

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Белгородский государственный  
технологический университет им. В.Г. Шухова»

Утверждено  
научно-методическим советом  
университета

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА**

Методические указания к выполнению лабораторных работ для студен-  
тов, обучающихся по направлению подготовки магистров 151900.68  
«Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
производств»

Белгород  
2012

УДК 621.01(075)  
ББК 34.5я7  
Т38

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор Белгородского технологического университета им. В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова) *В.А. Уваров*, кандидат технических наук, ведущий инженер проектного отдела ЗАО «Центрометаллург монтаж» *А.В. Колобов*

**Шрубченко, И.В.**

Т38      Технологическое обеспечение качества: лабораторный практикум / И.В. Шрубченко, Т.А.Дуюн. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 33 с.

Методические указания содержат лабораторные работы по технологическому обеспечению качества и предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров 151900.68 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств.

**УДК 621.01(075)**  
**ББК 34.5я7**

© Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2011

## Лабораторная работа № 1

### **Технологическое обеспечение точности при обработке поверхностей деталей машин резанием**

#### **Цель работы**

Определить аналитически и экспериментально факторы, оказывающие влияние на обеспечение точности при токарной обработке поверхностей деталей машин.

#### **Основные понятия**

При токарной обработке поверхностей в технологической системе (станок – приспособление – инструмент – заготовка) под действием силы резания происходят отжатия, величина которых во многом зависит от фактической жесткости отдельных элементов технологической системы. В результате отжатий происходит относительное смещение заготовки и вершины резца, что приводит к изменению фактического размера обрабатываемой поверхности, на некоторую величину  $u$  (рис. 1). Погрешность размера получаемой поверхности в данном случае будет равняться удвоенной сумме упругих отжатий в технологической системе [1]. Кроме того, из-за неравномерности отжатий по длине обработки, на поверхности может формироваться погрешность формы: бочкообразность, седловидность, конусность. Бочкообразность может возникать, если жесткость заготовки оказывается существенно ниже жесткости других элементов технологической системы, таким образом у заготовки со стороны передней и задней бабок станка будет осуществляться больший по величине съем припуска, чем в средней части заготовки (обработка длинных нежестких валов). Седловидность (вогнутость) может возникать, когда жесткость заготовки оказывается существенно выше жесткости остальных элементов технологической системы (обработка заготовок большого диаметра на нежестком оборудовании). Конусность с криволинейной образующей, например, может возникнуть, когда жесткость элементов технологической системы передней и задней бабок оказывается различной. Основной задачей для обеспечения точности при обработке является выравнивание жесткости технологической системы по всей длине обработки или снижение отжатий таким образом, чтобы их величина не позволяла получать размеры, выходящие за пределы допуска.

Таким образом, при обработке поверхности заготовки в некотором ее сечении А – А действительный диаметр  $d_\delta$  будет оказываться больше настроенного  $d_H$  [1]:

$$d_\delta^{A-A} = d_H^{A-A} + 2(y_{3.б}^{A-A} + y_{n.б}^{A-A} + y_{инст}^{A-A} + y_{заг}^{A-A}),$$

где  $y_{3.б}$  – величина отжатий элементов технологической системы со стороны задней бабки, мм;  $y_{n.б}$  – величина отжатий элементов технологической системы со стороны передней бабки, мм;  $y_{инст}$  – величина отжатий элементов технологической системы несущих обрабатывающий инструмент, мм;  $y_{заг}$  – величина отжатий заготовки, мм.

Величины упругих отжатий, возникающих в различных элементах технологической системы, кроме  $y_{инст}$ , являются переменными, т. е. изменяются по длине обработки заготовки. Их значения будут зависеть от технологических режимов обработки и жесткости технологической системы по длине обработки. Жесткостью  $j$  технологической системы называют способность этой системы оказывать сопротивление действию деформирующих сил [1].

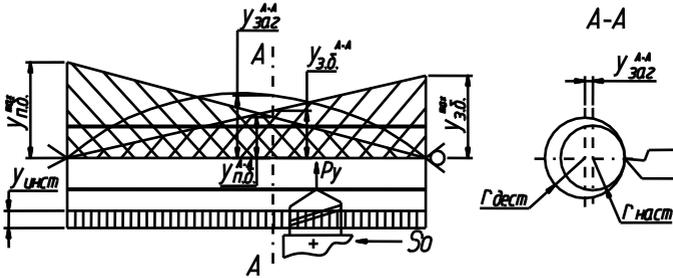


Рис. 1. Схема упругих перемещений технологической системы

По определению Л. П. Соколовского, жесткость технологической системы выражается отношением нормальной составляющей  $P_y$  силы резания к суммарному смещению  $y$  системы, измеренному в направлении нормали к обработанной поверхности:

$$j = P_y / y,$$

где  $j$  – жесткость технологической системы (табл. 2), Н/мм;  $P_y$  – нормальная составляющая силы резания, Н;  $y$  – суммарные отжатия в технологической системе, мм,

$$y = y_{см} + y_{np} + y_{инст} + y_{заг}.$$

Величину нормальной составляющей силы резания при токарной обработке можно определить по формуле

$$P_y = \frac{2430 \cdot t^{0,9} \cdot S_0^{0,6}}{V^{0,3}} \cdot K_p,$$

где  $t$  – глубина резания, мм;  $S_0$  – продольная подача, мм/об;  $K_p$  – поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания,

$$K_p = K_{M_p} \cdot K_{\varphi_p} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p} \cdot K_{r_p},$$

где  $K_{M_p} = \left( \frac{\sigma_s}{750} \right)^{1,35}$  – коэффициент, учитывающий прочность обрабаты-

ваемого материала,  $K_{\varphi_p}$  – коэффициент, учитывающий влияние главного угла в плане обрабатывающего инструмента,  $K_{\gamma_p}$  – коэффициент, учитывающий влияние главного переднего угла,  $K_{\lambda_p}$  – коэффициент, учитывающий влияние угла наклона главного режущего лезвия,  $K_{r_p}$  – коэффициент, учитывающий влияние радиуса закругления при вершине резца.

Снижение величины отжати в технологической системе возможно обеспечить за счет минимизации силы резания. Например, уменьшая глубину резания и подачу, можно существенно уменьшить и величину нормальной составляющей силы резания. Однако производительность обработки при этом может существенно снизиться, что для некоторых типов производств не будет приемлемо. Существенного снижения силы резания можно также добиться, изменяя геометрию режущего инструмента. При этом значения поправочных коэффициентов будут изменяться таким образом, что нормальная составляющая силы резания может изменяться примерно в четыре раза. Таким образом обеспечение заданной точности можно добиться как технологическими режимами, так и геометрическими параметрами инструмента.

Уменьшение отжати элементов технологической системы можно обеспечить также регулированием отдельных элементов станка (регулирование зазоров в подшипниках шпинделя; регулирование зазоров в направляющих каретки, поперечного и продольного суппортов), заменой приспособлений или их элементов (замена кулачков патрона, замена патрона, замена вращающегося центра и т.п.), уменьшением вылета резца, увеличением сечения державки, уменьшением количества регулировочных прокладок, устанавливаемых под резец и пр.

Величина отжати  $y_{заг}$  будет зависеть также и от способа установки заготовки для обработки на станке (табл.1) и ее можно определить по приведенным в этой таблице формулам [1, 2].

При обработке поверхностей деталей машин, погрешность формы дополнительно формируется по причине размерного износа инструмента. Особенно это актуально для обработки длинномерных поверхностей и особенно при чистовой обработке. Поэтому факторы, влияющие на интенсивность размерного износа требуют всестороннего изучения и анализа. Прежде всего, на величину размерного износа режущего ин-

струмента оказывает влияние длина пути резания. Но очевидно, что размерный износ в значительной степени будет зависеть и от условий обработки: свойств обрабатываемого материала заготовки, свойств материала режущей части инструмента.

