

621.7  
Т38

4184



Министерство образования  
Республики Беларусь

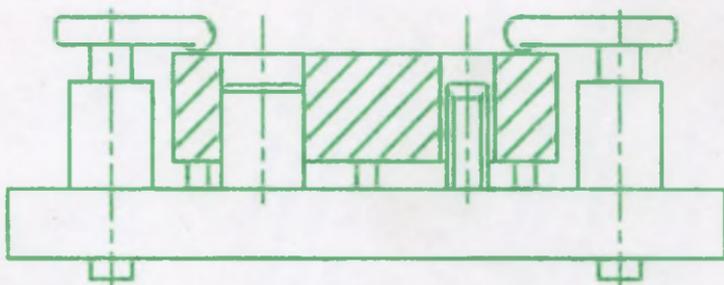
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Технология машиностроения»

# ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Сборник практических работ*

Часть 2



Минск  
БНТУ  
2012

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Технология машиностроения»

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник практических работ

В 4 частях

Часть 2

Минск  
БНТУ  
2012

УДК 621.7.002 (075.4)

~~ББК 34.5я735~~

Т 38

Составители части 2:

*Г.Я. Беляев, Ю.В. Морзун, А.О. Романовский,  
Ю.В. Синькевич, И.Н. Янковский, А.А. Ярошевич*

Под общей редакцией *Г.Я. Беляева*

Т 38      Технология машиностроения: сб. практических работ: в 4 ч. /  
сост.: Г.Я. Беляев [и др.]; под общ ред. Г.Я. Беляева. – Минск: БНТУ,  
2012. – Ч. 2. – 199 с.

ISBN 978-985-525-594-0 (Ч. 2).

В данном сборнике помещено семь практических работ, предназначенных для изучения вопросов, относящихся к дисциплине «Технология машиностроения».

Рассмотрена методика анализа теоретических схем базирования, расчета погрешностей базирования, разработки конструктивной схемы приспособления, выбора параметров шероховатости конкретных деталей на основе изучения их функциональных свойств, расчета точности и жесткости вспомогательного инструмента, формирования конструкторско-технологического кода деталей, необходимого для компьютерного проектирования типовых и групповых технологических процессов, проектирования техпроцессов для обработки на автоматических линиях.

Ч. 1 (сост.: И.Л. Баршай и др., под редакцией А.И. Медведева) издана в БНТУ в 2011 г.

УДК 621 7.002 (075.4)

ББК 34.5я735

ISBN 978-985-525-594-0 (Ч. 2)

ISBN 978-985-525-595-7

© БНТУ, 2012

## АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ

**Цель работы:** изучить основные положения теории базирования, получить практические навыки выбора базирующих поверхностей для различного рода деталей и расчета погрешности базирования.

### Основные положения

При установке заготовки в приспособлении решаются две задачи: ориентация заготовки в заданном положении и закрепление ее в этом положении. В соответствии с ГОСТ 21495–76 базированием называют процесс обеспечения объекту (заготовке, детали, изделию) требуемого положения относительно выбранной системы координат. Базирование осуществляется с помощью выбранных на объекте баз в виде принадлежащих ему поверхностей, линий, точек или их сочетаний. Совокупность трех баз, образующих систему координат объекта, составляет комплект баз. Использование комплекта баз необходимо для обеспечения постоянства положения объекта в выбранной системе координат. В этом случае на объект налагается шесть двусторонних связей, которые материализуются шестью опорными точками. Не во всех случаях требуется лишать заготовку всех шести степеней свободы. Некоторое их число может сниматься, если по назначению изделия или условиям обработки заготовки не требуется отнимать все степени свободы. В этом случае комплект баз будет неполным и может состоять из двух или даже одной базы [3, 4].

По назначению базы подразделяются (рис. 1.1):

на *конструкторские* – для определения положения детали или узла;  
*технологические* – для определения положения заготовки или изделия при изготовлении, сборке или ремонте;

*измерительные* – для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

По количеству лишаемых степеней свободы базы подразделяются:

на *установочные* – лишают объект трех степеней свободы (перемещения вдоль одной из координатных осей и вращений вокруг двух других осей);

*направляющие* – лишают заготовку (изделие, сборочную единицу) двух степеней свободы (перемещения вдоль одной из осей координат и поворота вокруг другой);

*опорные* – для наложения на объект связей, лишают его одной степени свободы (перемещения вдоль одной из координатных осей или поворота вокруг оси);

*двойные направляющие* – лишают заготовку четырех степеней свободы (перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих же осей);

*двойные опорные* – лишают объект двух степеней свободы (перемещений вдоль двух координатных осей).

По характеру проявления базы бывают явные и скрытые.

Одной из основных (первичных) составляющих погрешности обработки при осуществлении технологического процесса является погрешность установки  $\varepsilon$ . Она включает в себя погрешность базирования  $\varepsilon_6$ , погрешность закрепления  $\varepsilon_3$  и погрешность приспособления  $\varepsilon_n$ . Каждая из них является случайной величиной, поэтому все три составляющие погрешности установки суммируются по правилу квадратного корня:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_n^2}.$$

При координации обрабатываемых поверхностей от необрабатываемых необходимо учитывать, что взаимное положение одноименных участков одной и той же детали, обработанных с разных установок и со сдвигом по времени, будет различным, но в пределах допусков, которые выдерживались на предшествующей обработке. В общем случае на точность выдерживаемого на данной операции размера будут влиять следующие обстоятельства:

1. От какого из необрабатываемых участков детали координируется обрабатываемая поверхность.

2. Какой участок детали используется в качестве базы при установке ее в приспособлении или непосредственно на станке.

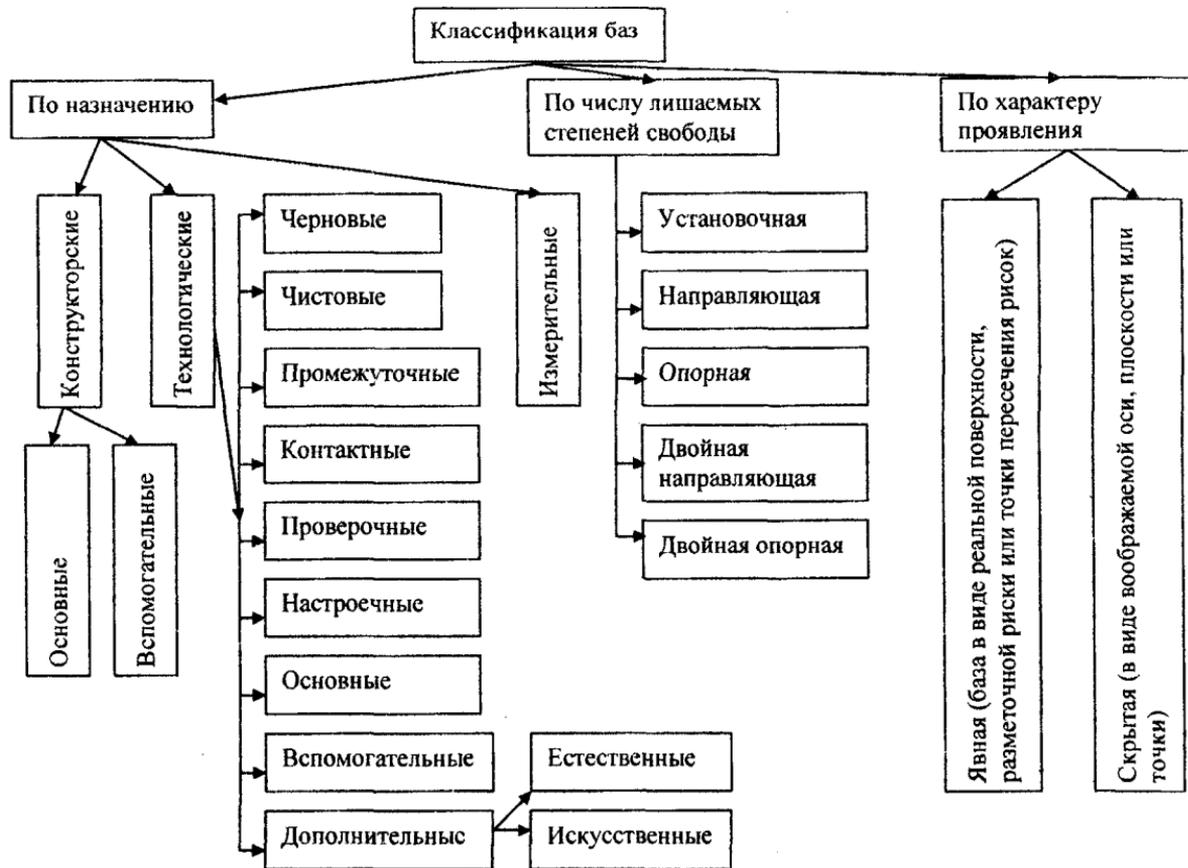


Рис. 1.1. Классификация баз

Проектируя технологический процесс технолог не может исключить погрешности закрепления и приспособления. Погрешность же базирования в зависимости от способа простановки размеров и принятой схемы базирования можно минимизировать или даже сделать равной нулю. Исключить погрешность базирования удастся при соблюдении принципа совмещения установочной технологической базы с измерительной. Известно, что погрешность базирования равна допуску на размер, соединяющий установочную и измерительную базы.

*Пример 1.1.* Допустим, необходимо обработать поверхность 1 ступенчатой детали, представленной на рис. 1.2, а, выдержав размер  $S$ . При этом за технологическую базу могут быть приняты поверхности 2 или 3.

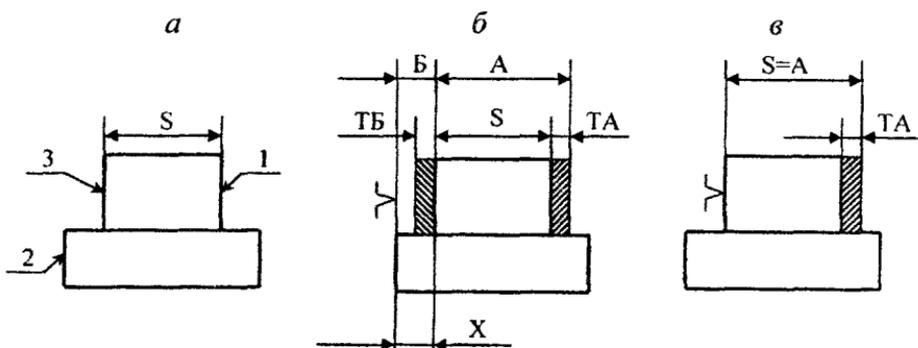


Рис. 1.2. Схемы образования погрешности базирования

В первом случае, когда установочная и измерительная базы не совпадают (рис. 1.2, б), погрешность базирования размера  $S$  будет равна допуску на размер  $X$ , соединяющий измерительную и установочную базы, т. е.

$$\epsilon_6 = TX = TB,$$

а поле рассеяния (допуск) размера  $S$

$$\omega \cdot S = T \cdot S = TA + TB.$$

Во втором случае, когда совмещены измерительная и установочная базы, погрешность базирования равна нулю.

Однако на практике не всегда удается совместить эти базы. Это бывает в двух случаях:

1. Когда обработка при таком совмещении баз невозможна;
2. Измерение размеров или невозможно, или затруднительно.

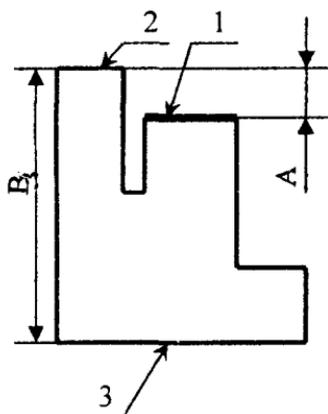


Рис. 1.3. Схема обработки поверхности 1

*Пример 1.2.* При фрезеровании поверхности 1 (рис. 1.3) необходимо выдержать размер  $A$ , заданный от поверхности 2, которая в этом случае являлась бы измерительной базой. Но базировать заготовку по этой поверхности достаточно сложно или вообще невозможно, так как установочные элементы приспособления создадут сложности в подводе режущего инструмента. В связи с этим в качестве технологической базы при выполнении этой операции была принята поверхность 3. Так как установочная технологическая и измерительная базы не совпадают, возникает погрешность базирования, равная полю рассеяния (допуску) размера  $B$ :

$$\epsilon_B = T_B.$$

Если, например,  $B = 100_{-0,2}$ , то  $\epsilon_B = 0,2$  мм. Эта величина должна войти составной частью допуск размера  $A$ :

$$TA = \epsilon_B + \omega_{м.о.},$$

где  $\omega_{м.о.}$  — погрешность метода обработки (допуск).

Погрешность базирования не возникает, если поверхности, между которыми выдерживается размер, обработаны за одну установку заготовки. Так, в том случае, когда поверхности 1 и 2 обрабатывались бы за один установ, погрешность базирования бы не возникла и колебание размера  $A$  не зависело бы от колебания размера  $B$ .

**Пример 1.3.** Задан чертежный размер  $S$  (рис. 1.4). Ему соответствует технологический размер  $A_2$ . На предшествующей операции заготовка обрабатывалась в размер  $A_1$ . Необходимо выбрать такую технологическую базу, чтобы погрешность базирования была бы равна нулю.

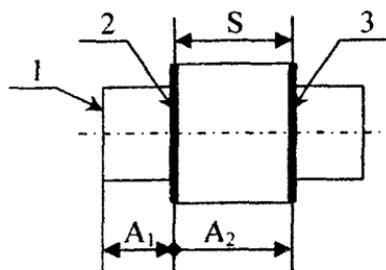


Рис. 1.4. Схема обработки поверхности 3

**Пример 1.4.** Чертежному размеру  $S$  соответствует технологический размер  $A_3$  (рис. 1.5). Размеры  $A_1$  и  $A_2$  получены на предшествующих операциях. Необходимо выбрать схему базирования, обеспечивающую минимальную погрешность базирования.

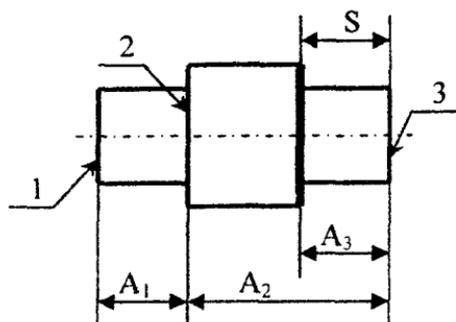


Рис. 1.5. Схема обработки торца

в технологической базы. При использовании в качестве базы поверхности 1 погрешность базирования составит:

$$\varepsilon_6 = TA_1 + TA_2 .$$

При использовании в качестве базы торца 2  $\varepsilon_6 = TA_2$ . Таким образом, в качестве технологической базы следует избрать поверхность 2, так как погрешность базирования в этом случае меньше.

*Пример 1.5.* При обработке поверхности 3 необходимо выдержать эксцентриситет  $e_{2-3}$  (рис. 1.6).

