат (периодический, профильный);
- порошковая металлургия (спекание металлических порошков под большим давлением и высокой температуре).

Выбор того или иного вида и метода получения заготовки определяется следующими факторами:

- технологической характеристикой материала детали, т.е. его литейными или пластическими свойствами;
- конструктивными формами и размерами детали;
- программой выпуска деталей;
- производственными возможностями заготовительных цехов (наличие соответствующего оборудования);

– временем, необходимым и располагаемым для подготовки производства.

### ***Составление технологического маршрута обработки детали***

Составление технологического маршрута обработки детали протекает в три этапа.

1. Разработка последовательности обработки поверхностей детали с одновременным выбором технологических баз.

2. Выбор способов обработки и определение количества необходимых переходов для обработки каждой поверхности детали.

3. Формирование операций и технологического маршрута обработки детали.

### ***Разработка последовательности обработки поверхностей детали***

Последовательность обработки поверхностей детали может быть различной, но необходимо учитывать общие рекомендации:

– начинать с черновой обработки поверхностей, имеющих наибольшие припуски. При этом в самую первую очередь снимается припуск с тех поверхностей, на которых возможны литейные раковины, трещины и другие дефекты, с целью скорейшего отсеивания возможного брака или устранения обнаруженных дефектов заваркой, наплавлением металла и т.д.;

– дальнейшая последовательность строится по принципу обработки сначала более грубых, а затем более точных поверхностей;

– в конце маршрута обрабатываются наиболее легко повреждаемые поверхности – наружные резьбы, шлифовальные и доведенные поверхности.

Установление последовательности обработки поверхностей всегда тесно связано с правильным выбором технологических баз. Желательно соблюдать два принципа, используемые при базировании деталей.

1. Принцип смещения (единства) баз, который заключается в том, что в качестве технологических баз следует принимать поверхности, которые одновременно являются конструкторскими и измерительными базами детали.

2. Принцип постоянства баз, заключающийся в том, что в качестве технологических баз при разработке технологического процесса необходимо стремиться использовать одни и те же элементы детали на различных операциях обработки.

Наметив последовательность обработки поверхностей детали, переходят к выбору способов обработки, определению количества переходов, необходимых для того, чтобы из заготовки получить готовую деталь.

### ***Выбор способов обработки и количества необходимых переходов***

При выборе способов обработки и количества переходов необходимо, в основном, учитывать программу выпуска деталей и технико-экономические показатели, характеризующие способ обработки, которые приведены в справочных таблицах [3] экономической точности обработки.

Желательно, чтобы одним и тем же способом обрабатывалось возможно большее количество поверхностей заготовки. Это дает возможность разрабатывать высокопроизводительные концентрированные операции с максимальным совмещением обработки отдельных поверхностей, сократить общее количество операций и установов, длительность цикла обработки.

### ***Формирование операций и технологического маршрута обработки детали***

Проектируя любой вариант операции, необходимо стремиться к снижению нормы времени, что достигается изменением основного ( $t_o$ ) и вспомогательного времени ( $t_b$ ). Время обслуживания рабочего места, а также время регламентированных перерывов берут в процентах от оперативного времени ( $t_{оп} = t_o + t_b$ ), и таким образом, от построения операций они непосредственно не зависят.

Основным источником снижения норм времени является такое построение операции, при котором возможно одновременное выполнение нескольких технологических переходов и совмещение во времени выполнения вспомогательных и технологических переходов.

Возможность совмещения во времени различных переходов зависит от схемы построения операции, которая характеризуется:

- числом заготовок, устанавливаемых для обработки (одноместные и многоместные схемы обработки);
- числом инструментов, участвующих в обработке (одноинструментальные и многоинструментальные схемы обработки);
- порядком обработки поверхностей заготовок инструментами (последовательная, параллельная, параллельно-последовательная обработка поверхностей).

При формировании операции необходимо осуществить выбор оборудования.

Технологический маршрут обработки детали учитывает спроектированные операции и принятую последовательность обработки поверхностей детали. Код операции принимается по "Классификатору технологических операций машиностроения и приборостроения".