### Условия выполнения работы

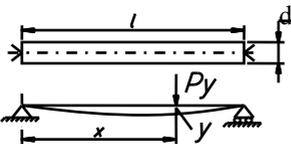
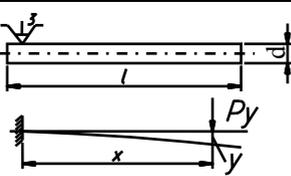
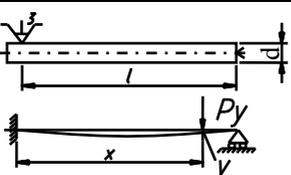
Лабораторная работа будет включать исследования: по технологическому обеспечению точности с учетом жесткости технологической системы и технологическое обеспечение точности с учетом размерного износа инструмента.

### Технологическое обеспечение точности с учетом жесткости технологической системы

В работе следует определить получаемую в результате обработки на токарном станке мод. 1А616 или 16К20, по одной из трех схем (табл. 1), погрешность формы поверхности.

Таблица 1

Схемы закрепления заготовок и формулы прогиба

Способ установки	Схемы установки заготовок и расчетные схемы	Формулы для определения величины отжатий
Заготовка установлена в центрах		$y = P_y \cdot \left[ \frac{(l-x)^2}{l^2 \cdot J_{нб}} + \frac{x^2}{l^2 \cdot J_{об}} + \frac{x^2 \cdot (l-x)^2}{3 \cdot E \cdot j \cdot l} + \frac{1}{J_{оп}} \right]$
Заготовка закреплена консольно в 3-х кулачковом патроне		$y = \frac{P_y}{3 \cdot E \cdot j} l_i^3; l_i = x$
Заготовка закреплена в патроне и поджимается центром		$y = P_y \cdot \left\{ \frac{x^3}{3Ej} \cdot \left[ 1 - \frac{x \cdot (3l-x)^2}{\frac{12Ej}{J_{об}} + 4l^3} \right] + \frac{1}{J_{оп}} \right\}$

*Примечание:*  $y$  – отжатия заготовки в обрабатываемом сечении, расположенном на расстоянии  $x$  от места закрепления, мм;  $E$  – модуль упругости материала заготовки, например, для стали  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа (Н/мм<sup>2</sup>);  $j$  – момент инерции сечения заготовки, для цилиндрической заготовки  $j = 0,05 \cdot d^4$ , мм<sup>4</sup>;  $P_y$  – нормальная составляющая силы резания, Н.

Размеры заготовки, выбираемой для опытов: диаметр  $d_3 = 13 \dots 20$  мм; длина  $l = 150 \dots 250$  мм; исходная погрешность формы заготовки в продольном сечении  $Td_3 = 0,05 \dots 0,1$  мм. Комплект режущих инструментов: резец проходной с пластинкой твердого сплава (геометрические параметры инструмента предварительно измеряют).

Для определения опытным путем погрешности формы обрабатываемой поверхности необходимо:

1. Измерить диаметр заготовки  $d_{3i}$  в нескольких сечениях, расположенных на равных расстояниях по длине заготовки.
2. Проточить поверхность, приняв режимы обработки в соответствии с нормативным справочником [ ] для данных условий обработки.
3. Измерить диаметры  $d_{oi}$  полученной в результате обработки поверхности в тех же сечениях, где они измерялись на заготовке.

*Примечание:* измерение диаметров необходимо осуществлять в трех различных положениях I-I, II-II, III-III (рис. 2). для каждого сечения. Для последующих расчетов следует вычислить среднее арифметическое значение диаметров для каждого сечения.

*Таблица 2*  
Сведения о жесткости элементов применяемого оборудования

Жесткость отдельных элементов лабораторного токарно-винторезного станка модели 16K20, Н/мм	
Передней бабки	$j_{nb} = 9750$
Задней бабки	$j_{zb} = 8700$
Элементов, несущих режущий инструмент	$j_{cyn} = 9300$

Погрешность для каждого сечения обработанной поверхности определяется как

$$\Delta y_i = 2t - (\bar{d}_3 - \bar{d}_{oi}), \quad (1)$$

где  $d_{3i}$  и  $d_{oi}$  – среднее значение диаметра заготовки и обработанной поверхности соответственно в  $i$ -ых сечениях.

Упругие отжатия, которые возникали при обработке можно определить как

$$y_i = \Delta y_i / 2. \quad (2)$$

Расчетную погрешность формы в продольном сечении можно вычислить с учетом зависимостей по табл. 1. Для этого следует:

1. Определить фактическую скорость резания, м/мин,

$$V = \pi d_3 \cdot n / 1000,$$

где  $d_3$  – наибольшее значение диаметра заготовки, полученное в результате предварительного измерения мм;  $n$  – частота вращения шпинделя, с которой производилась обработка заготовки, об/мин.

2. Вычислить нормальную (радиальную) составляющую силы резания для конструкционной стали, обрабатываемой твердосплавным инструментом, Н, [3]:

$$P_y = \frac{2430 \cdot t^{0,9} \cdot S_0^{0,6}}{V^{0,3}} \cdot K_p, \quad (3)$$

Физико-механические свойства для некоторых материалов и поправочные коэффициенты, учитывающие влияние геометрических параметров режущего инструмента приведены в табл. 3 [3].

Таблица 3

**Физико-механические свойства материалов и значения поправочных коэффициентов**

Обрабатываемый материал	Твердость, НВ	Прочность, $\sigma_B$ , МПа	Параметры резца		Поправочные коэффициенты	
			наименование	величина	обозначение	величина
1	2	3	4		5	
Сталь 3	159	380	главный угол в плане $\varphi^0$	45 60 90	$K_{\varphi p}$	1,00 0,77 0,50
Сталь 20	163	420	Передний угол $\gamma^0$	0 10	$K_{\gamma p}$	1,4 1,0
Сталь 30	179	500				
Сталь 35	207	540	Угол наклона гл. лезвия $\lambda^0$	-5 0 5	$K_{\lambda p}$	0,75 1,00 1,25
Сталь 40	217	580				
Сталь 45	229	610				
Сталь 40X	230	810				

3. Рассчитать величину отжатия  $y_{ip}$  для каждого  $i$ -го сечения обрабатываемой поверхности по формуле, соответствующей выбранной схеме установки (табл. 1).

Расчетная погрешность формы получаемой поверхности в продоль-

ном сечении для каждого,  $i$ -го сечения будет равна

$$\Delta y_{ip} = 2y_{ip}. \quad (4)$$

При этом диаметр формируемой поверхности окажется равным

$$d_{oip} = d_{zi} - 2 \cdot t + \Delta y_{ip} \quad (5)$$

Установить в резцедержатель станка режущий инструмент с другими геометрическими параметрами. Повторить опыты с применением режущих инструментов с углом  $\varphi^0$ , равным: 30, 45, 60 и 90; с углом  $\gamma^0$ , равным: 0, 5, 10; с углом  $\lambda^0$ , равным -5, 0, 5; с радиусом при вершине резца  $r$ , мм, равным 0,5, 1, 1,5.

Для одного из режущих инструментов выполнить серию опытов с изменением технологических режимов обработки: глубины резания и подачи.

#### **Технологическое обеспечение точности с учетом размерного износа инструмента**

Опыты проводят также на токарном станке. Заготовки стальные; обработка ведется проходными резцами с пластинками из быстрорежущей стали и твердосплавными пластинками с геометрией:  $r \approx 0,5$  мм и  $\gamma = 0..7^\circ, \alpha = 7..15^\circ, \varphi = 45^\circ, \varphi_1 = 15^\circ, \lambda = 0^\circ$ . Перед каждым опытом резец в течение 3-5 мин охлаждают в ванне с водой. Охлажденный резец устанавливают в специальное приспособление с микронным индикатором и плотно прижимают к опорам. Перед первым опытом закрепляется сам индикатор так, что его плоский наконечник касался бы вершины резца с натягом 0,1-0,2мм; стрелку индикатора выводят на ноль, рис.2.