### Решение

Базами на этой операции могут быть поверхности 1 или 2. При использовании в качестве базы поверхности 1 величина эксцентриситета  $e_{2-3}$  будет определяться суммой эксцентриситета между поверхностями 1 и 2 и погрешностью метода обработки:

$$e_{2-3} = e_{1-2} + \omega_{\text{м.о.}}$$

Если же базой будет поверхность 2, эксцентриситет  $e_{2-3}$  будет равен только погрешности метода обработки, так как измерительная и технологическая базы совпадают:

$$e_{2-3} = \omega_{\text{м.о.}}$$

### Задания

1. Указать на чертежах технологические базы, исключая или минимизирующие погрешность базирования при выполнении размеров  $A_i$  или эксцентриситетов  $e_i$  и рассчитать значения погрешностей базирования и погрешность положения осей цилиндрических поверхностей.

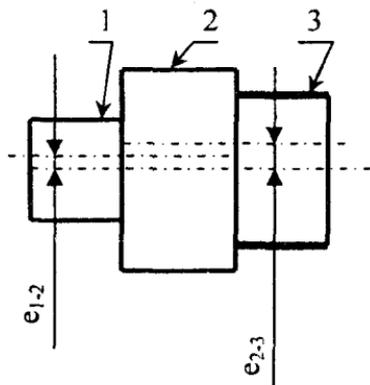


Рис. 1.6. Схема образования эксцентриситета

## Варианты заданий

Выдерживаемый размер	Обрабатываемая поверхность			Выдерживаемый эксцентриситет	Обрабатываемая поверхность		
	Рис. 1.7–1.9				Рис. 1.7–1.9		
$A$	$A_1, A_4$	$A_2, A_3$	Размеры $25 \pm 0,1$ ; $40 \pm 0,12$	$e$	$e_{6-9}, e_{8-5}$	$e_{6-7}, e_{6-8}$	$e_{9-10}, e_{9-7}$
$A$	$A_2, A_5$	$A_4, A_5$	Размеры $15 \pm 0,07$ ; $80_{-0,25}$	$e$	$e_{8-6}, e_{6-7}$	$e_{7-8}$	$e_{7-8}, e_{9-11}$
	Рис. 1.10	Рис. 1.11	Рис. 1.12		Рис. 1.10	Рис. 1.11	Рис. 1.12
$A$	$A_1, A_2$	$A_2, A_4$	Размеры 90 и 15	$e$	$e_{6-7}$	$e_{1-2}, e_{3-4}$	$\parallel 0,05 A$
$A$	$A_3, A_4$	$A_1, A_3$	Размеры 120 и 55	$e$	$e_{5-8}$	$e_{2-3}, e_{3-1}$	$\parallel 0,05 A$
	Рис. 1.13	Рис. 1.14	Рис. 1.15		Рис. 1.13	Рис. 1.14	Рис. 1.15
$A$	Размер 20/9	Размер $A_1, A_2$	Размер $40 \pm 0,05$	$e$	$\nabla 0,05 A$	$e_{1-3}$	$e_{1-3}$
$A$	Размер $18_{-0,1}$	Размер $A_3, A_4$	Размер $10^{+0,05}$	$e$	$\perp 0,06 A$	$e_{2-3}$	$e_{1-2}$
	Рис. 1.16	Рис. 1.17	Рис. 1.18		Рис. 1.16	Рис. 1.17	Рис. 1.18
$A$	Размеры $22,5_{-0,15}; 5$	Размеры $93_{-0,15}; 18$	Размеры $12_{-0,11}; 22$	$e$	$e_{1-3}; e_{2-3}$	$\nabla 0,05 A$	$\parallel 0,02 A$
$A$	Размеры $5_{-0,3}; 3$	Размеры 47; 8	Размеры 16; 22	$e$	$e_{1-2}$	$\parallel 0,02 A$	$\parallel 0,016 A$

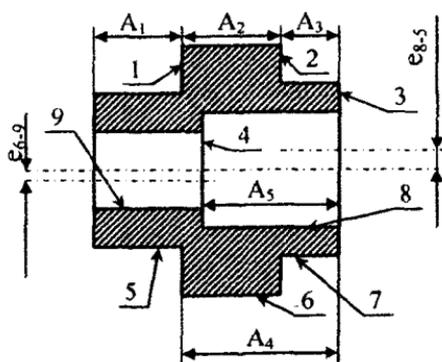


Рис. 1.7

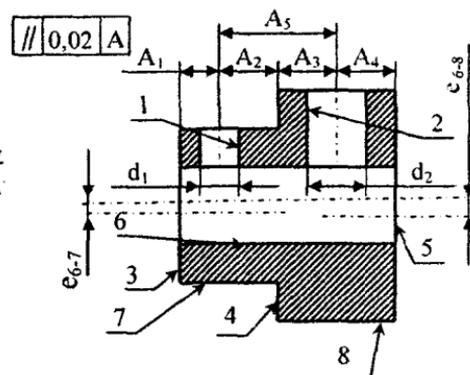


Рис. 1.8

**Примечание.** На представленных чертежах к заданиям из-за большой скученности фрагментов чертежа, размеров и технических требований не всегда оказывалось возможным представить всю необходимую для расчетов информацию. Такая информация представлена ниже в табл. 1.2.

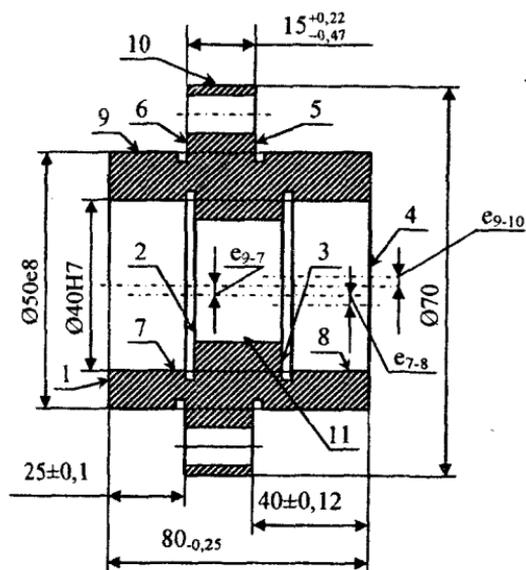


Рис. 1.9

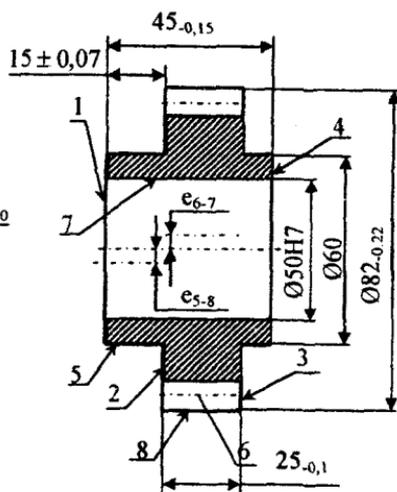


Рис. 1.10

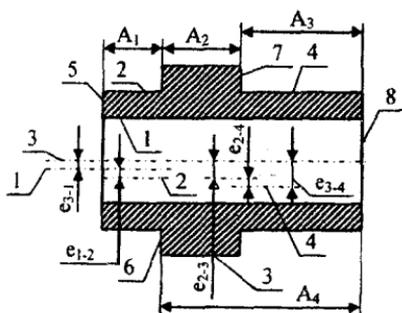


Рис. 1.11

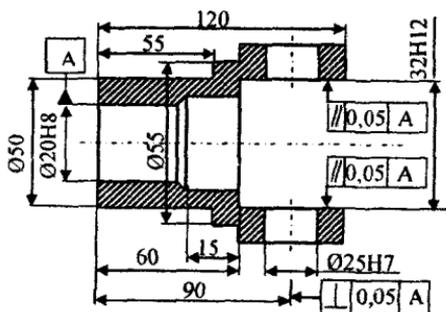


Рис. 1.12

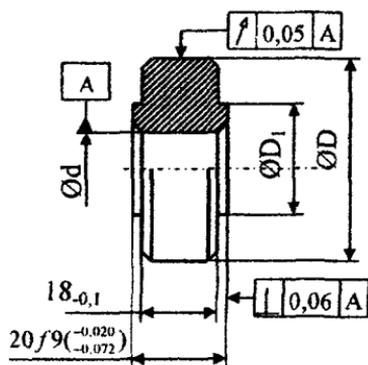


Рис. 1.13

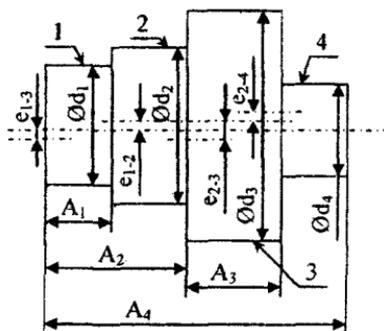


Рис. 1.14

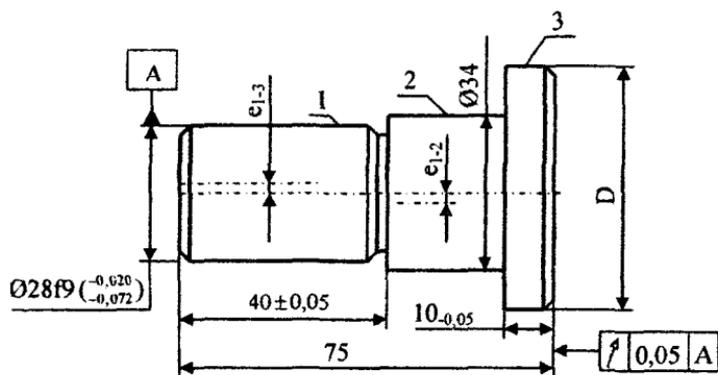


Рис. 1.15

D	36
	45
	55

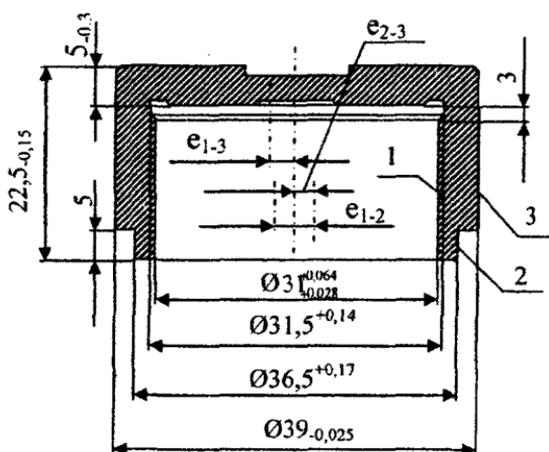


Рис. 1.16

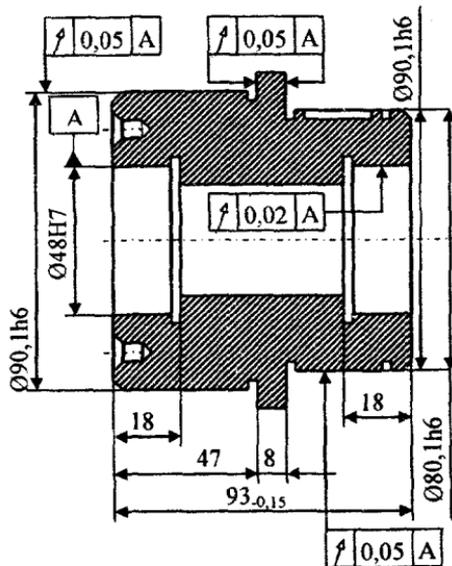


Рис. 1.17

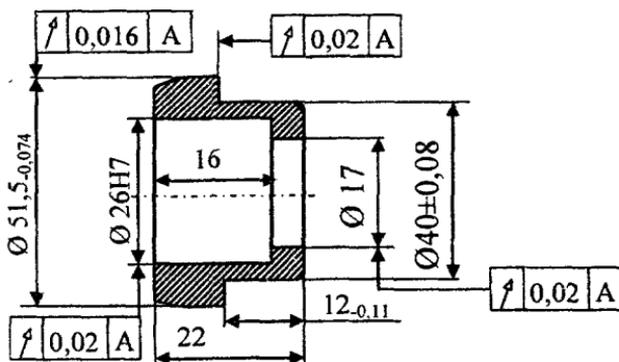


Рис. 1.18

## Неуказанные размеры на чертежах

Номер рисунка	Размеры
1.7	$A_1 = 20; A_2 = 25_{-0,2}; A_3 = 10; A_4 = 35_{-0,1}; A_5 = 28 \pm 0,05;$ $d_5 = 40H9(^{+0,052}); d_6 = 60h8(-0,046); d_7 = 45h8(-0,039); d_8 = 35H11(^{+0,16});$ $d_9 = 28h7(-0,021);$
1.8	$A_1 = 10 \pm 0,05; A_2 = 15 \pm 0,05; A_3 = 18 \pm 0,05; A_4 = 18 \pm 0,05; A_5 = 30 \pm 0,1;$ $d_1 = 10H9(^{+0,036}); d_2 = 15H9(^{+0,043}); d_6 = 20H8(^{+0,033}); d_7 = 45h11(-0,16);$ $d_8 = 60h8(-0,046);$
1.10	$m = ; z =$
1.11	$A_1 = 25 \pm 0,1; A_2 = 30_{-0,15}; A_3 = 50; A_4 = 80_{-0,1}$ $d_1 = 40H9(^{+0,052}); d_2 = 60h8(-0,046); d_3 = 75h9(-0,074); d_4 = 55h9(-0,074);$
1.13	$D = 50Js6(\pm 0,0080); D_1 = 25; d = 16H7(^{+0,018});$ $D = 70Js6(\pm 0,0095); D_1 = 32; d = 20H7(^{+0,021});$ $D = 100Js6(\pm 0,0110); D_1 = 45; d = 28H7(^{+0,025});$ $D = 120Js6(\pm 0,0110); D_1 = 55; d = 36H7(^{+0,025});$
1.14	$A_1 = 15js9(\pm 0,021); A_2 = 35js9(\pm 0,031); A_3 = 22_{-0,2}; A_4 = 75_{-0,3};$ $d_1 = 25h7(-0,021); d_2 = 40h7(-0,025); d_3 = 60_{-0,22}; d_4 = 20h7(-0,021)$

2. Разработать схему базирования на операцию чистовой токарной обработки наружной поверхности, представленной на рис. 1.19, обеспечив точность размера  $L$  и допуск соосности наружной поверхности относительно оси отверстия.