## *Расчёт режимов резания и нормирование технологических операций*

Режимы резания для выполняемых операций определяются по эмпирическим формулам или с использованием технических нормативов [3]. После определения расчетной скорости резания и расчетной частоты вращения шпинделя необходимо принять, используя паспортные данные станка, фактическую частоту вращения, которая может быть установлена на станке, и фактическую скорость резания.

С учетом расчётной длины обработки, вида обработки и режимов резания, определяется машинное время обработки. По нормативам [7], определяется вспомогательное время, время обслуживания и перерыв с учетом которых рассчитывается штучное время (массовое производство) или штучно-калькуляционное время (серийное производство) на обработку.

### *Оформление технологической документации*

Завершающим этапом разработки технологического процесса является оформление комплекта технологических документов по правилам, установленным комплексом стандартов ЕСТД – единой системы технологической документации.

Комплектность технологических документов зависит от типа производства, которых по ГОСТ 14.004-83 установлено три – единичное, серийное и массовое. Им соответствует маршрутное, маршрутно-операционное и операционное описание технологического процесса.

В комплект документов для разработки операционного описания технологического процесса входят:

- титульный лист (ГОСТ 3.1105-84, форма 2);
- маршрутная карта (ГОСТ 3.1118-82, формы 1 и 1б);
- карта эскизов (ГОСТ 3.1105-84, формы 6 и 6а; 7 и 7а; 8 и 8а);
- операционная карта (ГОСТ 3.1404-86, формы 3 и 2а);
- операционная карта технического контроля (ГОСТ 3.1502-85, формы 2 и 2а).

При выполнении эскизов (на карте эскизов) к операциям необходимо учитывать рекомендации ГОСТ 3.1128-93 «Единая система технологической документации. Общие правила записи технической информации в технологических документах на технологические процессы и операции».

При оформлении операционных карт необходимо учитывать рекомендации ГОСТ 3.1129-93 «Общие правила записи технологической информации в технологических документах на технологические переходы и операции».

## Порядок выполнения работы

1. По образцам деталей с каждой операции воспроизвести технологический процесс изготовления детали.

2. Рассчитать минимальные припуски для каждой операции по формулам:

– при обработке поверхностей заготовки

$$z_{\min} = R_z^{\text{зар}} + h_{\text{зар}},$$

где  $R_z^{\text{зар}}$  – шероховатость поверхности заготовки, мм;

$h_{\text{зар}}$  – дефектный слой заготовки, мм;

– при обработке обработанной поверхности

$$z_{i \min} = R_{z_{i-1}},$$

где  $R_{z_{i-1}}$  – шероховатость поверхности, обеспечиваемая предшествующим методом обработки, мм.

3. По образцам деталей с каждой операции определить припуски на обработку и сравнить их с расчетными.

4. Оценить годность детали по чертежным размерам А, Б, В, Г и Д.

5. Оформить маршрутную карту, карту эскизов и операционную карту на одну операцию (операцию указывает преподаватель).

6. Оформить отчёт.

## Оформление отчёта

### Лабораторная работа № 7

1. Название, цель, задание.

2. Эскиз детали.

3. Технологический процесс изготовления детали (табл. 17).

Таблица 17

Номер и наименование операции	Операционный эскиз	Допуски и технические требования	Оборудование
00 Заготовительная			
05			
...			

4. Расчет минимального припуска на операциях.

5. Определение фактических припусков на обработку.

6. Результаты сравнения расчётных и фактических припусков.

7. Результаты замеров детали и заключение о годности детали.

8. Маршрутная карта, карта эскизов и операционная карта.

## Контрольные вопросы

1. Понятие технологического процесса, операции, перехода, рабочего хода.
2. Какие основные этапы необходимо выполнить при разработке технологического процесса?
3. Какие исходные данные необходимы для разработки технологического процесса?
4. Что понимается под технологичностью конструкции изделия?
5. Какие общие требования предъявляются к технологичности конструкции изделия?
6. Основные факторы, влияющие на выбор вида и метода получения заготовки.
7. Какие поверхности, в качестве баз, рекомендуется использовать на первой операции механической обработки?
8. Рекомендуемая последовательность обработки поверхности детали.
9. В чем заключается принцип совмещения (единства) баз?
10. В чем заключается принцип постоянства баз?
11. Что необходимо учитывать при выборе способов обработки поверхностей детали?
12. Чем характеризуются схемы построения операции?
13. Оформление операционного эскиза.
14. Что учитывается при выборе оборудования?
15. Как рассчитывается минимальный припуск на обработку?