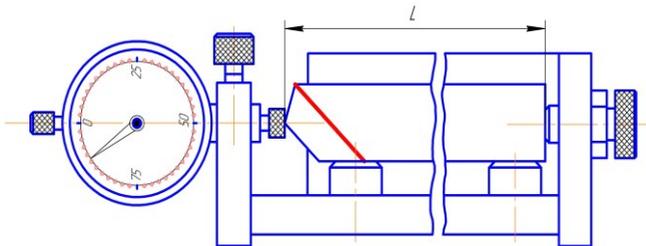


Рис. 2. Индикаторное устройство для измерения износа резца

Износ резца в процессе точения фиксируют по разности показаний индикатора (резец всякий раз должен быть охлажден).

После измерения резец устанавливают в резцедержатель так, что его ось была строго перпендикулярна оси центров станка.

Обработку производят с глубиной резания  $t=0,1...0,2$  мм и подачами  $S = 0,06...0,16$  мм/об.

Скорость резания  $v$ , (м/мин) устанавливают по общемашиностроительным нормативам и корректируют с учетом диапазона частот вращения шпинделя  $n_{cm}$ , (м/мин);

$$v = \pi d n_{cm} / 1000, \quad (6)$$

где  $d$  – диаметр обрабатываемой поверхности заготовки, мм (измерить).

Путь резания инструмента (резца), мм

$$L_p = \pi d L / 10^6 \cdot S \quad (7)$$

или

$$L_p = v \cdot t_0 / 10^3, \quad (8)$$

где  $L$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;  $S$  – подача, мм/об и  $t_0$  – время резания, мин

$$t_0 = L / n_{cm} \cdot S \quad (9)$$

или

$$t_0 = 10^3 L_p / v. \quad (10)$$

Длина обработки, мм

$$L = 10^6 L_p S / \pi d. \quad (11)$$

### **Последовательность выполнения работы Технологическое обеспечение точности с учетом жесткости технологической системы**

1. Подготовить бланк отчета к работе.
2. Установить режущий инструмент в резцедержатель станка, предварительно измерив его геометрические параметры и внести их в отчет.
3. Установить и закрепить заготовку по одной из трех схем, выбранных для исследования (табл. 1).
4. Измерить длину заготовки под обработку, разделить ее на 8 – 10 одинаковых участков от торца закрепления в передней бабке и маркером нанести метки сечений. Величины длин нанести на эскиз и пронумеровать сечения 1, 2, 3, ...  $n$ , начиная с правого торца.
5. Микрометром измерить диаметры заготовки в трех положениях для каждого из сечений и значения внести в таблицу отчета. Вычислить среднее арифметическое значение диаметров, внести в таблицу.
6. По общемашиностроительным нормативам установить режимы

обработки [], скорректировав их с паспортными данными станка. Установить выбранные режимы на станке.

7. Обработать заготовку, снять и охладить.
8. Выполнить измерения обработанной поверхности по пп. 4, 5. Результаты внести в таблицу отчета.
9. Вычислить для каждого сечения обработанной поверхности фактическую погрешность обработки  $\Delta y_i$  и упругие отжатия  $y_i$  – по формулам (1) и (2). Результаты внести в таблицу отчета.
10. Определить фактическую скорость резания  $V$  и нормальную составляющую  $P_y$  силы резания по формуле (3).
11. Вычислить упругие отжатия  $y_{ip}$  и расчетную погрешность обработки  $\Delta y_i$  по формуле (4). Определить диаметр  $d_{oip}$  поверхности по формуле (5). Результаты внести в таблицу отчета.
12. Установить режущий инструмент с другими геометрическими параметрами (в соответствии с заданием) и последовательно серию опытов повторить.
13. Для одного из режущих инструментов выполнить серию опытов с изменением технологических режимов обработки.
14. Проанализировать полученные результаты, построить графики зависимости получаемой погрешности обработки от геометрических и технологических параметров и сделать выводы.
15. Исследовать элементы технологической системы на предмет повышения их жесткости и предложить мероприятия по их реализации.

### **Технологическое обеспечение точности с учетом размерного износа инструмента**

Вначале исследуют зависимость  $U = f_1(L_p)$  для чего:

1. Включают настроенный станок и обрабатывают заготовку со скоростью резания  $v=120-150$  м/мин. Через 2 мин после начала опыта (время работы фиксируют секундомером) резец отводят и станок выключают. Резец снимают, охлаждают, измеряют величину размерного износа  $U$  и снова устанавливают в резцедержатель. Результаты измерений вносят в табл.5.
2. Повторяют перечисленные в п.1 приемы для всех заданных в табл.8 интервалов времени.
3. Для каждого интервала времени подсчитывают по формуле (8) и заносят в табл. 5 путь резания  $L_p$ .

Первая часть опытов закончена. Далее исследуют зависимость  $U = f_2(v)$  для чего:

4. Включают станок и обрабатывают заготовку со скоростью резания  $v=20$  м/мин. После прохождения резцом пути  $L_p = 1$  км резец отводят и станок останавливают. Необходимый момент прекращения резания определяют либо по времени резания – формула (10), либо по длине обработки – формуле (11). Резец снимают, охлаждают, измеряют величину размерного износа  $U$  и снова устанавливают в резцедержатель. Результаты измерений вносят в табл. 6.

5. Повторить приемы п.4 для скорости резания 40, 80, 120 и 150 м/мин.

6. Если путь резания выбран отличный от  $L_p=1$  км, то подсчитывают относительный износ  $U_0 = U_i / L_p$ .

### Содержание отчета

Название работы.

Цель работы.

#### Технологическое обеспечение точности с учетом жесткости технологической системы

1.Оборудование и оснащение: станок, приспособления, комплект режущих инструментов с геометрическими параметрами  $\varphi$ ,  $\gamma$ ,  $\lambda$  и  $r$ , измерительные инструменты, заготовка (вид или тип).

2. Материал заготовки: марка, твердость, предел прочности.

3. Нормирование режимов обработки:  $t$ ,  $S_0$ ,  $n$ ,  $V$ .

4. Расчетная схема обработки заготовки на станке.

5. Расчет нормальной составляющей  $P_y$  силы резания.

6. Таблицы результатов измерений и вычислений для серии опытов с различными геометрическими и технологическими режимами (по табл. 4).

7. Пример расчетов по формулам для сечения с наибольшей деформацией:

$$d_{zi} = ; d_{di} = ; \Delta y_i = ; y_i = ; y_{ip} = ; \Delta y_{ip} = ; d_{dip} =$$

8. Графики зависимости погрешности обработки от геометрических и технологических параметров.

9. Результаты обследования элементов технологической системы на предмет повышения их жесткости и мероприятия по их реализации.

10. Выводы.

Таблица 4

Наименование параметров, мм			Номера сечений по схеме				
			1	2	3	...	<i>n</i>
Длина участка		$x_i$					
Диаметр заготовки	сеч. I-I	$d_{zi}$					
	сеч. II-II						
	сеч. III-III						
	средний	$\bar{d}_{zi}$					
Диаметр детали	сеч. I-I	$d_{oi}$					
	сеч. II-II						
	сеч. III-III						
	средний	$\bar{d}_{oi}$					
Фактическая погрешность		$\Delta y_i$					
Фактические отжатия		$y_i$					
Расчетные отжатия		$y_{ip}$					
Расчетная погрешность		$\Delta y_{ip}$					
Расчетный диаметр детали		$d_{oip}$					

### Технологическое обеспечение точности с учетом размерного износа инструмента

1. Наименование, модель и характеристика станка.
2. Сведения о заготовке (детали): размеры, марка материала, прочность.
3. Геометрия резца, материал режущей части и характеристика заточки и доводки.
4. Режимы резания:  $t, S, v$ .
5. Данные об измерительном приборе и схема измерения размерного износа.
6. Зависимость размерного износа от пути резания в табл. 5.
7. Зависимость относительного износа от скорости в табл. 6.