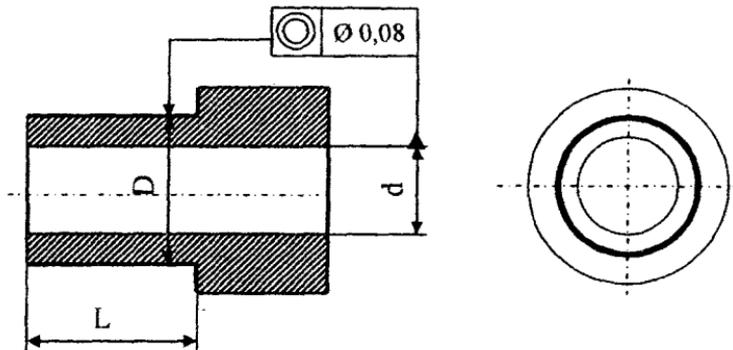


Рис. 1.19. Эскиз детали к задаче № 2

3. Разработать схему базирования на операцию сверления двух отверстий (рис. 1.20) диаметром  $D$ , обеспечив точность размеров  $L$ ,  $h$  и  $c$ , угла  $45^\circ$ .

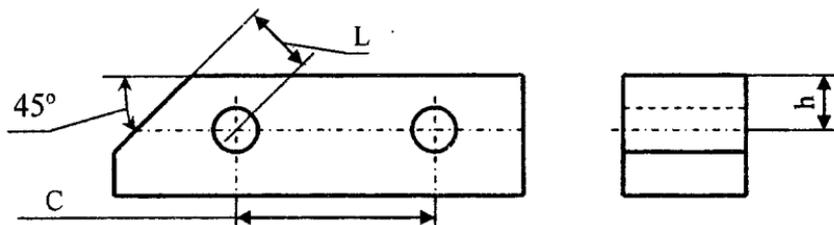


Рис. 1.20. Эскиз детали к задаче № 3

4. Разработать схему базирования на операцию фрезерования шпоночного паза, обеспечив точность размеров  $L$ ,  $h$  и  $b$  и угловое расположение паза относительно ранее обработанного ( $\angle 135^\circ$ ).

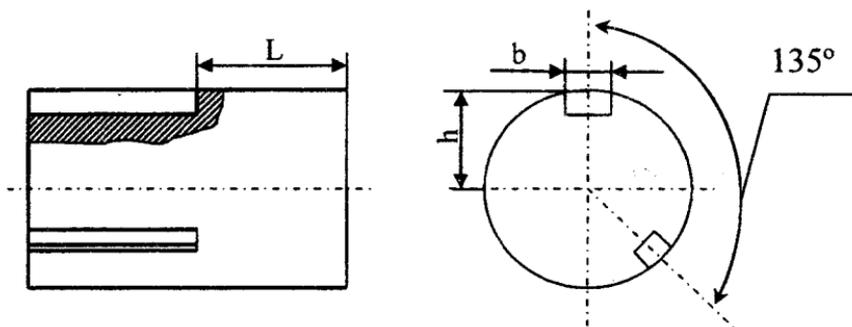


Рис. 1.21. Эскиз детали к задаче № 4

5. Разработать схему базирования на операцию фрезерования скоса, обеспечив выполнение размера  $h$  и угла  $45^\circ$ . Остальные поверхности обработаны ранее, рис. 1.22.

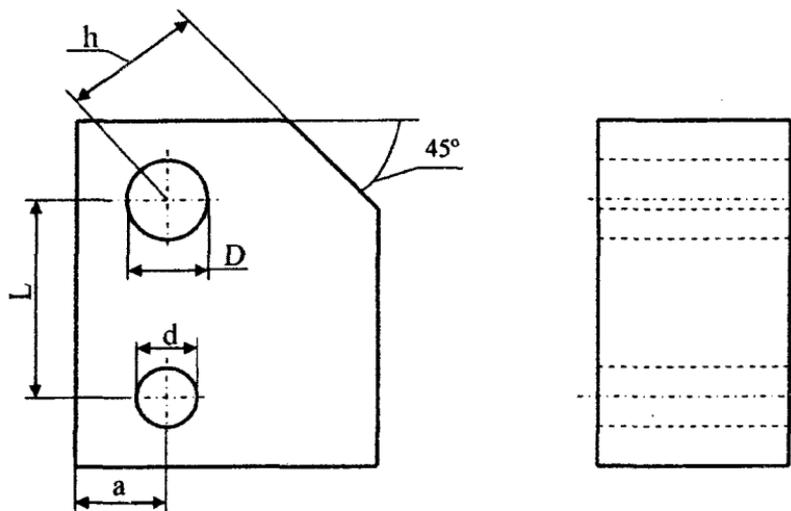


Рис. 1.22. Эскиз детали к задаче № 5

6. При подрезке правого торца втулки и фрезеровании лыски (рис. 1.23) выдержать размеры  $b$ ,  $h$  и  $L$ , технические условия 1 и 2.

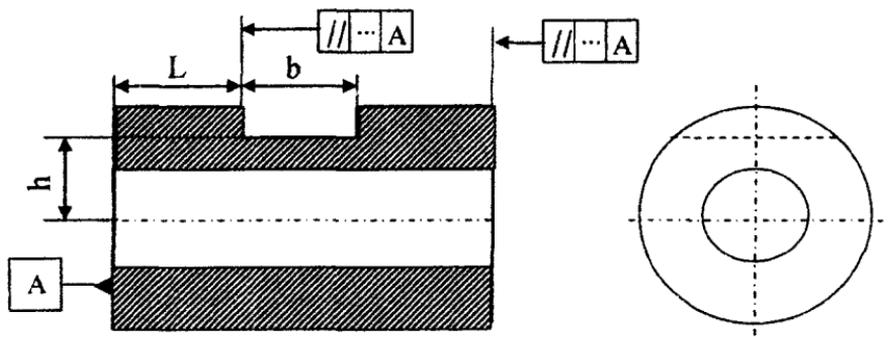


Рис. 1.23. Эскиз детали к задаче № 6

### Вопросы для самоконтроля

1. Понятие базирования и баз. Две задачи базирования.
2. Что такое комплект баз?
3. Как подразделяются базы по назначению?
4. Виды баз по количеству лишаемых степеней свободы.

5. Чем характерны установочная, направляющая, опорная, двойная направляющая и двойная опорная базы?
6. Что влияет на величину погрешности установки?
7. От чего зависит точность выдерживаемого размера?
8. Какие погрешности могут быть исключены при проектировании технологических процессов и какие исключить невозможно?
9. Чему в общем случае равна погрешность базирования?
10. В чем состоит принцип совмещения баз?
11. Когда невозможно совмещение баз (конструкторских, измерительных, технологических)?
12. Когда не возникает погрешность базирования?
13. Из чего состоит допуск выполняемого размера при наличии и отсутствии погрешности базирования?

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями.
2. Выполнить эскизы деталей (по указанию преподавателя).
3. Указать на эскизах предполагаемые схемы базирования с соблюдением ГОСТ 3. 1107–81.
4. Рассчитать погрешности базирования при выполнении указанных размеров.
5. Определить погрешности положения осей цилиндрических поверхностей.
6. Составить отчет о работе.

### **Содержание отчета о работе**

1. Цель и задачи, преследуемые при выполнении практической работы.
2. Эскизы деталей с нанесенными схемами базирования.
3. Расчет погрешности базирования при выполнении линейных размеров.
4. Расчет погрешностей положения осей цилиндрических поверхностей.
5. Выводы.

## Литература

1. Условные обозначения опор, зажимов и установочных элементов: ГОСТ 3. 1107–81. – М.: Изд-во стандартов, 1981.
2. Базирование и базы в машиностроении: ГОСТ 21495–76. – М.: Изд-во стандартов, 1976.
3. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение; Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с., ил.
4. Горохов, В.А. Технология обработки материалов: учебное пособие для вузов / В.А. Горохов. – Минск: Беларуская навука, 2000. – 439 с.: ил., табл.
5. Технология автоматизированного машиностроения. Специальная часть / под ред. А.А. Жолобова. – Минск: ДизайнПРО, 1997. – 384 с.: ил.

## ПРИЛОЖЕНИЕ К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ № 1

Условные обозначения опор, зажимов и установочных устройств  
по ГОСТ 3.1107-81 и число лишаемых ими степеней свободы

Наименование	Условное обозначение			Число лишаемых степеней свободы
	Вид сбоку	Вид в плане		
		сверху	снизу	
1	2	3	4	5
Опора неподвижная				1
Опора подвижная				1
Опора плавающая				1
Опора регулируемая				-
Опора регулируемая со сферической выпуклой рабочей поверхностью		-	-	-
Опора неподвижная с призматической рабочей поверхностью				2
Опора подвижная (зажим) с призматической рабочей поверхностью				1 <sup>1</sup>
Центр неподвижный (гладкий)		-	-	2 или 3 <sup>2</sup>
Центр вращающийся		-	-	2 или 3 <sup>2</sup>

1	2	3	4	5
Центр плавающий		-	-	2
Центр рифленый		-	-	2 или 3 <sup>2</sup>
Центр обратный вращающийся с рифленой поверхностью		-	-	2 или 3 <sup>2</sup>
Патроны и оправки цанговые		-	-	4 <sup>3</sup>
Патроны двух-, трех- и четырехкулачковые с механическим зажимом		-	-	4 <sup>3</sup>
Патроны и оправки с гидропластовым зажимом		-	-	4 <sup>3</sup>
Патрон (зажим) пневматический		-	-	4 <sup>3</sup>
Патрон (зажим) гидравлический		-	-	4 <sup>3</sup>
Патроны (зажимы) магнитный и электромагнитный		-	-	4 <sup>3</sup>
Патрон (зажим) электрический		-	-	4 <sup>3</sup>
Патрон поводковый		-	-	-
Люнет неподвижный		-	-	-

1	2	3	4	5
Люнет подвижный		—	—	—
Оправка цилиндрическая гладкая		—	—	5 <sup>4</sup>
Оправка цилиндрическая шариковая (роликовая)		—	—	5 <sup>4</sup>
Оправка цилиндрическая резьбовая (а) и шлицевая (б)		—	—	5 <sup>4</sup>
Оправка коническая роликовая		—	—	5 <sup>5</sup>
Зажим одиночный (механический)				—
Зажим заблокированный двойной (механический)				—
Зажим пневматический с цилиндрической рифленной рабочей поверхностью		—	—	—

**Примечания.** Если технологу требуется предопределить форму рабочей поверхности опор или зажимов, то она обозначается символами:

- — плоская;
- ⤿ — сферическая;
- — цилиндрическая (шариковая);
- ◇ — ромбическая;
- ∨ — призматическая;
- ∇ — коническая;
- ▽ — трехгранная;

которые проставляются слева от условных обозначений опор или зажимов.

1. Подвижная опора с призматической рабочей поверхностью лишает заготовку одной степени свободы (совмещает центр окружности базируемой поверхности с биссектрисой угла призмы). Однако при установке длинной заготовки типа шатуна в двух подвижных призмах, перемещающихся навстречу друг другу (т. е. самоцентрирующих шатун по длине), заготовка лишается трех степеней свободы (обеспечивается «направление» шатуна, так как устраняется возможность бокового перемещения каждой из его головок и определяется его положение в направлении его оси).

2. При неподвижном положении центра в осевом направлении, когда он не только центрирует заготовку, но и служит для нее упором (обычная функция переднего центра станка), заготовка лишается трех степеней свободы.

Когда центр «плавает» вдоль оси заготовки или перемещается вместе с пинолью для закрепления заготовки (обычная функция заднего центра станка), заготовка лишается двух степеней свободы (центр только центрирует заготовку).

3. При закреплении в патронах и на разжимных оправках по длинной цилиндрической поверхности (двойная направляющая база), независимо от числа кулачков и вида зажимного устройства, заготовка лишается четырех степеней свободы.

При закреплении по короткой цилиндрической поверхности патроны и оправки только центрируют заготовку в плоскости приложения кулачков и лишают ее двух степеней свободы. Направление оси заготовки при этом не определяется. Если при закреплении в патронах и оправках предусматривается упор заготовки по торцу, определяющий ее положение в осевом направлении (опорная база), т. е. заготовка лишается пятой степени свободы, то в этом случае на операционном эскизе кроме обозначения патрона или оправки следует дополнительно показать опору по торцу заготовки.

4. При базировании заготовки по длинному цилиндрическому гладкому, резьбовому или шлицевому отверстию на соответствующей оправке с упором по торцу заготовка лишается пяти степеней свободы (четыре по двойной направляющей базе – цилиндрической поверхности отверстия – и одной по упорной базе, – торцу базируемой заготовки).

При базировании коротких дисков цилиндрическая оправка также лишает заготовку пяти степеней свободы, однако по цилиндри-

ческой поверхности в этом случае осуществляется только центрирование заготовки с лишением ее двух степеней свободы. Направление оси диска обеспечивается его базированием по большой торцовой плоскости (установочная база, лишаящая заготовку трех степеней свободы).

5. При установке заготовки цилиндрическим отверстием на конической оправке трения или конической роликовой оправке заготовка лишается пяти степеней свободы (длинный конус – упорно-направляющая база). Однако следует учитывать, что положение заготовки в осевом направлении в этом случае изменяется в широких пределах, потому что погрешность базирования в этом направлении очень сильно зависит от колебаний диаметра базового отверстия в пределах его допуска, так как конусность оправки трения весьма мала.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ БАЗИРОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЛУЧЕНИЯ РАЗМЕРОВ

**Цель работы:** получить практические навыки расчета погрешности базирования при механической обработке заготовок на металло-режущих станках методом автоматического получения размеров.

### Основные положения

При обработке на настроенных станках в том случае, когда измерительная база не совпадает с технологической, имеет место погрешность базирования, которую необходимо учитывать при технологических расчетах. К примеру, при обработке заготовки с базированием на плавающий передний центр с упором в торец приспособления (рис. 2.1) измерительная база будет совпадать с установочной и погрешность базирования будет равна нулю. При подрезке торца резец необходимо настраивать на размер  $B_2 = 40^{+0,34}$ .

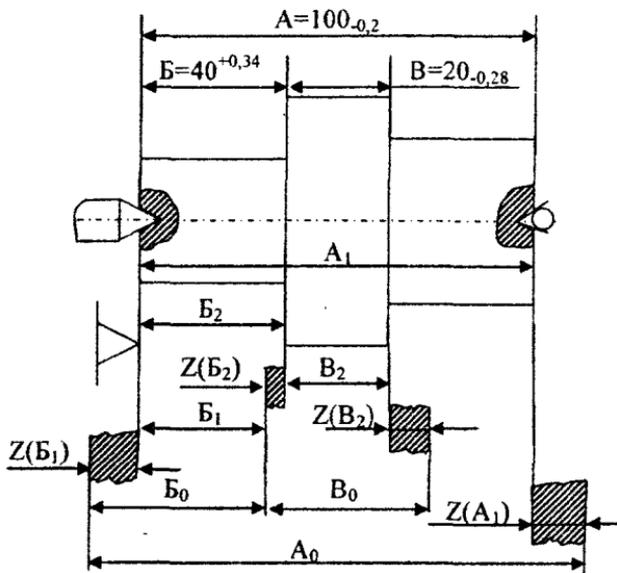


Рис. 2.1. Схема образования операционных размеров при установке заготовки на плавающий передний центр с упором в торец

При установке заготовки на жесткий передний центр (рис. 2.2) появится погрешность базирования, так как за счет разной глубины зацентровки заготовки даже одной партии будут занимать различное положение в направлении оси центров приспособления. Размер  $B_2$  у партии заготовок будет колебаться в пределах поля рассеяния (допуска) погрешности зацентровки  $K$ . Поэтому, чтобы обеспечить выполнение размера  $B_2$  в пределах заданных значений, резец должен быть настроен на размер  $H$  от вершины центра (так называемый рабочий настроечный размер). Определить его можно из технологической размерной цепи, состоящей из трех звеньев:  $B_2$ ,  $K$  и  $H$ , причем размер  $B_2$  будет являться замыкающим звеном, т. е. его допуск будет равен сумме допусков составляющих звеньев.