## **МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

При выполнении лабораторных работ по дисциплине «Основы технологии машиностроения» необходимо соблюдать следующие основные требования техники безопасности.

1. Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ только после прохождения инструктажа по безопасности труда и пожарной безопасности в лаборатории в целом и на каждом рабочем месте. О прохождении инструктажа должна быть сделана соответствующая отметка в журнале лаборатории.

2. Работа в лаборатории без учебного мастера или преподавателя запрещена.

3. Приступая к работе на станке, необходимо убедиться в исправном действии его механизмов, наличии всех ограждений на опасных местах станка.

4. После установки заготовки и инструмента необходимо надежно их закрепить.

5. До начала работы необходимо привести в порядок одежду: застегнуть обшлага рукавов; заправить концы одежды так, чтобы не было развевающихся концов; убрать волосы под головной убор (женщинам следует полностью убрать волосы под берет или косынку, концы которой должны быть тщательно заправлены. При небрежно надетой одежде возникает опасность захвата ее вращающимися механизмами станка, приспособлением или обрабатываемой заготовкой.

6. При работе на станках необходимо надевать специальные очки.

7. При работе станка запрещается:

- снимать и открывать ограждения и предохранительные устройства;
- тормозить станок нажимом руки на вращающиеся части станка (обрабатываемую заготовку, приводной ремень и т.д.). Пользоваться надо только тормозным устройством;

- настройка и закрепление приспособлений;

- измерение деталей;

- смена режущего инструмента.

8. При работе на станках нельзя допускать выхода длинной стружки, необходимо своевременно удалять ее крючком.

9. Обязательно останавливать станок:

- при перерывах в подаче электроэнергии;

- уходя от станка даже на непродолжительное время;

- при неисправностях станка;

- для уборки, смазки станка, для измерения размеров обрабатываемой детали, для установки и съема заготовок и приспособлений.

10. О всех неисправностях в электросети и подводке к станку необходимо заявить учебному мастеру. Самостоятельное исправление категорически воспрещается.

11. О каждом несчастном случае необходимо срочно доложить учебному мастеру и преподавателю.

12. При выполнении лабораторных работ строго запрещается:

- работать на всех видах установок, станках, стендах, не относящихся к выполняемой работе, и находиться вблизи них;

- покидать помещение лаборатории в рабочее время без разрешения преподавателя.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Б.М. Базров. – М.: Машиностроение, 2005. – 736 с.
2. Солонин, И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения / И.С. Солонин. – М.: Машиностроение, 1972. – 216 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т./ А.М. Дальский, А.Г. Суслов, А.Г. Косилова и др.; под ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 1. – 912 с.
4. Колесов, И.М. Основы технологии машиностроения: учебник для машиностроительных вузов / И.М. Колесов. – М.: Машиностроение, 1997. – 357 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т./ А.М. Дальский, А.Г. Суслов, А.Г. Косилова и др.; под ред. А.М. Дальского. – 5-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 2. – 944 с.
6. Кулыгин, В.Л. Основы технологии машиностроения: учебное пособие для студентов вузов / В.Л. Кулыгин, И.А. Кулыгина. – М.: БАСТЕТ, 2011. – 168 с.
7. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. – М.: Машиностроение, 1974. – 136 с.
8. Технология машиностроения: учебник для вузов по специальности «Технология машиностроения» / Л.В. Лебедев, В.У. Мнацаканян, А.А. Погонин и др. – М.: Академия, 2006. – 527 с.
9. Виноградов, В.М. Технология машиностроения: введение в специальность: учебное пособие для вузов по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / В.М. Виноградов. – М.: Академия, 2006. – 175 с.
10. Суслов, А.Г. Технология машиностроения: учебник для вузов по направлениям «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / А.Г. Суслов. – М.: Машиностроение, 2007.– 429 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Значение функции Лапласа