Таблица 5

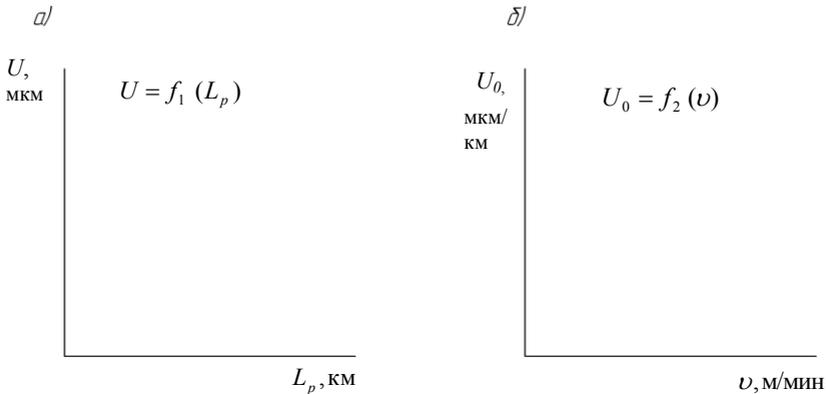
Параметры	Время работы резца от начала опыта, мм					
	0	2	5	10	20	40
Путь резания от начала опыта $L_p$ , км						
Размерный износ резца $U$ , мкм						

Таблица 6

**Зависимость относительного износа инструмента от скорости**

Параметры	Скорость резания $v$ , м/мин				
	20	40	80	120	150
Время резания $t_0$ , мин					
Относительный износ $U_0$ , мкм/м					

8. Графическая зависимость между переменными.



9. Обработка графика *a)* сводится к линейной аппроксимации функции  $U_1 = f_1(L_p)$  на участке нормального износа. Коэффициенты  $U_H$  и  $U_0$  для уравнения  $U = U_H + U_0 L_p$ , при обработке экспериментальных данных по методу наименьших квадратов, определяются решением системы, данные для которой принимаются по табл. 7, составленной по материалам табл. 5 и 6.

$$\left. \begin{aligned} nU_H + U_0 \sum_1^n L_p &= \sum_1^n U_i \\ U_H \sum_1^n L_p + U_0 \sum_1^n L_p^2 &= \sum_1^n L_p U_i \end{aligned} \right\}$$

10. Для графика *б)* определяется среднее значение относительного износа  $U_0 = \sum_1^n U_0 / n$ . Можно также, пользуясь программой «Износ 2» с помощью ЭВМ определить зависимость размерного износа  $U$  от време-

ни работы  $t$  и скорости резания  $v$  (используются данные табл. 7) выраженную эмпирической формулой  $U = Ct^k \cdot v^m$  ( $C$ ,  $k$  и  $m$  – эмпирические коэффициент и показатели степеней) по которой, приняв  $t_0 = 1$  построить теоретическую (расчетную) кривую  $U = f_2(v)$ .

11. Расчетные значения  $U_0$  (п.9) и среднее значение  $U_0$  (п.10) следует сравнить с рекомендуемыми для подобных условий в технической литературе (см. выше).

Таблица 7

**Зависимость размерного износа инструмента от времени работы и скорости резания**

$t_0$ , мин	$L_{pi}$ , км	$L_{pi}^2$ , км <sup>2</sup>	$U_i$ , мкм	$U_i P_{pi}$
0				
2				
5				
10				
20				
40				
–	$\sum_1^n L_{pi} =$	$\sum_1^n L_{pi}^2 =$	$\sum_1^n U_i =$	$\sum_1^n U_i P_{pi} =$

**Контрольные вопросы**

1. Что в технологии машиностроения понимают под жесткостью технологической системы, каково ее математическое выражение?
2. Что называют податливостью системы СПИД, как она связана с жесткостью, какую имеет размерность?
3. Какими факторами определяется жесткость задней бабки  $j_{з.б.}$ ?
4. От чего зависят жесткость шпиндельной бабки  $j_{ш.б.}$  и суппорта  $j_c$ ?
5. Каковы ориентировочно численные значения жесткостей различных узлов токарных станков? По каким правилам суммируют жесткости отдельных узлов с целью определения жесткости всей системы?
6. Меняется ли жесткость системы при перемещении резца вдоль обрабатываемой поверхности в процесс точения с постоянной глубиной резания.
7. Как влияют на жесткость размеры заготовки (длина, диаметр) и характеристики ее материала (твердость  $HB$ , прочность  $\sigma_b$ , модуль упругости I рода  $E$  [для стали  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа])?
8. Какие силы доминируют в образовании упругих отжатый системы СПИД, влияющих на точность обработки, от чего они зависят, как определяют или рассчитывают их величину?

9. Как объясняется явление копирования погрешностей заготовки на деталь, что понимают под коэффициентом уменьшения погрешностей и уточнением?

10. В чем сущность механизма образования погрешностей обработки, связанных с жесткостью технологической системы?

11. Какими методами добиваются наивысшей точности обработки?

12. Может ли жесткость системы СПИД оказывать влияние на производительность обработки. Если да, то как?

13. Какое влияние оказывает жесткость на виброустойчивость системы?

14. Что понимают под заданной, фактической и остаточной глубиной резания?

15. Как влияет на точность обработки изменения величины радиальной составляющей сил резания ( $P_y$ ) при неизменной жесткости системы?

16. Какими способами можно повысить или изменить жесткость технологической системы?

17. Каковы основные причины, вызывающие износ инструмента: какие из них влияют в большей степени, а какие – в меньшей?

18. Какова зависимость размерного износа от пути резания?

19. Что называют начальным износом  $U_n$ ? Какова его продолжительность, можно ли ее сократить?

20. Как влияет на стойкость инструмента качество заточки режущих кромок, какие на этот счет существуют рекомендации?

21. Что называют нормальным износом, как долго он длится, от чего зависит?

22. Что такое относительный (удельный) износ  $U_o$ , в каких единицах исчисляется? Чему равно среднее его значение при обработке сталей и чугуна?

23. Как влияют на величину  $U_o$ : свойства обрабатываемого материала (прочность  $\sigma_s$ , твердость  $HB$ , структура); материал и геометрия заточки инструмента (углы  $\gamma, \alpha, \lambda$ ), жесткость технологической системы СПИД, элементы режимов резания:  $t, S, v$  и пр.?

24. Какое влияние на износ оказывают СОЖ?

25. Как влияет на стойкость инструмента динамика процесса резания?

26. По каким формулам в общем случае рассчитывают погрешности связанные с износом инструмента при точении, фрезеровании, протягивании и др.?

27. Какому закону (математической статистики) чаще всего подчиняется рассеивание размеров деталей, связанное с размерным износом инструментов?

28. В каких случаях погрешности, связанные с износом инструмента в большей степени влияют на точность выполняемых размеров и в каких случаях приводят к образованию погрешностей формы (какой)?

29. Что общего в порядке выполнения экспериментов по исследованию зависимости износа от пути резания  $U = f_1(L_p)$  и зависимости износа от скорости резания  $U = f_2(v)$ .

30. Какова ориентировочная длительность каждого из экспериментов, отмеченных в п.1?

31. Вспомните общие правила аппроксимации элементарными функциями эмпирических зависимостей.

32. В чем сущность метода наименьших квадратов и как он применяется для обработки экспериментальных данных.