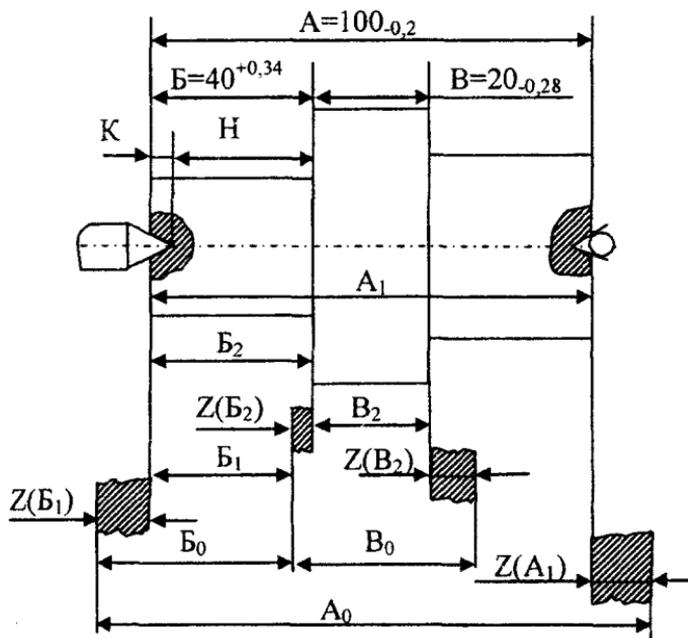


Рис. 2.2. Схема образования операционных размеров при установке цилиндрической заготовки на жесткий передний центр

*Погрешностью базирования* называется отклонение фактически достигнутого положения заготовки при установке в приспособлении от требуемого. Количественно погрешность базирования при обработке партии деталей на предварительно настроенных станках равна разно-

сти предельных расстояний от измерительной базы обрабатываемого размера до установленного на размер режущего инструмента.

*Пример 2.1.* Паз шириной  $E$  (рис. 2.3, размер паза не указан) обрабатывается дисковой фрезой по указанной на рис. 2.3 схеме базирования. Как видно, размер паза по высоте может задаваться либо размером  $A$ , либо размером  $B$ . При настройке фрезы на размер отсчет настроечных размеров будет производиться вдоль координатных осей  $OX$  и  $OY$ , образованных установочными элементами приспособления. После установки фрезы размер  $A$  заготовки будет представлять собой размер между установочными элементами приспособления и установленной на размер фрезой, положение которых строго зафиксировано и в процессе работы в первом приближении неизменно и не зависит от принятой схемы базирования. Поэтому погрешность базирования в этом случае будет равна нулю ( $\epsilon_{бА} = A - C_H = 0$ ).

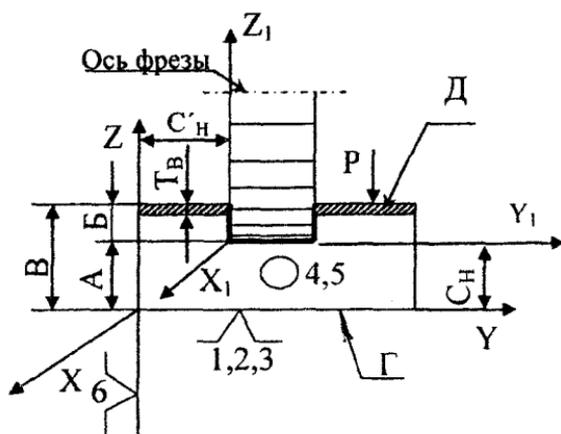


Рис. 2.3. Схема базирования при различных способах задания глубины паза

Плоскость  $\Gamma$  для размера  $A$  является одновременно и измерительной и технологической базой. При данной схеме базирования и способе настройки инструмента возможно задание глубины паза и от верхней плоскости заготовки (размер  $B$ ). Номинальное его значение  $B = B - A$ , где  $B$  – габаритный размер заготовки, изменяющийся в партии заготовок в пределах допуска  $T_B$ . Так как размер  $B$  является замыкающим звеном трехзвенной размерной цепи, то  $\epsilon_{бБ} = T_B + \epsilon_{бА}$ . Из предыду-

шего известно, что погрешность базирования  $\varepsilon_{бА} = 0$ , тогда  $\varepsilon_{бБ} = T_B$ . Необходимо отметить, что в этом случае поверхность Д выполняет функции только измерительной базы для размера Б.

Следовательно, для размеров, у которых измерительные базы не совпадают с технологическими, при обработке появляется погрешность базирования, равная допуску на размер, соединяющий измерительную и технологическую базы. Это правило зафиксировано в теории базирования как **принцип совмещения или единства баз**. Возможность использования установочной базы в качестве измерительной зависит от того, какой размер детали должен быть точно выдержан и от какой поверхности при измерении может быть произведен отсчет размеров.

Однако на практике иногда бывают случаи, когда необходимо выдержать именно размер Б. В этом случае приходится изменять привычную схему базирования на другую, где поверхность Д будет одновременно являться и измерительной и технологической базой (рис. 2.4).

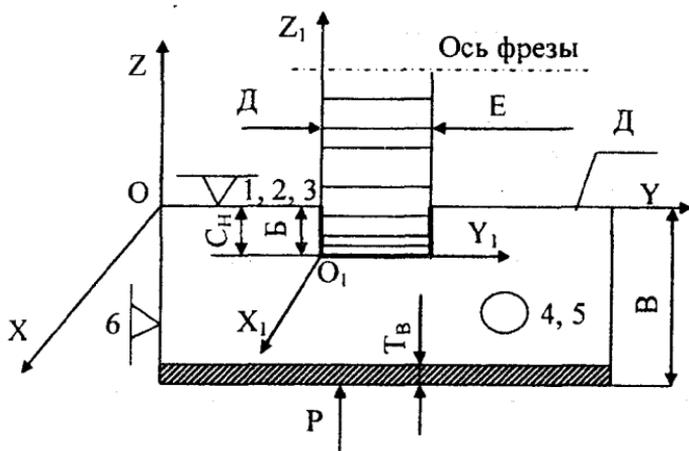


Рис. 2.4. Схема базирования при простановке глубины паза от верхней поверхности заготовки

Следует отметить, что при разработке техпроцесса следует стремиться к использованию одной и той же технологической базы при выполнении всех технологических операций, не допуская необоснованной смены технологических баз (не считая смены черновой

базы) [3]. Всякая смена технологических баз увеличивает погрешность расположения обрабатываемых поверхностей, в том числе и погрешность взаимного расположения самих технологических баз, от которых производилась обработка.

Для исключения или минимизации названных погрешностей технологам приходится пересчитывать размеры и ужесточать допуски на них.

**Пример 2.2.** В пластине длиной  $b = 100_{-0,46}$  мм (рис. 2.5) сначала сверлят центральное отверстие, а затем два отверстия меньшего диаметра, расположенные на расстоянии  $c = 20 \pm 0,1$  мм от центрального.

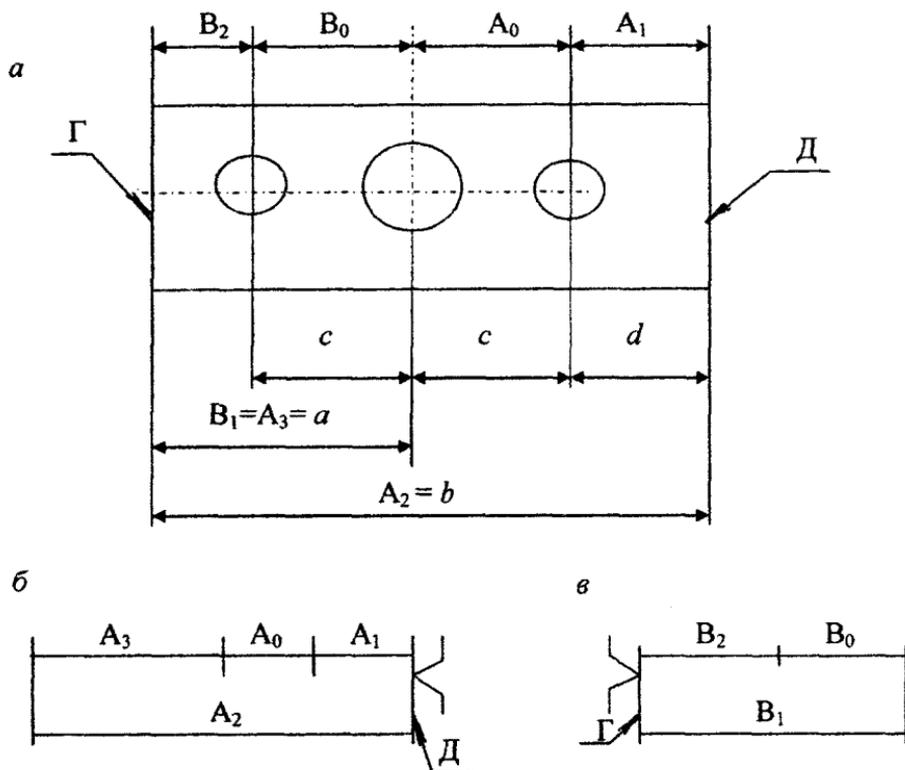


Рис. 2.5. Пластина (а) и ее размерные цепи (б, в)

**Вариант 1.** Центральное отверстие сверлят на расстоянии  $a = 50_{+0,05}$  мм от поверхности  $\Gamma$ , принятой за технологическую базу.

Малые отверстия выполняют на расстоянии  $d$  и  $d + 2c$  от поверхности  $D$ , принятой за другую технологическую базу. Для настройки станка или для проектирования сверлильного приспособления – кондуктора – требуется определить номинальное значение и допуск размера  $d$ , являющегося составляющим звеном четырехзвенной размерной цепи (рис. 2.5, б). Замыкающим звеном размерной цепи является размер  $c$ , заданный на чертеже.

Номинальное значение размера

$$A_1 = d = A_2 - (A_3 + A_0) = 100 - 50 - 20 = 30 \text{ мм.}$$

Допуск замыкающего звена  $A_0$  равен сумме допусков составляющих звеньев, т. е.

$$TA_0 = TA_1 + TA_2 + TA_3.$$

Из этого уравнения определяется допуск на размер  $d = A_1$ :

$$TA_1 = TA_0 - TA_2 - TA_3 = 0,2 - 0,05 - 0,46 = -0,31 \text{ мм.}$$

Допуск, как известно, отрицательным быть не может. Это значит, что при заданных допусках размеров обработка от базы  $D$  невозможна. Для выполнения заданных чертежом допусков необходимо уменьшить допуск на длину пластины в 4,5 раза, приняв  $A_2 = b = 100_{-0,1}$  мм. Тогда

$$TA_1 = 0,2 - 0,05 - 0,1 = 0,05 \text{ мм.}$$

*Вариант 2.* Во втором случае при сверлении центрального и двух боковых отверстий используется одна и та же технологическая база – поверхность  $\Gamma$ . Для определения номинального размера и допуска технологического размера  $B_2 = A_1 = d$  решим уравнение трехзвенной размерной цепи  $B$  (рис. 2.4, в).

$$B_2 = B_1 - B_0 = 50 - 20 = 30 \text{ мм.}$$

Тогда

$$TB_2 = TB_0 - TB_1 = 0,2 - 0,05 = 0,15 \text{ мм.}$$

Таким образом, при соблюдении принципа постоянства баз допуск технологического размера получился в три раза больше, а точ-

ность изготовления длины пластины вообще не играет никакой роли, так как в размерную цепь размер  $b$  не входит.

*Пример 2.3.* Пусть при фрезеровании уступа необходимо выполнить размеры  $a$ ,  $b$  и параллельность поверхности  $l$  относительно поверхности  $A$ , рис. 2.6. По результатам анализа возможных теоретических схем базирования предложить возможную схему их реализации.

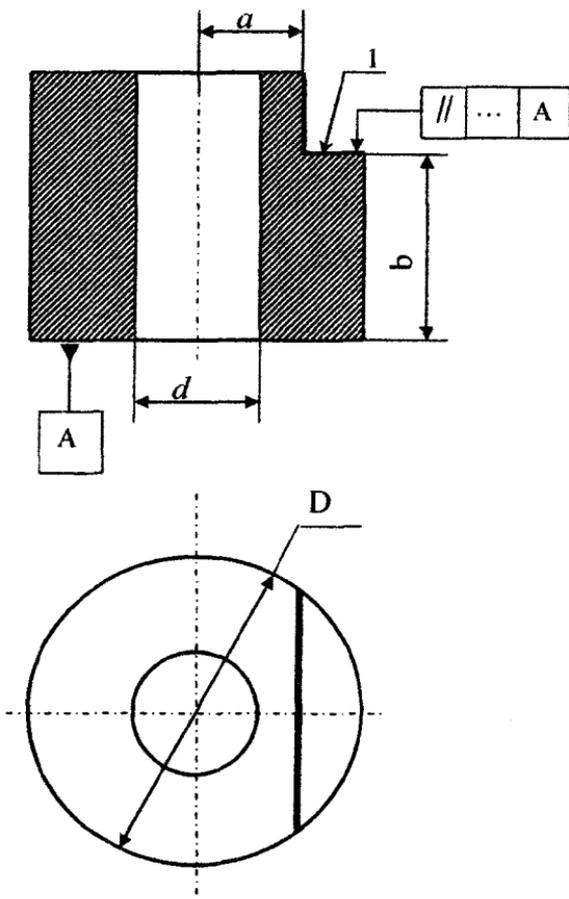


Рис. 2.6. Эскиз обрабатываемой детали к выполняемой операции

При выполнении размера  $a$  в качестве технологической установочной базы в принципе возможно принять или верхнюю, или нижнюю плоскости. В первом случае не будет соблюден принцип совмещения баз, так как установочная верхняя плоскость не будет со-

вмещена с измерительной, в качестве которой выступает нижняя плоскость. Поэтому возникнет погрешность базирования, равная допуску на соединяющий их размер, т. е. на общую высоту детали. При установке на нижнюю плоскость установочная технологическая и измерительная база совпадают, поэтому погрешность базирования будет равна нулю. Кроме того, в этом случае будет выполнено и техническое условие по параллельности обрабатываемой поверхности и поверхности  $A$ . В связи с этим в качестве установочной базы целесообразно принять нижнюю торцовую поверхность  $A$ . Она лишает заготовку трех степеней свободы: вращений вокруг координатных осей  $x$  и  $y$  и перемещения вдоль оси  $z$ .