$t$	$\Phi(t)$	$t$	$\Phi(t)$	$t$	$\Phi(t)$
0.0	0,0000	1,3	0,4032	2,6	0,4953
0.1	0,0398	1,4	0,4192	2,7	0,4965
0.2	0,0793	1,5	0,4332	2,8	0,4974
0.3	0,1179	1,6	0,4452	2,9	0,4981
0.4	0,1554	1,7	0,4554	3,0	0,4986
0.5	0,1915	1,8	0,4641	3,1	0,4990
0.6	0,2257	1,9	0,4713	3,2	0,4993
0.7	0,2580	2,0	0,4772	3,3	0,4995
0.8	0,2881	2,1	0,4821	3,4	0,4996
0.9	0,3159	2,2	0,4861	3,5	0,4997
1.0	0,3413	2,3	0,4893	3,6	0,4998
1.1	0,3643	2,4	0,4913	3,7	0,4999
1.2	0,3849	2,5	0,4938	3,8	0,4999

### Приложение 2

#### Значение функции распределения

$R/\sigma$	$F(R)$	$R/\sigma$	$F(R)$	$R/\sigma$	$F(R)$
0.0	0.0000	1.4	0.6246	2.8	0.9801
0.1	0.0050	1.5	0.6753	2.9	0.9850
0.2	0.0198	1.6	0.7219	3.0	0.9889
0.3	0.0440	1.7	0.7642	3.1	0.9918
0.4	0.0769	1.8	0.8021	3.2	0.9940
0.5	0.1175	1.9	0.8355	3.3	0.9957
0.6	0.1647	2.0	0.8646	3.4	0.9970
0.7	0.2173	2.1	0.8897	3.5	0.9978
0.8	0.2738	2.2	0.9110	3.6	0.9985
0.9	0.3330	2.3	0.9290	3.7	0.9989
1.0	0.3935	2.4	0.9439	3.8	0.9992
1.1	0.4539	2.5	0.9560	4.0	0.9997
1.2	0.5132	2.6	0.9660		
1.3	0.5704	2.7	0.9739		

## Приложение 3

### Методика определения режимов и сил резания при точении

#### 1. Исходные данные

Все детали обрабатываются на токарно-винторезном станке 1К62 (без охлаждения) при следующих условиях (табл. П.3.1).

Таблица П.3.1

Обрабатываемый материал	Материал режущей части резца	Требуемая стойкость $T^*$ , мин	Геометрия резца				Примечание
			$\varphi$	$\alpha$	$\gamma$	$r$ , мм	
Сталь 45 ( $\sigma_B=600$ Н/мм <sup>2</sup> )	Твердый сплав Т15К6	60	45°	8°	12°	1,0	Шероховатость поверхности $R_z \geq 10$
		90					
		120					

Примечания: 1. \* Стойкость задается преподавателем.

2. Глубина резания указана в порядке выполнения работы.

#### 2. Скорость резания

Скорость резания определяется по формуле [5]

$$V = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} S^{y_v}} K_v, \text{ м/мин,}$$

где  $C_v$  – коэффициент, характеризующий условия обработки;

$T$  – стойкость режущего инструмента;

$t$  – глубина резания, мм;

$S$  – подача, мм/об (выбирается из табл. П.3.2);

$m, x_v, y_v$  – показатели степени;

$K_v$  – общий поправочный коэффициент на скорость резания.

При наружном продольном точении коэффициент  $K_v$  представляет собой произведение из отдельных поправочных коэффициентов

$$K_v = K_{v1} K_{v2} K_{v3} K_{v4},$$

где  $K_{v1}$  – коэффициент, учитывающий механические свойства обрабатываемого материала;

$K_{v2}$  – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента и СОЖ;

$K_{v3}$  – коэффициент, учитывающий геометрию режущей части резца;

$K_{v4}$  – коэффициент, характеризующий состояние системы.

Значения показателей степени и коэффициентов, входящих в формулу скорости резания, определяются из табл. П.3.3 и П.3.4.

Частота вращения шпинделя определяется по формуле

$$n = \frac{1000V}{\pi D}, \text{ об/мин,}$$

где  $V$  – расчетная скорость резания, м/мин;

$D$  – диаметр детали, мм.