## Лабораторная работа №2

### Технологическое обеспечение качества поверхности при обработке резанием

#### Цель работы

Исследовать зависимость шероховатости обрабатываемой поверхности детали от режимов резания и геометрических параметров режущего инструмента.

#### Основные понятия

Долговечность, надежность, прочность и другие эксплуатационные свойства деталей машин зависят от качества поверхностного слоя, которое характеризуется шероховатостью поверхности и физико-механическими свойствами.

Реальная поверхность, образованная в процессе изготовления детали, представляет собой сочетание выступов и впадин с различными шагами. Совокупность неровностей поверхностей с относительно малыми шагами на базовой длине называется шероховатостью поверхности [5].

Шероховатость поверхности, образованная резанием, представляет собой в первом приближении след режущего инструмента. По отношению к направлению движения инструмента различают поперечную и продольную шероховатость поверхности. Профиль поверхности, обра-

зованный и измеренный в направлении подачи, называется поперечной шероховатостью, а в направлении главного движения инструмента – продольной [1].

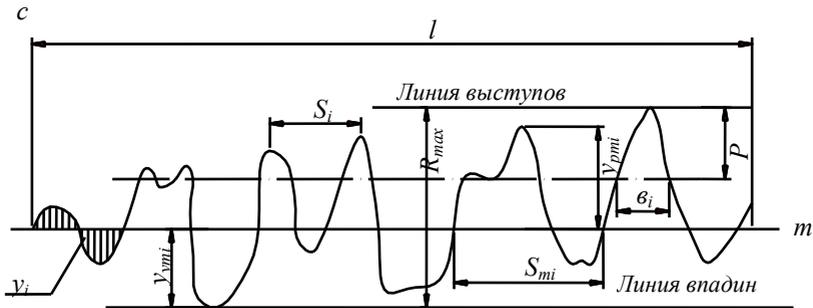


Рис. 3. Схема микропрофиля шероховатости поверхности

Поперечная шероховатость, в большинстве случаев, значительно превышает продольную. Поэтому при оценке шероховатости поверхности, на практике ограничиваются измерением поперечной шероховатости. По государственному стандарту шероховатость поверхности характеризуется двумя группами параметров, при помощи которых количественно оценивается микропрофиль в пределах базовой длины  $l$  [1, 4, 5]. К ним относятся следующие параметры (рис. 3):

а) высотные:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $R_a$  – среднее арифметическое отклонение профиля, мкм;

$$R_z = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |y_{pmi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}| \right),$$

где  $R_z$  – высота неровностей профиля по десяти точкам, мкм;  $R_{max}$  – наибольшая высота неровностей, мкм.

б) шаговые:

$S_m$  – средний шаг неровностей, мм

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi};$$

$S$  – средний шаг местных выступов профиля, мм

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i;$$

$t_p$  – относительная опорная длина профиля

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n \epsilon_i,$$

где  $p$  – значение уровня сечения профиля.

Стандарт распространяется на шероховатости поверхностей с интервалами числовых значения параметров:  $R_a = 100 \dots 0,008$  мкм;  $R_z = R_{max} = 1600 \dots 0,025$  мкм;  $l = 25 \dots 0,01$  мм.

На шероховатость поверхности оказывают непосредственное влияние режимы обработки, используемый инструмент (особенно геометрия его режущей части), оборудование, наличие вибраций, применяемые СОЖ и другие факторы. В настоящей работе акцент сделан на исследование шероховатости поверхности обработанной точением в зависимости от технологических режимов и геометрии режущего инструмента. Изменение подачи  $S_0$ , углов в плане  $\varphi$  и  $\varphi_1$ , радиуса закругления вершины реза  $r$  и других параметров влечет за собой изменение, как высоты, так и формы неровностей поверхности.

При точении резец за один оборот заготовки перемещается на величину подачи  $S_0$ , мм/об, образуя неровную поверхность в виде гребешков (рис. 4). Величина и форма неровностей поверхности зависят от подачи  $S_0$  и формы режущего инструмента.

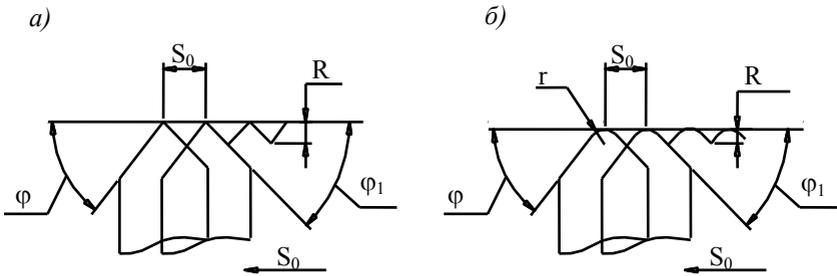


Рис. 4. Схема образования шероховатостей поверхности

Как видно из рис. 4, с увеличением подачи величина шероховатости поверхности увеличивается. Существенное влияние на шероховатость поверхности оказывает геометрия реза – величина вспомогательного угла в плане  $\varphi_1$  и радиуса закругления вершины реза  $r$ . Из геометрических построений [2], не принимая во внимание такие факторы, как пластическая деформация обрабатываемого материала в зоне резания, вибрация, износ инструмента и другие, величину шероховатости поверхности приближенно можно рассчитать по следующим формулам, мкм:

$$1) r = \text{const}, S \rightarrow R_p \approx \frac{S^2}{32 \cdot r} \cdot 10^3; \quad (12)$$

$$2) r = 0, \varphi \text{ и } \varphi_1 \rightarrow R_p \approx S \frac{\text{tg} \varphi \cdot \text{tg} \varphi_1}{\text{tg} \varphi + \text{tg} \varphi_1} \cdot 10^3; \quad (13)$$

$$3) S = \text{const}, r \rightarrow R_p \approx \left( r - \frac{\sqrt{4r^2 - S^2}}{2} \right) \cdot 10^3; \quad (14)$$

где  $R_p$  – расчетная высота неровностей профиля, мкм;  $S$  – подача, мм/об;  $r$  – радиус закругления вершины резца, мм;  $\varphi$  – главный угол в плане резца, град;  $\varphi_1$  – вспомогательный угол в плане резца, град.

Шероховатость поверхности можно оценить двумя методами: визуально, сравнивая с эталонами, и измерением на приборах.

Визуальный метод используется для поверхностей с шероховатостью  $R_a \geq 2,5$  мкм, когда не требуется точность. Для ответственных поверхностей применяется различного вида приборы, основанные на использовании контактного и бесконтактного методов измерения. Например, профилометры модели 240, «Калибр–201», микроскопы МИС–11, МИН–10 и др.

### Условия выполнения работы

Работа выполняется на токарном станке. Вид обработки – продольное точение. Обрабатываемая деталь – вал, разделенный канавками на участки (10–12) одинакового диаметра. Диаметр участка  $d = 25 \dots 40$  мм, длина участка  $l = 15 \dots 20$  мм (рис. 5).

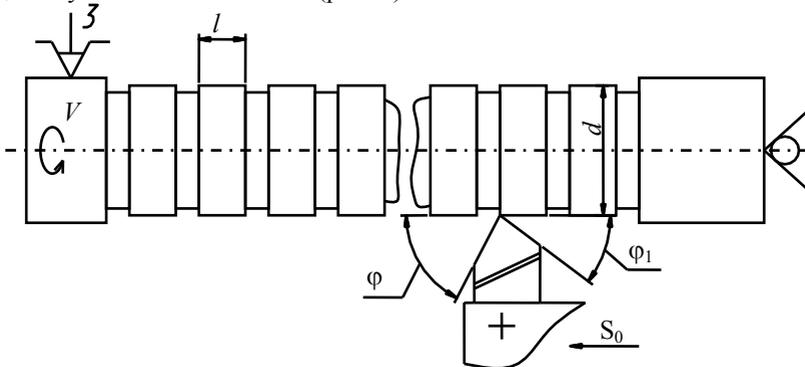


Рис.5. Схема обработки детали

Работа выполняется в последовательности:

1. При постоянной скорости резания, равной 50...120 м/мин,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  и  $r$  произвести обточку трех-четырех участков вала с различными продольными подачами  $S_0$  в пределах 0,1...0,6 мм/об.