Для того чтобы обеспечить выполнение размера  $a$ , необходимо в качестве технологической базы выбрать ось отверстия диаметром  $d$ . Это может быть реализовано в том случае, если деталь установлена на цилиндрический палец, лишаящий деталь двух степеней свободы: перемещений вдоль осей  $x$  и  $y$ .

Окончательно принимаем установку на плоскость  $A$  и цилиндрический палец по отверстию. Ниже на рис. 2.7 приведена возможная схема реализации принятой схемы базирования.

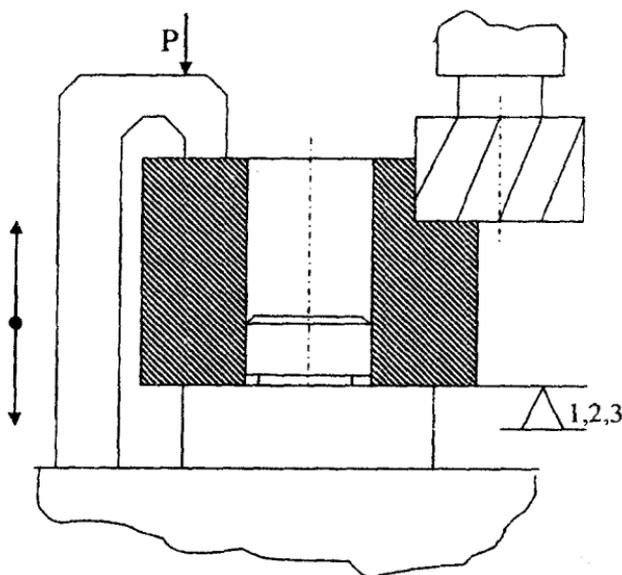


Рис. 2.7. Конструктивное схематичное решение предложенной схемы базирования

**Пример 2.4.** Определить погрешность базирования в осевом и радиальном направлении при обработке поверхностей 2 и 3 (рис. 2.8). Размер  $A_1 = 60_{-0,2}$  получен на предшествующих операциях. Погрешность базирования в осевом направлении равна допуску на размер, соединяющий установочную и измерительную базы. В качестве установочной базы служит поверхность 5, измерительной является поверхность 6. Поэтому погрешность базирования в осевом направлении равна допуску на размер  $TA_1 = 0,2$  мм, т. е.  $\epsilon_{A_2} = TA_1 = 0,2$ .

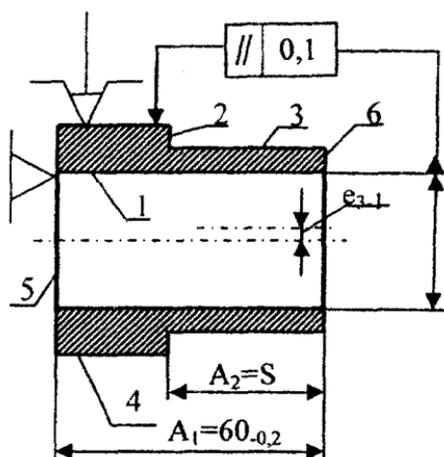


Рис. 2.8

В радиальном направлении необходимо определить погрешность взаимного положения осей поверхностей 1 и 3. Оно определяется эксцентриситетом  $e$ , в состав которого войдет и погрешность базирования, равная эксцентриситету осей поверхностей 1 и 4, которые являются измерительной и установочной базами соответственно. На представленном выше эскизе задано биение поверхностей 1 и 4. Величина же эксцентриситета равна половине биения. Таким образом,  $e_{1.4} = 0,05$  мм, это и будет погрешность базирования в радиальном направлении при обработке поверхности 3 при заданной схеме базирования. Она войдет совместно с погрешностью метода обработки составной частью в эксцентриситет  $e_{3.1}$ . Необходимо отметить, что погрешность базирования должна быть меньше или (в крайнем случае) равна заданной (допустимой) величине эксцентриситета, т. е.  $\epsilon_6 \leq [e]$ .

В радиальном направлении необходимо определить погрешность взаимного положения осей поверхностей 1 и 3. Оно определяется эксцентриситетом  $e$ , в состав которого войдет и погрешность базирования, равная эксцентриситету осей поверхностей 1 и 4, которые являются измерительной и установочной базами соответственно. На представленном выше эскизе задано биение поверхностей 1 и 4. Величина же эксцентриситета равна половине биения. Таким образом,  $e_{1.4} = 0,05$  мм, это и будет погрешность базирования в радиальном направлении при обработке поверхности 3 при заданной схеме базирования. Она войдет совместно с погрешностью метода обработки составной частью в эксцентриситет  $e_{3.1}$ . Необходимо отметить, что погрешность базирования должна быть меньше или (в крайнем случае) равна заданной (допустимой) величине эксцентриситета, т. е.  $\epsilon_6 \leq [e]$ .

### Основные схемы базирования

Для лишения призматической заготовки трех степеней свободы используют установочную базу, контактирующую с опорными элементами приспособления в трех точках. В этом случае заготовка

лишается возможностей перемещения вдоль оси  $OZ$  и вращений вокруг осей  $OX$  и  $OY$ . Применение только одной установочной базы позволяет при обработке согласно схеме (рис. 2.9, б) выполнить один технологический размер  $a$ . По этой схеме заготовка, соприкасающаяся в начальный момент с тремя опорными точками приспособления, после включения электромагнитного зажима (ЕМ) лишается всех шести степеней свободы, оставаясь на плите в положении, полученном при базировании.

Для лишения призматической заготовки пяти степеней свободы используют две поверхности заготовки: установочную базу, контактирующую с установочными элементами приспособления в точках  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ , и поверхность, соприкасающуюся с опорами приспособления в двух точках  $B_1$  и  $B_2$ . Последняя называется направляющей базой, рис. 2.9, в. В качестве направляющей базы выбирают наиболее протяженные поверхности заготовки. Направляющая база лишает заготовку двух степеней свободы: возможности перемещения вдоль оси  $OX$  и вращения вокруг оси  $OZ$ .

Одновременное использование установочной и направляющей баз позволяет при обработке по схеме, представленной на рис. 2.9, в, выдержать два технологических размера  $a$  и  $b$ . Оставшаяся шестая степень свободы допускает при базировании некоторый сдвиг  $b$  заготовки в направлении рабочего движения инструмента, что для принятого метода обработки не столь существенно. При закреплении заготовки пневматическими зажимами  $P$  она лишается всех шести степеней свободы, на все время обработки оставаясь в положении, полученном при базировании.

Для лишения призматической заготовки шести степеней свободы используют три поверхности: установочную, контактирующую с приспособлением в точках  $A_1$ ,  $A_2$  и  $A_3$ , направляющую базу с опорными точками  $B_1$  и  $B_2$  и опорную базу, контактирующую с приспособлением в точке  $C$ , рис. 2.9, д. В качестве опорной базы может быть использована любая поверхность при условии достаточно хорошего ее состояния и постоянства формы (отсутствие литников, сварных и литейных швов, заусенцев, облоя и т. д.).

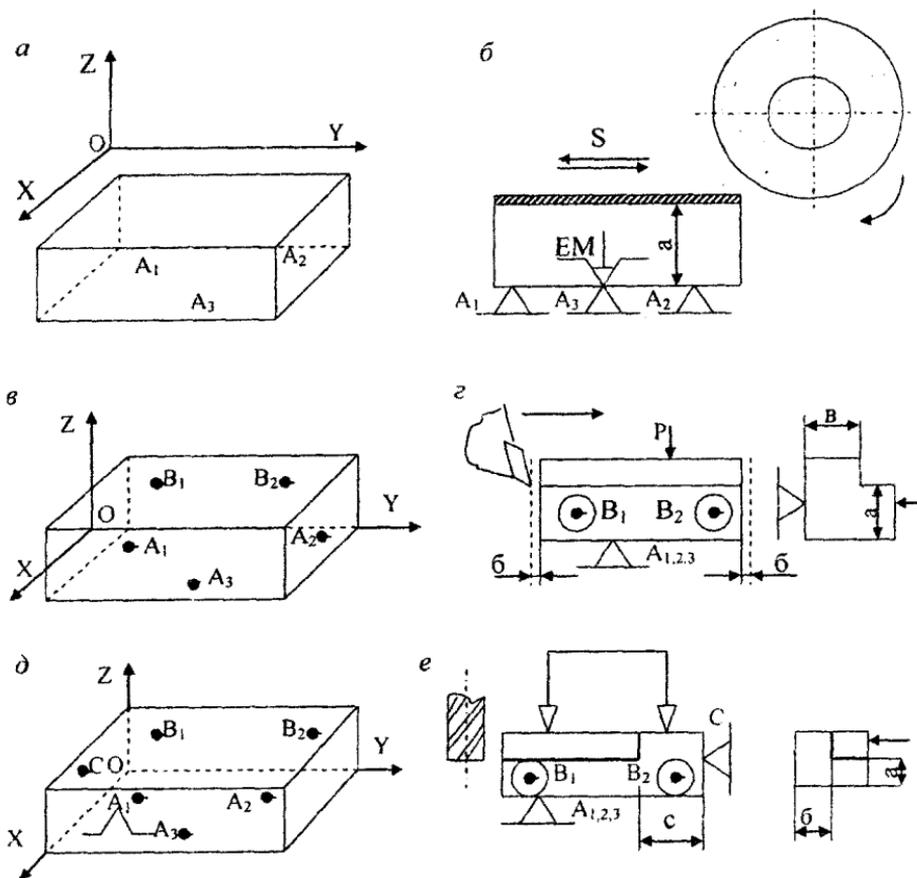


Рис. 2.9. Схемы базирования призматических заготовок

На рис. 2.10, *a–в* приведены схемы базирования длинных цилиндрических заготовок. В этом случае образующая цилиндра, контактирующая с двумя опорными точками  $A_1$  и  $A_2$  приспособления в плоскости  $XOY$  и  $B_1$  и  $B_2$  в плоскости  $YOZ$ , называется двойной направляющей базой (рис. 1.10, *a*). Она лишает заготовку четырех степеней свободы: перемещений вдоль осей  $OX$  и  $OZ$  и вращений вокруг тех же осей. Торец заготовки, контактирующий с одной опорной точкой  $C$  приспособления, служит опорной базой и лишает заготовку пятой степени свободы – перемещения вдоль оси  $OY$ . Чтобы лишить заготовку шестой степени свободы – вращения вокруг собственной оси – должна быть предусмотрена шестая двусторонняя

связь заготовки с приспособлением в точке  $D$ . В этом случае поверхность шпоночного паза будет служить опорной базой.

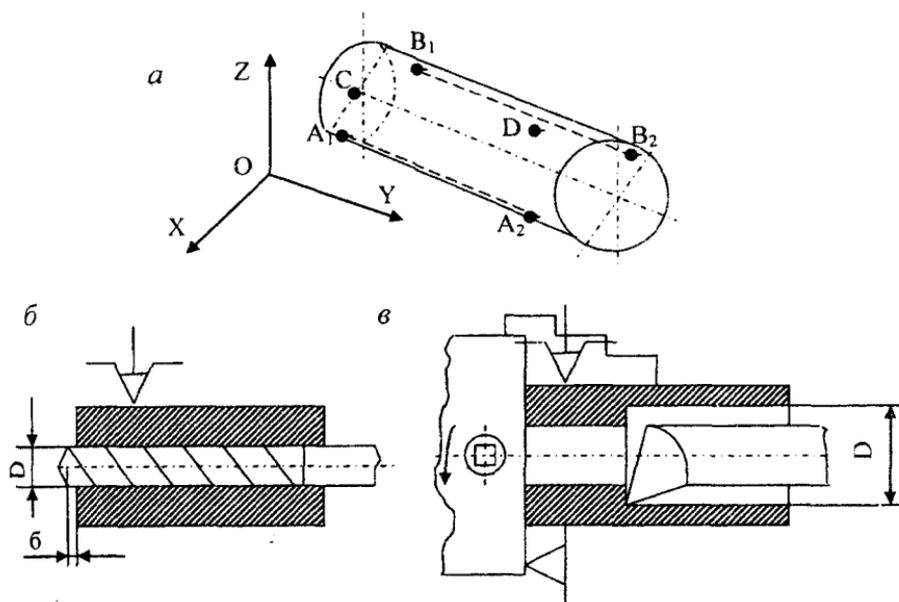


Рис. 2.10. Схемы базирования и закрепления длинных цилиндрических заготовок

Для лишения шести степеней свободы короткой цилиндрической заготовки (шкива, фланца, диска, у которых длина меньше диаметра) при базировании в качестве основной установочной базы используют торец заготовки, лишаящий трех степеней свободы и контактирующий с опорными элементами приспособления в точках  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$ , в качестве двойной опорной (центрирующей) – цилиндрическую поверхность, контактирующую с опорными элементами приспособления в точках  $A$  и  $B$  и лишаящую заготовку двух степеней свободы, и еще одну поверхность (боковую поверхность шпоночного паза, отверстия, расположенного на периферии заготовки, и т. д.), контактирующую с приспособлением в точке  $D$ , рис. 2.11, *a* и *б*. Последнюю поверхность называют опорной базой.

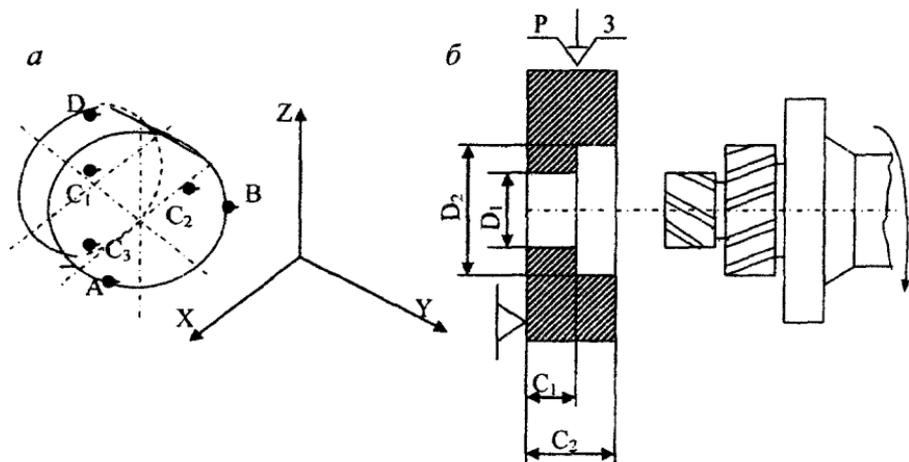


Рис. 2.11. Схемы базирования и закрепления коротких цилиндрических заготовок

Установочная база лишает заготовку трех степеней свободы: возможности перемещения вдоль оси  $OY$ , вращений вокруг осей  $OX$  и  $OZ$ . Двойная опорная база отнимает у заготовки две степени свободы: возможности перемещений вдоль осей  $OX$  и  $OZ$ . Опорная база лишает заготовку одной степени свободы – возможности вращения вокруг собственной оси.