Полученные значения частоты вращения шпинделя и подачи корректируются. Выбирается ближайшее меньшее значение частоты вращения шпинделя и подачи по паспортным данным станка.

Таблица П.3.2

Шероховатость поверхности	Обрабатываемый материал	Радиус $r$ при вершине резца, мм		
		0,5	1,0	2,0
		Подача $S$ , мм/об		
$R_z40$	Сталь углеродистая и легированная	0,18...0,25	0,25...0,30	0,30...0,40
$R_z20$		0,10...0,11	0,11...0,16	0,15...0,25

Таблица П.3.3

Обрабатываемый материал	Материал режущей части резца	Характеристика подачи	Коэффициент и показатели степени			
			$C_v$	$x_v$	$y_v$	$m$
Сталь углеродистая ( $\sigma_B \leq 750$ Н/мм <sup>2</sup> )	Т15К6	$S \leq 0,70$	420	0,15	0,20	0,20
		$0,30 < S \leq 0,70$	350		0,35	
		$S > 0,70$	340		0,45	

Таблица П.3.4

Коэффициент	Значение коэффициента		
$K_{V1}$	$750/\sigma_B$		
$K_{V2}$	1,0		
$K_{V3}$	Главный угол в плане, $\varphi$		
	30°	45°	60°
	1,13	1,0	0,92
$K_{V4}$	0,5		

### 3. Силы резания

Тангенциальная составляющая силы резания определяется по формуле

$$P_z = C_{P_z} t^{X_{P_z}} S^{Y_{P_z}} K_{P_z},$$

где  $C_{P_z}$  – коэффициент, учитывающий условия обработки;

$X_{P_z}$  и  $Y_{P_z}$  – показатели степени;

$K_{P_z}$  – общий поправочный коэффициент.

Общий поправочный коэффициент представляет собой произведение из отдельных поправочных коэффициентов

$$K_{P_z} = K_{P1} K_{P2} K_{P3} K_{P4},$$

Продолжение приложения 3

где  $K_{P1}$  – коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал;

$K_{P2}$  – коэффициент, учитывающий материал режущей части инструмента и СОЖ;

$K_{P3}$  – коэффициент, учитывающий геометрию реза;

$K_{P4}$  – коэффициент, характеризующий состояние системы.

Все коэффициенты определяются из табл. П.3.5 и П.3.6.

Таблица П.3.5

Обрабатываемый материал	Подача $S$ , мм/об	Коэффициент и показатели степени		
		$C_{Pz}$	$X_{Pz}$	$Y_{Pz}$
Сталь углеродистая ( $\sigma_B \leq 750 \text{ Н/мм}^2$ )	$S \leq 0,75$	3000	1.0	0.75

Таблица П.3.6

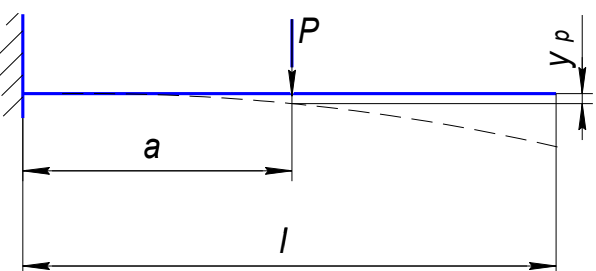
Коэффициент	Значение коэффициента		
$K_{P1}$	$(\sigma_B/750)^{0.35}$		
$K_{P2}$	1,0		
$K_{P3}$	Главный угол в плане, $\varphi$		
	30°	45°	60°
	1,08	1,0	0,98
$K_{P4}$	0,75		

Радиальная составляющая силы резания определяется по формуле

$$P_y = 0,4P_z.$$

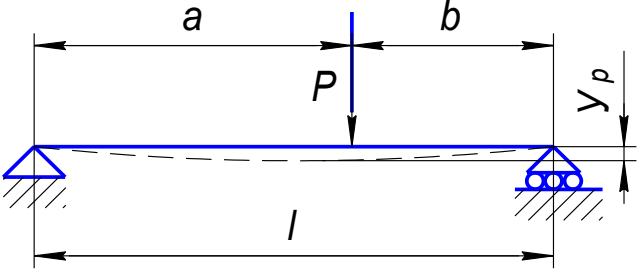
4. Расчетные схемы и формулы для определения величин прогиба балок (табл. П.3.7)