2. При постоянной продольной подаче, равной 0,4...0,6 мм/об,  $\varphi$  и  $\varphi_1$  произвести обработку следующих трех участков вала с различными радиусами закругления вершины резца  $r$ , равными 0,5, 1, 2 и 4 мм.

3. При постоянной продольной подаче, равной 0,2 ... 0,4 мм/об,  $\varphi$  и  $r$  произвести обработку следующих четырех участков вала с различными вспомогательными углами в плане резца  $\varphi_1$ , равными 15°, 30°, 45° и 75°.

4. При постоянной продольной подаче, равной 0,2 ... 0,4 мм/об,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$ ,  $r$  и глубине резания произвести обработку следующих четырех участков вала с различными значениями скорости резания 25, 75, 150 и 200 м/мин.

5. При постоянной продольной подаче, равной 0,2 ... 0,4 мм/об,  $\varphi$ ,  $\varphi_1$  и  $r$  произвести обработку следующих четырех участков вала с различными значениями глубины резания 0,25, 0,5, 0,75 и 1 мм.

Глубина резания в опытах 1 – 4 принимается для всех участков постоянной –  $t = 0,8...1$  мм. Скорость резания во втором, третьем и пятом случаях та же, что и в первом.

Результаты измерения шероховатости всех обработанных поверхностей и все параметры режимов резания и геометрии резцов внести в табл. 8. Рассчитать величину шероховатости для обработанных поверхностей по формулам (12)...(14), подставив соответствующие данные из таблицы. Результаты расчетов внести в табл. 8.

### Последовательность выполнения работы

1. Подготовить бланк отчета к работе.
2. Измерить геометрические параметры используемых резцов и внести в таблицу отчета.
3. Произвести измерения размеров заготовки и нанести на эскиз.
4. Выбрать режимы обработки и произвести расчет частоты вращения обрабатываемого вала. Полученные значения внести в таблицу отчета.
5. Наладить токарный станок по принятым режимам на соответствующую обработку.
6. Обточить последовательно поверхности участков вала по указанным схемам обработки.
7. Измерить шероховатость обработанных поверхностей на приборе и определить расчетами. Результаты внести в таблицу отчета.

8. Построить графики зависимости шероховатости поверхности от изменяемых факторов по результатам опытов и расчетов.
9. Проанализировать полученные результаты и сделать выводы.
10. Составить отчет.

### Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Оборудование, оснастка, режущий и мерительный инструменты.
4. Эскиз детали с указанием размеров и обрабатываемого материала (по рис.5).
5. Таблица с геометрическими параметрами режущего инструмента, режимами обработки, результатами шероховатости поверхностей измеренными и рассчитанными. Оформляется по форме табл. 8.

Таблица 8

#### Результаты измерений и вычислений

Номер опыта	d, мм	Геометрия инструмента			Режимы обработки			Шероховатость поверхности, мкм			
		φ, град	φ <sub>1</sub> , град	r, мм	t, мм	S <sub>0</sub> , мм/об	n, об/мин	v, м/мин	действ.	расчет.	
									R <sub>a</sub>	R <sub>p</sub>	
1	45	45	0,5								
2											0,1
3											0,2
4											0,4
5	45	45	0,5								
6			1,0								
7			2,0								
8			4,0								
9	45	15	0,5								
10		30									
11		45									
12		75									

6. Расчеты шероховатости поверхности по формулам (12) – (14).
7. Графики зависимости действительных (R<sub>a</sub>) и расчетных (R<sub>p</sub>) величин шероховатости поверхности от исследуемых технологических и геометрических параметров.
8. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Что представляет собой каждый параметр шероховатости по ГОСТ 2789-73 (пояснить на эскизе)?
2. Как при точении и строгании влияют на шероховатость подача  $S$ , главный  $\varphi$  и вспомогательный  $\varphi_1$  углы в плане резца, радиус закругления режущей кромки  $r$  и прочие факторы образования шероховатостей?
3. Какое влияние на шероховатость поверхности оказывают свойства обрабатываемого материала: вязкость, хрупкость, прочность и твердость?
4. Как влияют на шероховатость глубина  $t$  и скорость резания  $V$ ?
5. Какие значения  $t$ ,  $S$ ,  $V$  наиболее благоприятствуют получению поверхностей наивысшей чистоты при обработке стальных деталей?
6. Каким образом шероховатость влияет на контактную жесткость и несущую способность поверхностей деталей?
7. Как зависят от шероховатости поверхностей прочность пресовых соединений, коэффициент трения и характер износа трущихся пар?
8. Как влияет шероховатость поверхности на циклическую и ударную прочность деталей, на коррозионную стойкость их поверхностей?
9. Как назначают шероховатость на ответственные поверхности деталей машин, что понимают под оптимальной шероховатостью?
10. Какое влияние на рельеф поверхности оказывают колебания и вибрации системы СПИД, возникающие в процессе обработки?
11. Какие контрольно-измерительные инструменты, приборы и приспособления и какие методы используются для замера и оценки шероховатости поверхностей?

### Лабораторная работа № 3

#### Технологическое обеспечение качества при сборке резьбовых соединений

#### Цель работы

Исследование точности обеспечения требуемого усилия различными методами затяжки резьбовых соединений.

#### Оборудование и принадлежности

1. Лабораторная установка для затяжки плоского стыка.

2. Набор плиток.
3. Комплект гаечных ключей по ГОСТ 2939–80.
4. Комплект сменных головок по ГОСТ 19733–74.
5. Динамометрический ключ.
6. Прибор для контроля удлинения стержня болта.
7. Градуированный диск.
8. Набор крепежных деталей – болты и гайки.
9. Индикатор с ценой деления 0,01мм.

### Основные понятия

Резьбовые соединения широко распространены в машиностроении. Их доля от общего количества разъемных соединений составляет 15–25%. Это объясняется их простотой и надежностью. Наиболее часто применяются резьбовые соединения, в которых при сборке создается предварительная затяжка с заданным усилием  $P_{зат}$ . Точность обеспечения требуемого усилия затяжки соединений во многом определяет качество работы механизма и его долговечность.

Затяжку резьбового соединения с заданной величиной  $P_{зат}$  можно осуществить следующими способами:

1. Применением динамометрических ключей, которые автоматически выключаются при достижении определенной, заранее заданной величины усилия затяжки или имеют указатель, непрерывно отмечающий величину прилагаемой силы.
2. Поворотом гайки на расчетный угол  $\varphi$ , обеспечивающий требуемое усилие затяжки соединения.
3. Измерением удлинения болта  $\lambda$  в процессе затяжки соединения.

Обеспечение требуемой затяжки резьбового соединения является весьма ответственной частью технологии сборки. Величина затяжки должна обеспечивать надежность работы резьбового соединения при действии рабочих нагрузок, однако не превышать предельно допустимого значения исходя из физико-механических свойств материала крепежных деталей.

Минимальное значение необходимого напряжения предварительной затяжки устанавливают из условия герметичности и плотности (жесткости) стыка по зависимости

$$\sigma_{з \min} = \sigma_p(1-\chi), \quad (15)$$

где  $\sigma_p$  – номинальное напряжение от наибольшей внешней (рабочей) нагрузки  $P$ , возникающее в стержне болта (шпильки) при работе;  $\chi$  –

коэффициент основной нагрузки ( $\chi = 0,2 \dots 0,4$ ), так как в затянутом соединении внешняя нагрузка на крепежную деталь передается лишь частично.