При базировании длинных конических заготовок или деталей с малым конусом (хвостовик инструмента с конусом Морзе) коническая поверхность лишает деталь пяти степеней свободы: возможности перемещения вдоль осей  $OX$ ,  $OY$  и  $OZ$  и поворота вокруг осей  $OY$  и  $OZ$ . Такая поверхность называется опорно-направляющей базой [3]. Для лишения детали шестой степени свободы (возможность поворота вокруг собственной оси  $OX$ ) дополнительно используют опорную точку  $C$  на поверхности лыски, паза, лапки и т. д.

Следовательно, для лишения длинной конусной заготовки всех шести степеней свободы необходимо использовать комплект из двух баз: опорно-направляющей и опорной.

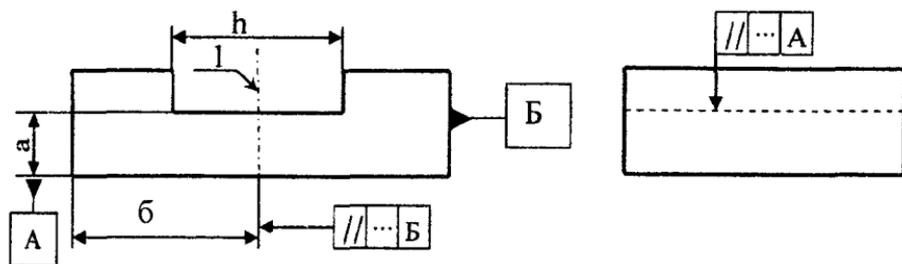
При базировании по короткой конической поверхности со значительным углом конуса (например, при точении или шлифовании в центрах) неподвижная в осевом направлении поверхность переднего центра выполняет функции центрирования и исключает возмож-

ность перемещения вдоль трех координатных осей. В этом случае коническая поверхность заготовки, соприкасающаяся с передним конусом, носит название опорно-центрирующей базы. Поверхность заднего центрального отверстия лишает заготовку двух степеней свободы – возможности вращения вокруг осей  $OX$  и  $OZ$ . Поверхность заднего центрирующего отверстия называют центрирующей базой. Одновременное использование переднего и заднего центральных отверстий лишает заготовку пяти степеней свободы. Шестой степени свободы заготовку можно лишить, используя поверхности шпоночных пазов, отверстий, поверхностей, контактирующих с хомутиком, и т. д. В любом случае при базировании заготовки не может быть использовано более трех базовых поверхностей, несущих на себе в сумме не более шести опорных точек.

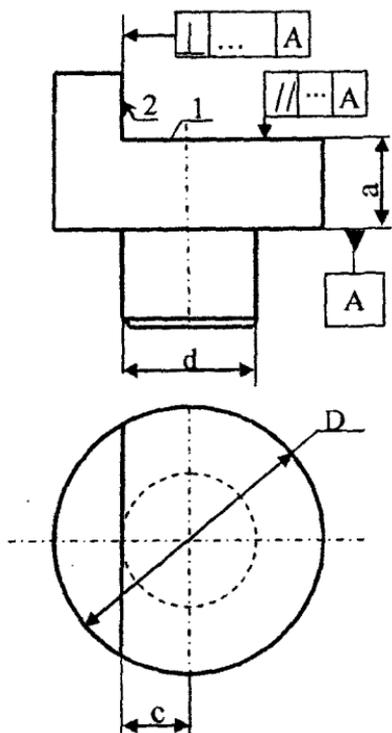
### Задания к практической работе

Разработать теоретическую схему базирования и предложить ее возможное упрощенное конструктивное решение по следующим вариантам заданий.

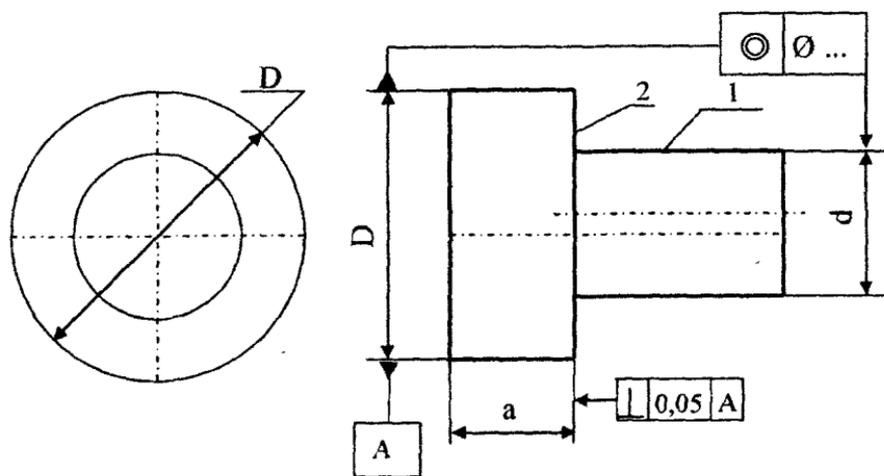
1. При фрезеровании паза шириной  $h$  выдержать размеры  $a$  и  $b$ , допуски параллельности плоскости симметрии паза  $l$  относительно поверхности Б, а дна паза – относительно плоскости основания А.



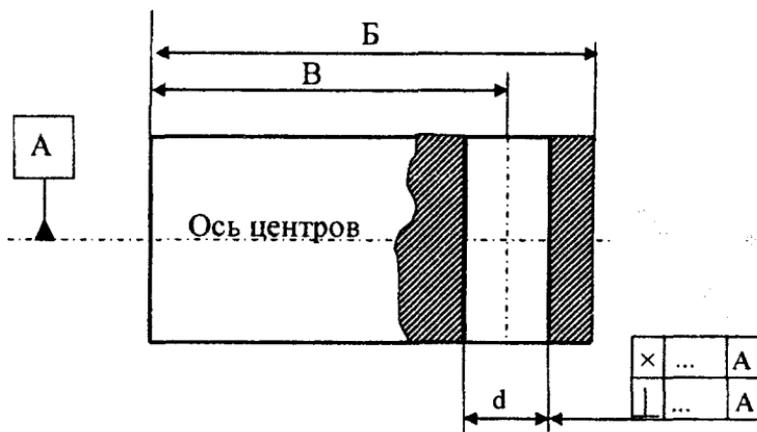
2. При фрезеровании лыски выдержать размеры  $a$  и  $c$  и обеспечить параллельность поверхности  $1$  и перпендикулярность поверхности  $2$  относительно поверхности А. Дать схему приспособления.



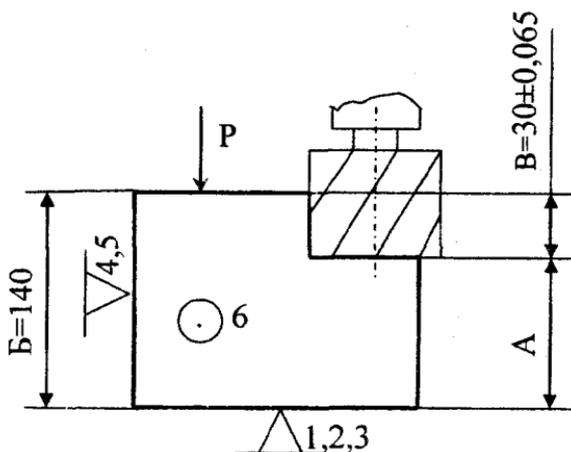
3. При обработке цилиндрической поверхности 1 и торца 2 выдержать размеры  $d$  и  $a$ , допуски перпендикулярности торца 2 относительно оси заготовки и соосности поверхностей  $D$  и  $d$ .



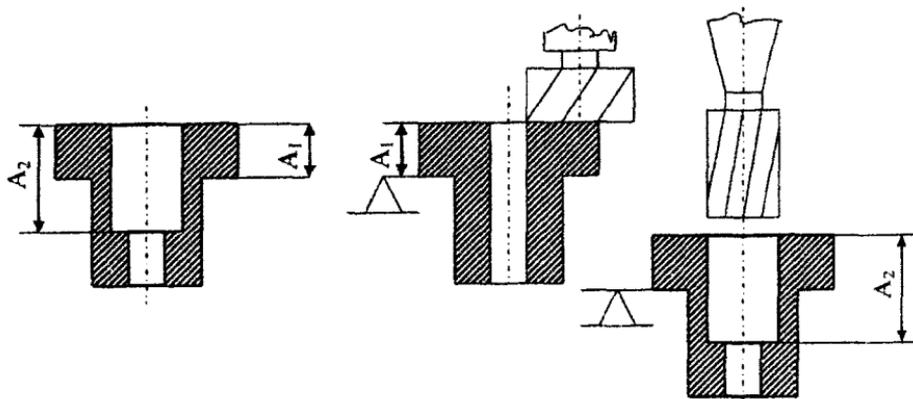
4. При сверлении отверстия диаметром  $d$  обеспечить выполнение размера «В», допуски перпендикулярности оси отверстия относительно оси вала А и пересечения осей отверстия и вала.



5. Рассчитать допуск, предельные отклонения на операционный размер  $B = 140$  мм при указанной схеме базирования и согласовать их со стандартными значениями по ГОСТ, если задан размер  $B = 30 \pm 0,065$ .



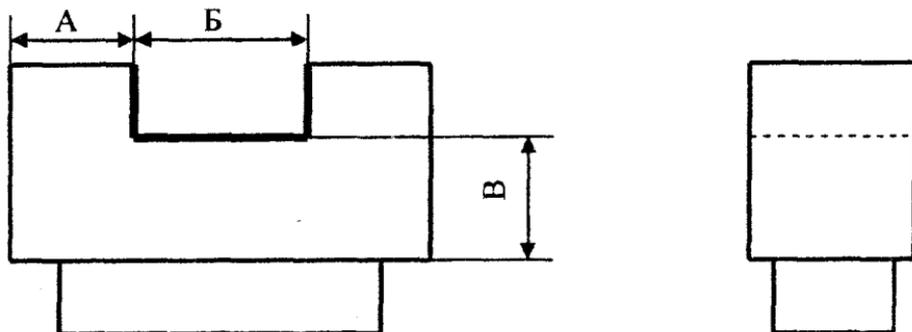
6. Методом полной взаимозаменяемости рассчитать допуск и предельные отклонения на операционный размер в соответствии с эскизами детали и обработки и данными таблицы (по указанию преподавателя). Эскизы детали и способ образования операционных размеров представлены ниже.



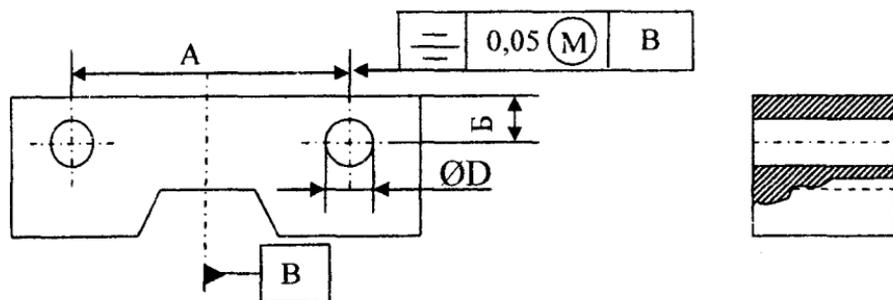
Исходные данные для расчета

Размер	Варианты				
	1	2	3	4	5
$A_1$	$22_{-0,1}$	$22_{-0,21}$	$22_{-0,21}$	$32 \pm 0,105$	$32_{-0,105}$
$A_2$	$54^{+0,19}$	$54 \pm 0,095$	$54_{-0,19}$	$65^{+0,22}$	$65_{-0,22}$

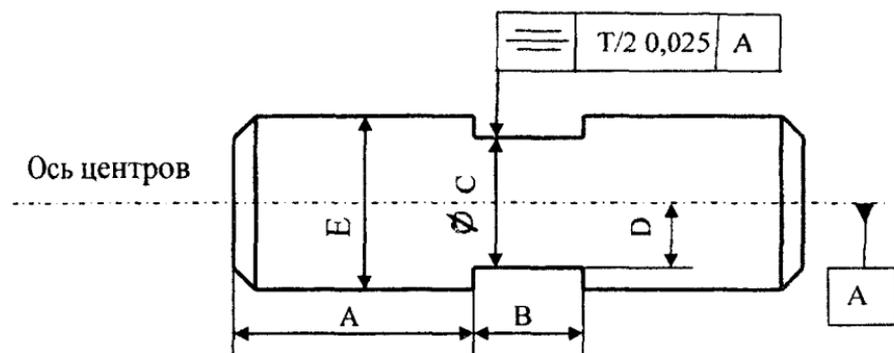
7. Обеспечить точность размеров А, Б и В. Разработать схему базирования и схему приспособления.



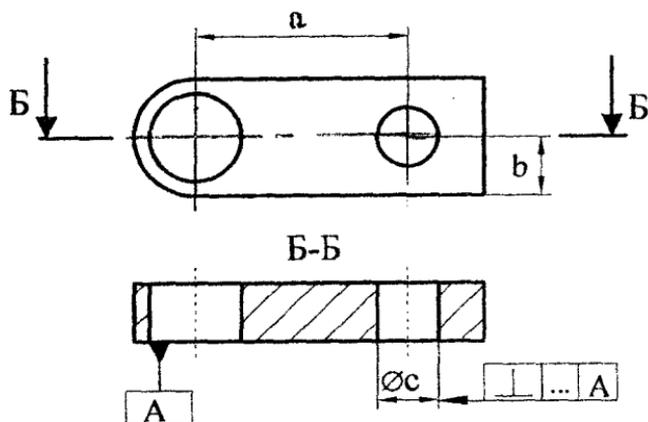
8. При обработке отверстий диаметром  $D$  обеспечить точность размеров  $A$  и  $B$ , допуск симметричности осей отверстий относительно плоскости симметрии паза в пределах  $0,05$  мм. Разработать схему базирования и схему приспособления.



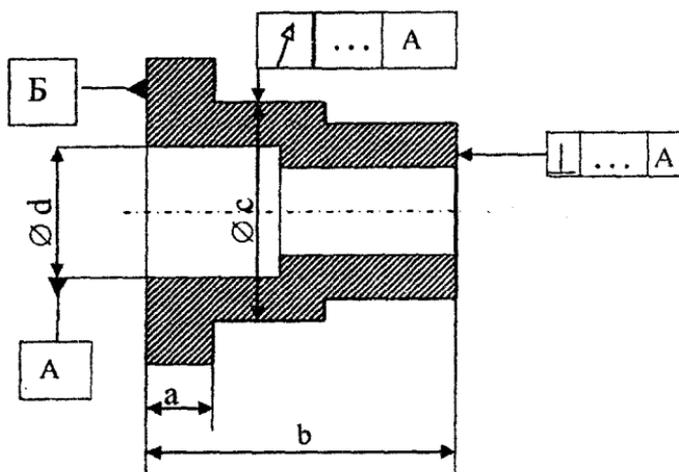
9. При обработке пазов выдержать размеры  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  и допуск симметричности оснований пазов относительно оси вала.