Таблица П.3.7

Расчетная схема	Формула для определения величины прогиба в точке приложения силы
	$y_p = \frac{Pa^3}{3EJ}$

Окончание приложения 3

Окончание табл. П.3.7

Расчетная схема	Формула для определения величины прогиба в точке приложения силы
 <p>The diagram shows a horizontal beam of total length <math>l</math>. The left end is supported by a pin support, and the right end is supported by a roller support. A downward force <math>P</math> is applied to the beam at a distance <math>a</math> from the left support and <math>b</math> from the right support. A dashed line represents the deflected shape of the beam, and the vertical displacement at the point of application of the force is labeled <math>y_p</math>.</p>	$y_p = \frac{Pa^2b^2}{3EI}$

Примечание:  $E = 2,1 \times 10^5$  (Н/мм<sup>2</sup>) – модуль упругости;

$J = 0.05 \times D^4$  (мм<sup>2</sup>) – момент инерции круглого сечения



## Приложение 4

### Методика определения режимов резания при сверлении, зенкеровании и развертывании отверстий

#### 1. Исходные данные (табл. П.4.1)

Таблица П.4.1

Инструмент	Обрабатываемый материал	Материал режущей части	Планируемая стойкость T, мин
Сверло	Сталь 45 $\sigma_B = 600 \text{ Н/мм}^2$	Быстрорежущая сталь	45
Зенкер			30
Развертка			40

2. Глубина резания при сверлении  $t = 0,5D$ , зенкерования и развертывания  $t = 0,5(D-d)$ , где  $D$  – диаметр инструмента,  $d$  – диаметр отверстия после обработки в мм.

3. Подача. Максимально допустимые подачи при сверлении, зенкерования и развертывании приведены в табл. П.4.2.

Таблица П.4.2

Диаметр инструмента D, мм	Сталь и стальное литье					
	$\sigma_B \leq 800 \text{ Н/мм}^2$			$\sigma_B > 800 \text{ Н/мм}^2$		
	Сверление	Зенкерование	Развертывание	Сверление	Зенкерование	Развертывание
До 2	0,05...0,06	–	–	0,04...0,05	–	–
Св. 2 до 6	0,08...0,18		0,8	0,06...0,12		0,8
Св. 6 до 10	0,18...0,28	0,5...0,6	0,9	0,13...0,21	0,5...0,6	0,9
Св. 10 до 15	0,25...0,35		1,0	0,19...0,26		1,0
Св. 15 до 20	0,34...0,43		1,1	0,25...0,32		1,1
Св. 20 до 25	0,39...0,47		–	0,29...0,35		–

Подачи корректируются по станку.

#### 4. Скорость резания рассчитывается по формуле

$$V = \frac{C_V D^{q_V}}{T^{m_t} S^{y_V}} K_V, \text{ м/мин.}$$

Значения постоянной  $C_V$  и показателей степени при обработке конструкционной углеродистой стали с твердостью  $\sigma_B = 750 \text{ Н/мм}^2$  приведены в табл. П.4.3.

Вид обработки	Материал режущей части	$S$ , мм/об	Коэффициент и показатели степени				
			$C_v$	$q_v$	$x_v$	$y_v$	$m$
Сверление	Р6М5	$\leq 0,2$	7,0	0,4	0	0,70	0,2
		$> 0,2$	9,8			0,50	
Зенкерование		0,5...0,6	16,3	0,3	0,2	0,50	0,3
Развертывание		0,8...0,9	10,5	0,3	0,2	0,65	0,4

Поправочный коэффициент на скорость резания ( $K_v$ ), учитывающий дополнительные условия резания, может быть в данном случае принят равным единице.

5. Частота вращения шпинделя станка

$$n = \frac{1000V}{\pi D}, \text{ об/мин,}$$

где  $V$  – расчетная скорость резания, м/мин;

$D$  – диаметр инструмента, мм.