Номинальное напряжение от наибольшей внешней нагрузки и минимальные напряжения затяжки можно выразить следующим образом:

$$\sigma_p = P/F_l,$$

$$\sigma_{z \min} = P_{\text{зат}}/F_l, \quad (16)$$

где  $P$  – наибольшая внешняя (рабочая) нагрузка;  $F_l$  – площадь сечения стержня крепежной детали;  $P_{\text{зат}}$  – усилие затяжки.

При эксплуатации резьбового соединения в результате временных повышений рабочих нагрузок, вибраций и других факторов происходит снижение напряжения предварительной затяжки. С учетом этого расчетное значение напряжения затяжки увеличивают в  $v$  раз:

$$\sigma_{z \min} = v\sigma_p(1-\chi). \quad (17)$$

Величину коэффициента запаса  $v$  принимают в зависимости от конкретных условий работы соединения. Так, например, при действии постоянных нагрузок  $v$  принимают равным 1,25–2,0, при действии переменных – 2,5–4,0. При необходимости обеспечения герметичности соединения назначают  $v = 1,2$ –2,5 (с использованием мягких прокладок),  $v = 2,5$ –3,5 (с использованием металлических фасонных прокладок) и  $v = 3,0$ –4,0 (с использованием плоских металлических прокладок).

Максимально возможное напряжение затяжки ограничивается допустимым запасом прочности материала крепежной детали. Для увеличения выносливости болта и прочности стыка желательнее максимальное повышение напряжения затяжки до 0,9 предела текучести материала. Но существующие методы затяжки не позволяют выдержать напряжение в узких пределах допуска, поэтому во избежание возможных пластических деформаций болтов оно принимается равным для углеродистых сталей

$$\sigma_{z \max} = (0,5 \dots 0,6) \sigma_T, \quad (18)$$

для легированных сталей

$$\sigma_{z \max} = (0,6 \dots 0,7) \sigma_T, \quad (19)$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала крепежной детали, МПа.

При сборке ответственных резьбовых соединений, таких как шатунные и коренные подшипники быстроходных двигателей внутреннего

сгорания, карданные валы, головки блоков и т.д. регламентируют предельные значения крутящего момента при затяжке. Их обычно указывают в технических условиях на проведение сборки. Величина предварительной затяжки болта зависит от сил, действующих в процессе эксплуатации соединения. Так, при затяжке гаек крепления головки блоков двигателя  $M_{кр} = 0,67 \dots 2,4$  Н·м. Наименьшие значения применяются для тракторных двигателей, наибольшие – для грузовых машин.

Моменты затяжек, которые необходимо обеспечить при сборке, устанавливают обычно в зависимости от номинального диаметра резьбы с учетом физико-механических свойств материалов крепежных деталей. Для указанных выше соединений и сталей марок 30–35 (ГОСТ 1050–88) величина моментов затяжки приведена в табл. 9.

Таблица 9

**Момент затяжки резьбового соединения  
в зависимости от номинального диаметра резьбы**

Номинальный диаметр резьбы, мм	6	8	10	12	14
$M_{зат}$ , Н·м	6–8	14–17	30–35	55–60	80–90
Номинальный диаметр резьбы, мм	16	18	20	22	24
$M_{зат}$ , Н·м	120–140	160–190	230–270	300–360	420–480

**Последовательность выполнения работы**

1. Вычислить допустимое усилие затяжки резьбового соединения для диаметров резьб М6, М8, М10, М12, М14, М16 по формуле:

$$P_{зат. доп} = 0,47 \sigma_t d_1^2, \text{ Н}, \quad (20)$$

где  $\sigma_t$  – предел текучести материала (по табл. 10), МПа;

$d_1$  – внутренний диаметр резьбы (по табл. 11), мм.

2. Вычислить требуемый крутящий момент для обеспечения заданной величины силы затяжки  $P_{зат}$  при использовании динамометрического ключа для различных диаметров резьб крепежных деталей М6, М8, М10, М12, М14, М16 (рис.6):

$$M_{кр} = 10^{-3} P_{зат} \left[ \frac{f}{3} \left( \frac{d^3 - D_0^3}{d^2 - D_0^2} \right) + \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \rho) \right], \text{ Н м}, \quad (21)$$

где  $P_{\text{зат}}$  – сила затяжки, Н;  $d$  – наружный диаметр опорной поверхности гайки, мм;  $D_0$  – диаметр отверстия под болт, мм;  $f$  – коэффициент трения по торцу гайки;  $d_2$  – средний диаметр резьбы, мм;  $\alpha$  – угол подъема резьбовой нитки;  $\rho$  – угол трения.

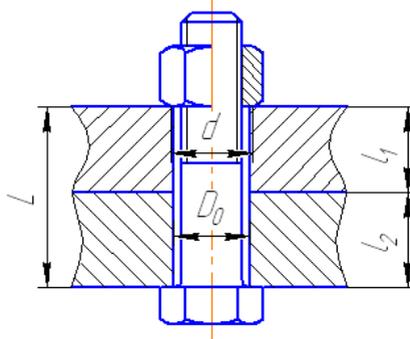


Рис. 6. Схема резьбового соединения

Таблица 10

**Физико-механические характеристики материалов**

Марка стали	Предел прочности при растяжении $\sigma_s$ , МПа	Предел текучести $\sigma_t$ , МПа	Предел усталости на растяжение при знакопеременной нагрузке $\sigma_{-1}$ , МПа
Сталь 5	490...608	265	167
Сталь 45 нормализованная	590...687	334	206
Сталь 40X улучшенная	883...980	687	334
Сталь 30 ХН	785...980	687	412
Сталь 30 ХНЗ	883...980	785	442

Основные характерные размеры резьбового соединения можно определить по табл. 11, коэффициент трения по торцу гайки – по табл. 12, угол трения резьбовой пары определяется по формуле 22, а угол подъема резьбовой нитки – по формуле 23.

Угол трения резьбовой пары  $\rho$  вычисляется по формуле:

$$\rho = \arctg f, \quad (22)$$

Угол подъема резьбовой нитки  $\alpha$  вычисляется по формуле:

$$\alpha = \arctg \frac{S}{\pi d_2}, \quad (23)$$

где  $S$  – шаг резьбы (по табл. 11).

3. Вычислить требуемый дополнительный угол поворота крепежной детали для обеспечения заданной величины силы затяжки  $P_{\text{зат}}$  при различных диаметрах резьб М6, М8, М10, М12, М14, М16:

$$\varphi = 360 \frac{P_{\text{зат}} l}{S} \left( \frac{1}{E_{\sigma} F_{\sigma}} + \frac{1}{E_{\delta} F_{\delta}} \right), \quad (24)$$

где  $S$  – шаг резьбы, мм;  $l$  – толщина стягиваемых деталей, мм;  $E_{\sigma}$  и  $E_{\delta}$  – модули упругости материала болта и детали соответственно, МПа,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа – для углеродистых сталей,  $E = 2,0 \cdot 10^5$  МПа – для низкоуглеродистых сталей;  $F_{\sigma}$  и  $F_{\delta}$  – площади сечений болта и сопрягаемой детали соответственно, мм<sup>2</sup>.