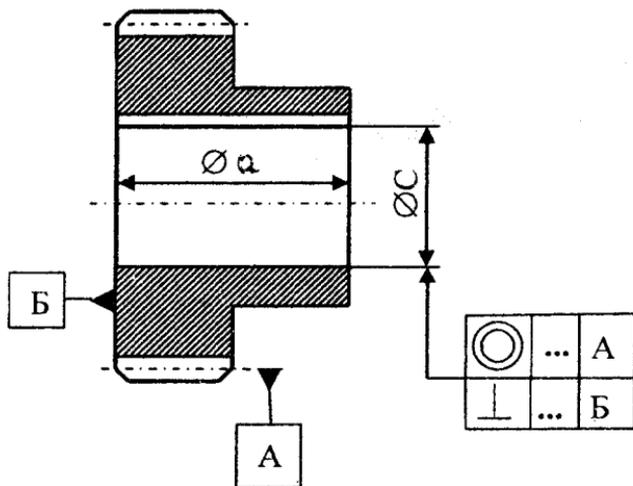
10. При обработке отверстия диаметром  $c$  выдержать размеры  $a$ ,  $b$  и допуск перпендикулярности оси отверстия относительно поверхности  $A$ .



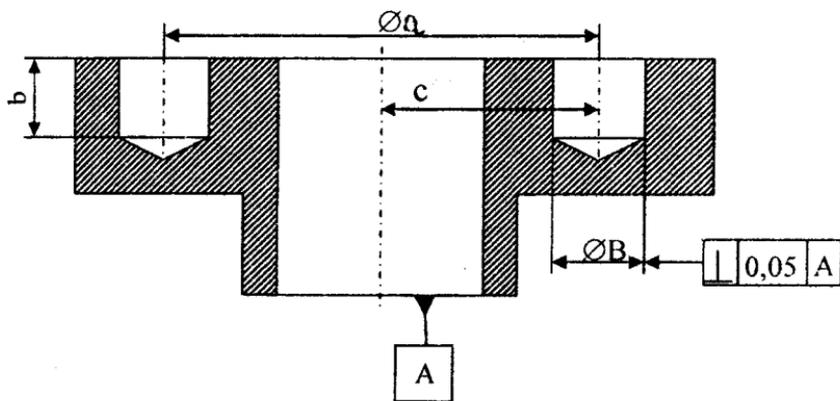
11. При обработке ступенчатой втулки выдержать размеры  $a$ ,  $b$  и допуски биения и перпендикулярности поверхности диаметра  $c$  и правого торца втулки относительно поверхностей А и Б.



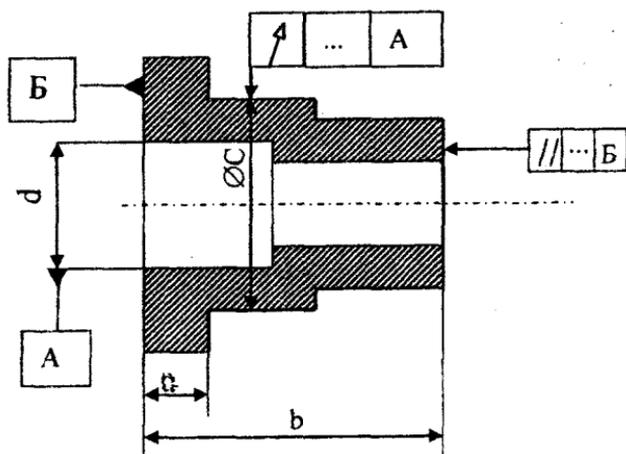
12. При обработке отверстия и меньшего торца выдержать размер  $a$ , диаметр  $c$ , допуски соосности отверстия и делительного диаметра шестерни и перпендикулярности оси отверстия относительно поверхности Б.



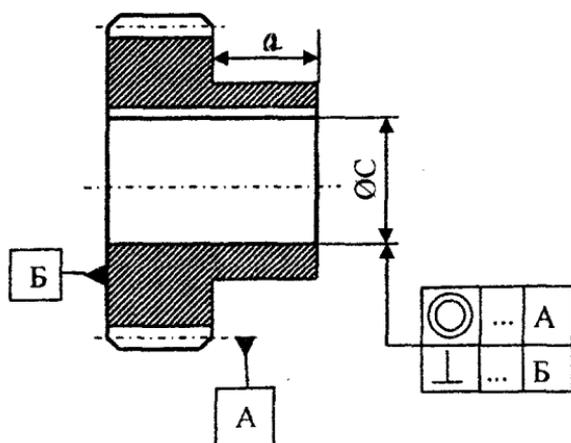
13. При обработке двух отверстий диаметром  $B$  выдержать размеры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и допуск перпендикулярности осей отверстий относительно поверхности  $A$ .



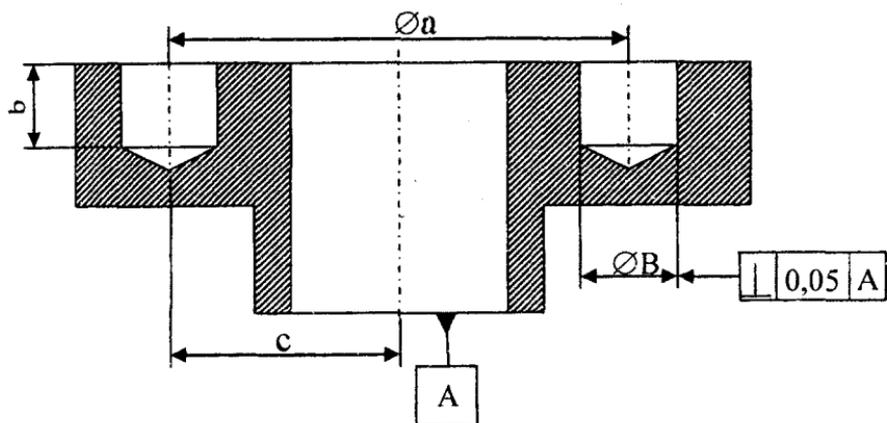
14. При обработке ступенчатой втулки выдержать размеры  $a$ ,  $b$  и допуски биения и параллельности поверхности диаметром  $c$  и правого большего торца втулки относительно поверхностям  $A$  и  $B$ .



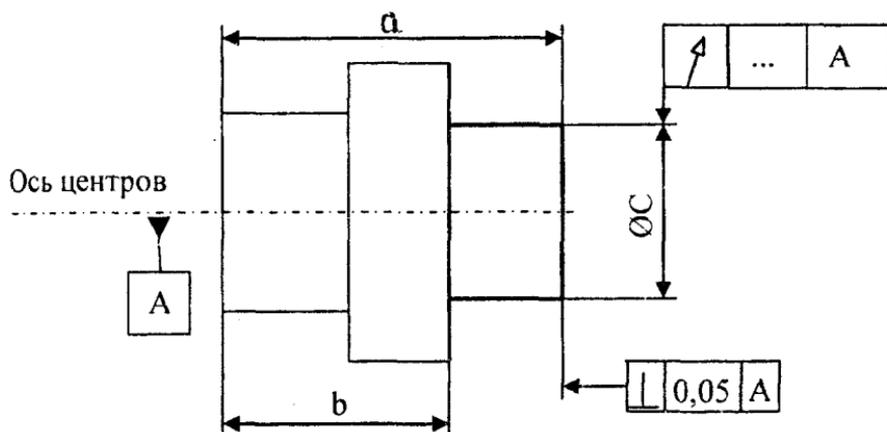
15. При обработке отверстия и меньшего торца выдержать размер  $a$ , диаметр  $C$ , допуски соосности отверстия и делительного диаметра шестерни и перпендикулярности оси отверстия относительно поверхности  $B$ .



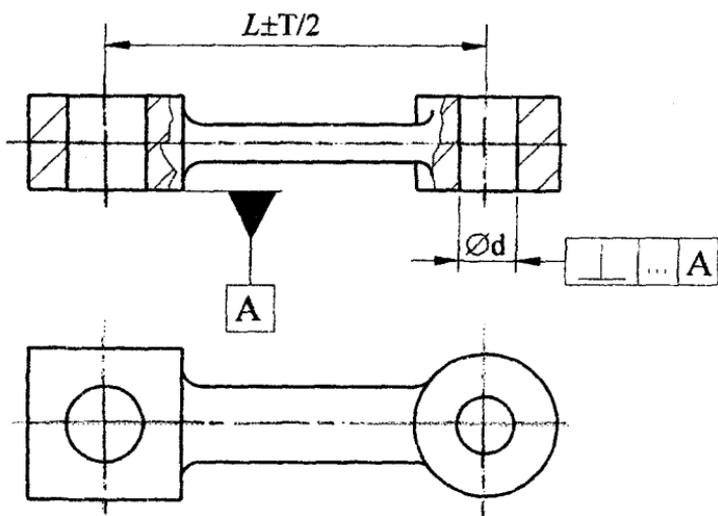
16. При обработке двух отверстий диаметром  $B$  выдержать размеры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и допуск перпендикулярности осей отверстий относительно поверхности  $A$ .



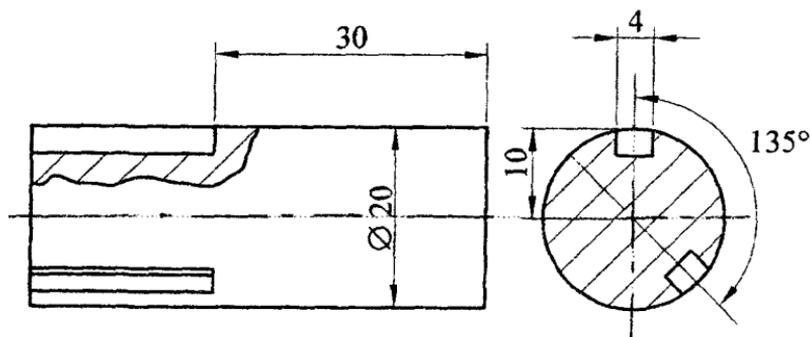
17. При обработке ступенчатого вала выдержать размеры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и допуск перпендикулярности правого торца относительно оси детали.



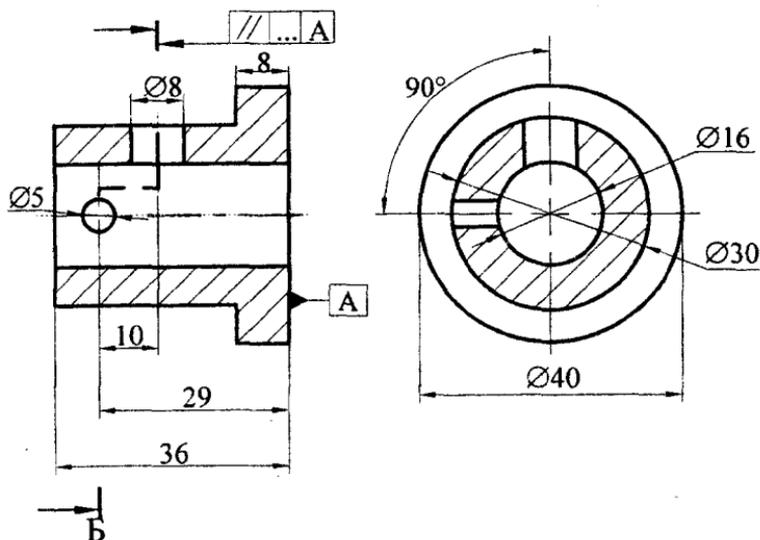
18. При сверлении отверстия диаметром  $d$  выдержать размер  $L$  и допуск перпендикулярности оси отверстия относительно поверхности А.



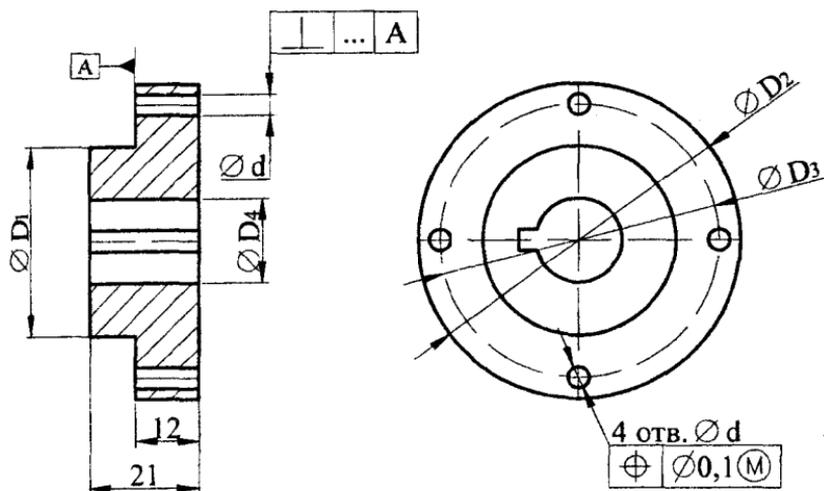
19. При обработке шпоночного паза с вертикальной осью симметрии выдержать размеры 30, 10, 4 и угол  $135^\circ$ .



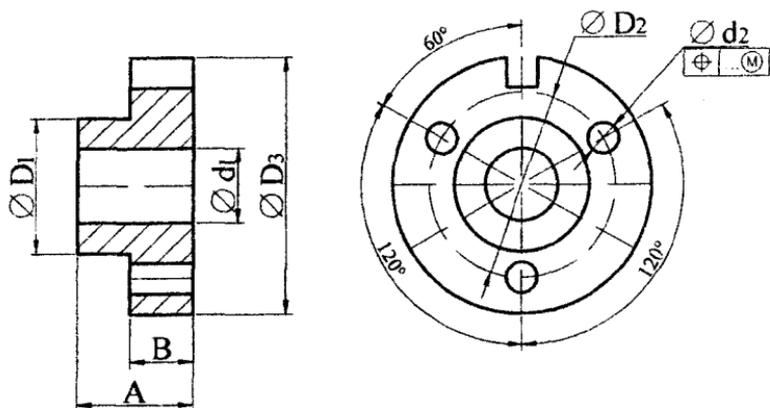
20. При обработке отверстия диаметром 8 выдержать размер 10 и обеспечить угловое положение отверстия диаметром 8 относительно отверстия диаметром 5 и параллельность оси отверстия правому торцу.



21. При обработке четырех отверстий диаметром  $d$  выдержать размер  $D_3$ , позиционный допуск расположения отверстий и перпендикулярность их осей поверхности А.