Таблица 11

**Основные размеры метрических резьб с крупными шагами по ГОСТ 9150–81**

Номинальный диаметр болта, мм	Шаг резьбы $S$ , мм	Диаметр резьбы, мм			Высота профиля $h$ , мм
		Наружный $d$	Средний $d_2$	Внутренний $d_1$	
6	1,25	6	5,020	4,320	0,813
8	1,5	8	7,020	6,320	0,813
10	1,5	10	8,863	8,106	0,947
12	1,75	12	10,863	10,106	0,947
14	2	14	12,701	11,835	1,082
16	2	16	14,701	13,835	1,082
18	2,5	18	16,376	15,294	1,353
20	2,5	20	18,376	17,294	1,353

Таблица 12

**Коэффициент трения в зависимости от качества контактной поверхности**

Состояние трущихся поверхностей	Величина $f$
Чисто обработанные поверхности насухо	0,10
Чисто обработанные поверхности при наличии смазки	0,15
Грубо обработанные поверхности при наличии смазки	0,20
Грубо обработанные поверхности насухо	0,30

Площадь болта вычисляется по его наименьшему сечению:

$$F_{\sigma} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}. \quad (25)$$

Площадь сопрягаемой детали вычисляется по формуле:

$$F_o = \frac{\pi}{4}(d^2 - D_o^2). \quad (26)$$

4. Вычислить величину удлинения болта, обеспечивающую заданную величину силы затяжки  $P_{\text{зат}}$ , при различных диаметрах резьб М6, М8, М10, М12, М14, М16:

$$\lambda = P_{\text{зат}} \frac{l}{E_6 F_6}. \quad (27)$$

5. Собрать резьбовое соединение на лабораторной установке (рис.8). Для этого, в соответствии с выбранным отверстием, установить на плиту плитку. Установить болт и вручную до упора навернуть гайку.

6. Надеть на гайку динамометрический ключ и «обжать» резьбовое соединение двукратной затяжкой для снятия шероховатости на рабочих поверхностях деталей путем их деформирования.

7. Настроить индикатор на ноль и на торце ключа заметить контрольную риску.

8. Произвести затяжку соединения с заданным крутящим моментом  $M_{\text{кр}}$ . При этом измерить фактические величины угла поворота  $\varphi$  и относительного удлинения болта  $\lambda$  по приборам.

9. Перевести показания индикатора и динамометрического ключа в Н×см по тарировочному графику. Цена одного деления индикатора для замера удлинения болта составляет 0,01мм. Цена одного деления, нанесенного на торце динамометрического ключа для замера угла поворота, составляет 5°.

10. Повторить пп. 4–8 для других диаметров резьб.

11. По фактическим значениям угла поворота  $\varphi$  и удлинения болта  $\lambda$  определить фактические значения силы затяжки по формулам (28) и (29):

$$P'_{\text{зат.}\varphi} = A_2 \varphi_{\text{факт}}, \quad (28)$$

$$P'_{\text{зат.}\lambda} = A_3 \lambda_{\text{факт}}, \quad (29)$$

где  $\varphi_{\text{факт}}$  и  $\lambda_{\text{факт}}$  – фактические значения угла поворота и удлинения болта соответственно,  $A_2$  и  $A_3$  – постоянные для данного резьбового соединения, определяются по формулам (30) и (31).

$$A_2 = \frac{S}{l \left( \frac{1}{E_6 F_6} + \frac{1}{E_d F_d} \right) 360^\circ}, \quad (30)$$

$$A_3 = \frac{E_6 F_6}{l}. \quad (31)$$

12. Вычислить процентное соотношение погрешности способов затяжки по углу поворота и удлинению болта, используя зависимости (32) и (33):

$$\Delta P_{\text{зат.}\varphi} = \frac{(P'_{\text{зат.}\varphi} - P_{\text{зат}}) 100}{P_{\text{зат}}}, \quad (32)$$

$$\Delta P_{\text{зат.}\lambda} = \frac{(P'_{\text{зат.}\lambda} - P_{\text{зат}}) 100}{P_{\text{зат}}}, \quad (33)$$

13. Полученные значения занести в отчет в соответствии с формой табл. 13.

Таблица 13

### Результаты измерений и вычислений

№ опыта	Обозначение резьбы	Сила затяжки, $P_{\text{зат}}$ , Н	Фактические значения		Расчетные значения		
			угол поворота, $\varphi$ , град	удлинение болта, $\lambda$ , мм	крутящий момент, $M_{\text{кр}}$ , Нм	угол поворота, $\varphi$ , град	удлинение болта, $\lambda$ , мм

14. На основании расчетных данных построить графические зависимости силы затяжки  $P_{\text{зат}}$  от величин  $M_{\text{кр}}$ ,  $\varphi$  и  $\lambda$  (рис.7).



Рис. 7. Зависимость силы затяжки от различных факторов

15. Проанализировать результаты формул 32 и 33, полученные графики и сделать вывод о точности способов затяжки и удобстве их выполнения.

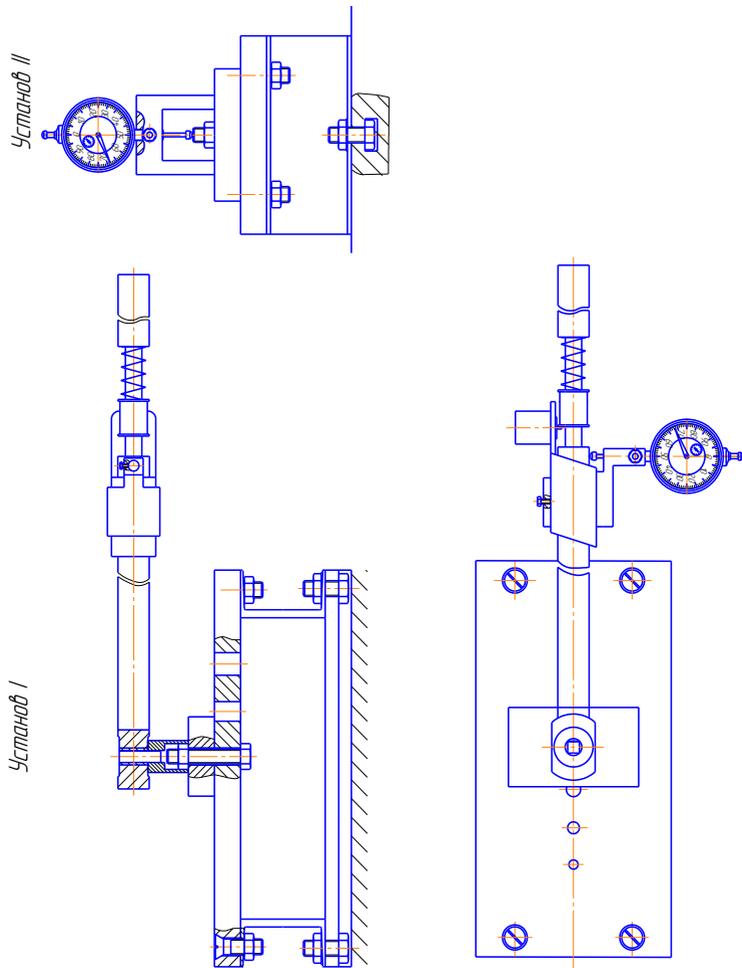


Рис. 8. Лабораторная установка для исследования методов затяжки

### Содержание отчета

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Оборудование и принадлежности.
4. Схема резьбового соединения (по рис. 6).

5. Расчеты сил затяжки  $P_{\text{зат}}$ , крутящих моментов  $M_{\text{кр}}$ , дополнительного угла поворота  $\varphi$  и других сопутствующих значений для диаметров резьб М6, М8, М10, М12, М14, М16.

6. Графики зависимости силы затяжки  $P_{\text{зат}}$  от величин  $M_{\text{кр}}$ ,  $\varphi$  и  $\lambda$  (по рис.7).

7. Выводы и предложения по работе

Учебное издание

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА**

Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров 151900.68 «Конструкторско-технологическое обеспечение

Составитель: **Шрубченко Иван Васильевич**

Подписано в печать Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 2. Уч.-изд. л. 2,13. Тираж 50 экз. Заказ Цена

Отпечатано в Белгородском государственном технологическом университете

им. В.Г., Шухова  
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 36