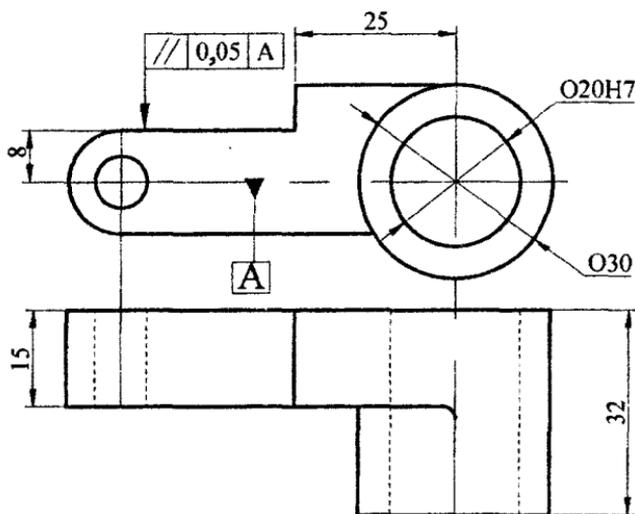


22. При обработке трех отверстий  $d_2$  обеспечить точность размеров  $d_2$  и  $D_2$ , угол  $60^\circ$  и позиционный допуск расположения отверстий.



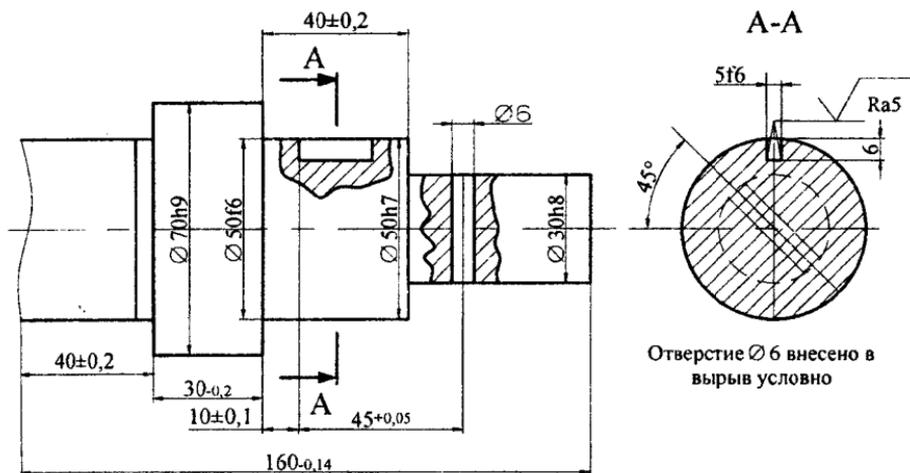
23. По эскизу к задаче 22 при обработке ступени диаметром  $D_1$  с одновременной подрезкой левых торцов выдержать размеры  $D_1 = 55_{-0,05}$ ,  $B = 15_{-0,1}$  и  $A = 35_{-0,08}$ , а также допуск параллельности левых торцов относительно правого в пределах  $0,05$  мм.

24. При фрезеровании уступа выдержать размеры 15 и 8 и параллельность его нижней грани общей плоскости симметрии отверстий в пределах  $0,05$  мм.

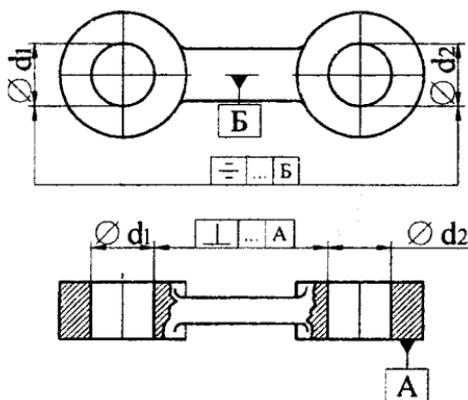


25. При сверлении отверстия диаметром 6 выдержать угол  $45^\circ$ , размер  $45^{+0,05}$ ; при фрезеровании шпоночного паза – размеры  $10 \pm 0,1$ ,  $5/6$ , глубину паза.

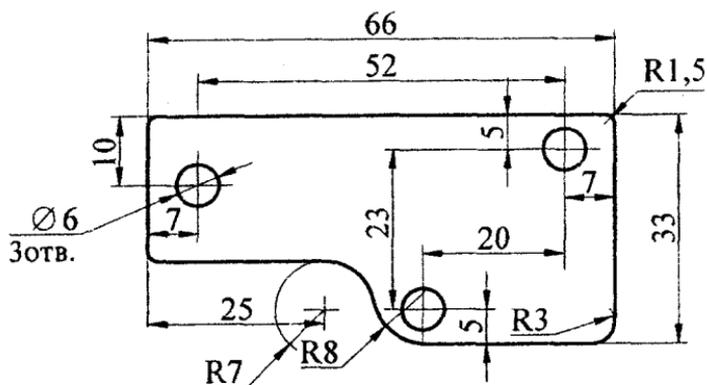
26. При шлифовании ступени диаметром  $50f6$  обеспечить допуски перпендикулярности оси относительно торцевой поверхности и соосности относительно общей оси симметрии вала в пределах  $0,05$  мм.



27. При обработке отверстий диаметром  $d_1$  и  $d_2$  во втулках рычага обеспечить допуски перпендикулярности осей отверстий относительно плоскости А и симметричности отверстий относительно общей плоскости симметрии.



28. Построить схемы базирования и упрощенную конструктивную схему приспособления для сверления трех отверстий диаметром 6 мм.



Пример 2.5. При обработке поверхности В обеспечить выполнение размера «а», допуск параллельности относительно оси симметрии А и допуск перпендикулярности относительно поверхности Б (рис. 2.12).

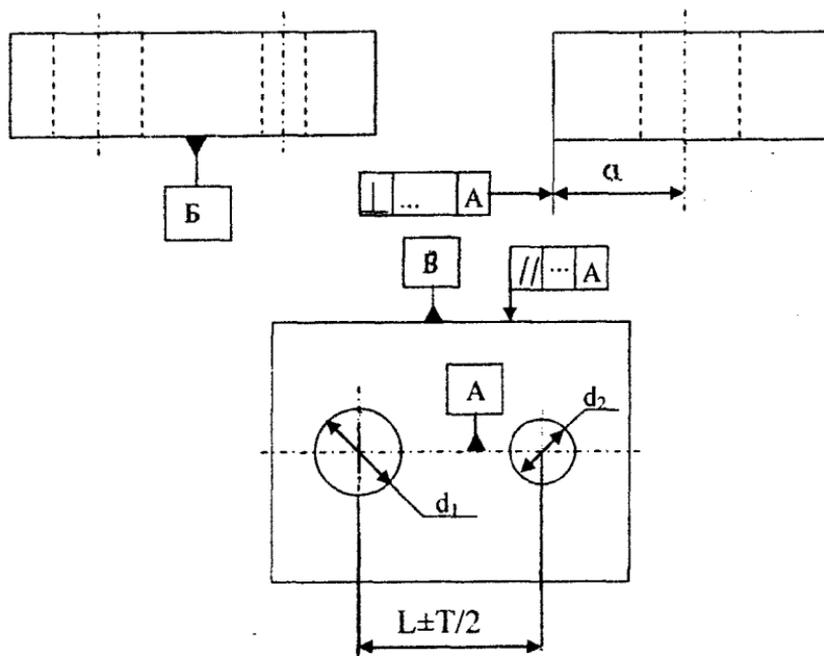


Рис. 2.12. Эскиз детали

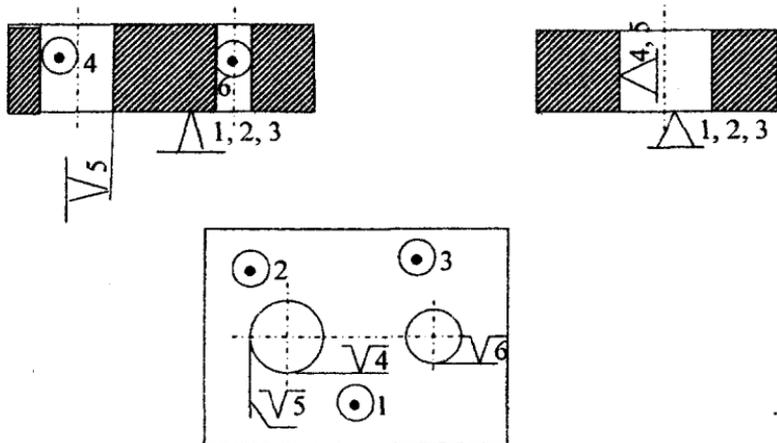


Рис. 2.13. Принятая схема базирования

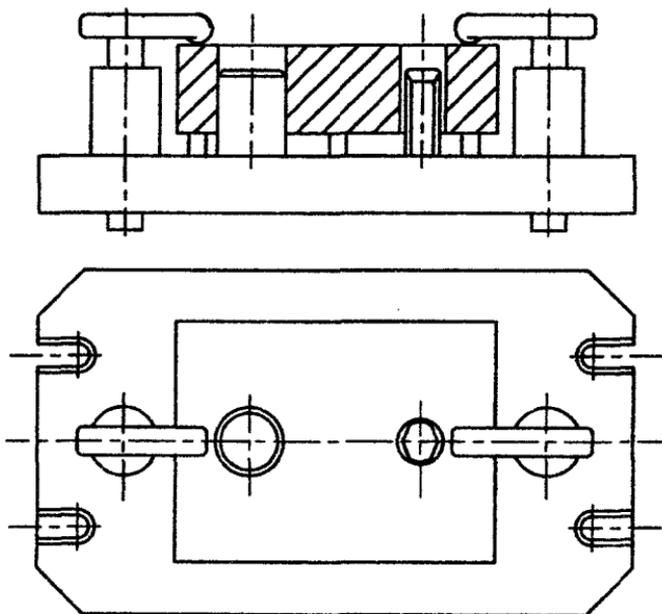


Рис. 2.14. Возможная упрощенная конструктивная реализация принятой схемы базирования

*Пример 2.6.* При сверлении отверстия диаметром  $d$  обеспечить выполнение размера «в», допуск перпендикулярности оси отверстия относительно оси вала А и симметричность отверстия относительно диаметральной плоскости вала.

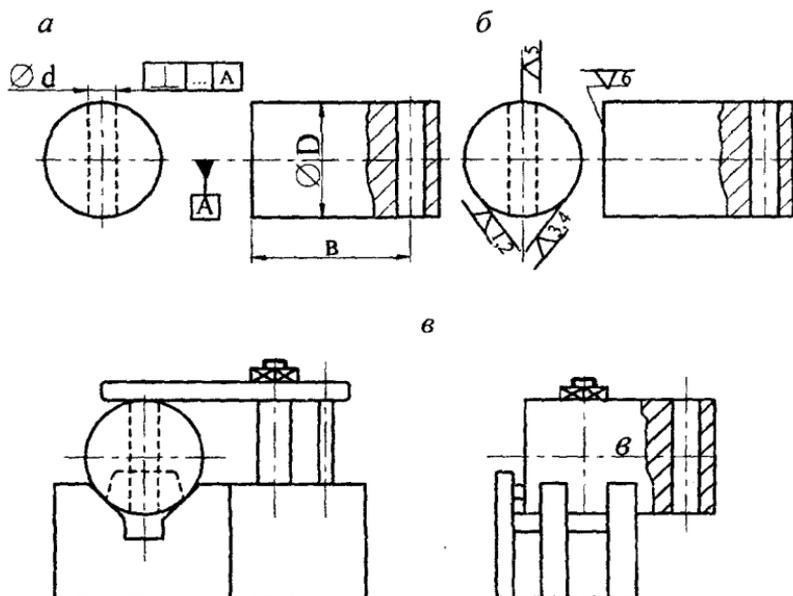


Рис. 2.15. а – эскиз детали; б – принятая схема базирования; в – возможная схема приспособления

### Вопросы для самоконтроля

1. Сущность понятия «погрешность базирования».
2. Особенности проявления погрешности базирования при получении размеров методом автоматического получения размеров на настроенных станках и методом пробных ходов и промеров.
3. Чему в общем случае равна погрешность базирования?
4. В каких случаях погрешность базирования не возникает?
5. В чем сущность принципов постоянства баз и совмещения (единства) баз?
6. Какого количества степеней свободы должна быть лишена призматическая заготовка (в зависимости от метода обработки)?
7. Как классифицируются базы в зависимости от количества лишаемых степеней свободы?
8. Какие поверхности твердого тела называются двойной направляющей, двойной опорной, опорно-направляющей, опорно-центрирующей и центрирующей базами?

9. Приведите примеры схем базирования на длинные и короткие цилиндрические и конические базовые поверхности.

10. Как влияет принятая схема базирования на простоту и надежность приспособления?

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с основными положениями теории базирования.
2. Выполнить эскиз детали в соответствии с заданием.
3. Проанализировать возможные схемы базирования для обеспечения требований чертежа и технических условий.
4. Для каждой схемы рассчитать погрешность базирования и выбрать более рациональную.
5. Для выбранной схемы базирования выполнить упрощенную конструктивную схему приспособления.

### **Содержание отчета о работе**

1. Эскиз детали.
2. Разработанные возможные схемы базирования с условными обозначениями опор, зажимов и установочных элементов в соответствии с ГОСТ 3.1107–81.
3. Расчет погрешности базирования для всех рассмотренных схем.
4. Упрощенная конструктивная схема приспособления.
5. Выводы.

### **Литература**

1. Условные обозначения опор, зажимов и установочных элементов: ГОСТ 3.1107–81. – М.: Изд-во стандартов, 1981.
2. Базирование и базы в машиностроении: ГОСТ 21495–76. – М.: М.: Изд-во стандартов, 1976.
3. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение; Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с., ил.
4. Горохов, В.А. Технология обработки материалов: учебное пособие для вузов / В.А. Горохов. – Минск: Беларуская навука, 2000. – 439 с.: ил., табл.

## ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫБОРА СХЕМЫ БАЗИРОВАНИЯ

**Цель работы:** ознакомиться с основными теоретическими положениями и особенностями выбора баз, в том числе и с помощью теории графов, получить практические навыки построения графов размерных связей и определять по ним наиболее рациональную схему базирования.

### Основные положения

Каждой из операций выбранного варианта техпроцесса должна соответствовать определенная схема базирования, которая в первую очередь должна обеспечить требуемую точность взаимного положения обрабатываемых поверхностей (параллельность, перпендикулярность или требуемый угол поворота относительно системы координат станка) и только потом – заданную точность линейных размеров. Точность относительных поворотов обеспечивают установочная, направляющая и двойная направляющая базы [1]. Обозначим двусторонние связи, ограничивающие повороты относительно осей  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ , через  $X_{ij}$ ,  $Y_{ij}$  и  $Z_{ij}$ , а расстояния между точками, обеспечивающими угловую ориентацию,  $L_{xi}$ ,  $L_{yi}$  и  $L_{zi}$ . Эти расстояния ограничиваются соответствующими габаритными размерами технологических баз.

Достаточность габаритных размеров технологических баз определяется габаритными размерами детали в плоскости, перпендикулярной к оси угловой ориентации заготовки. Например, на рис. 3.1 размерами, определяющими ориентацию заготовки в направлении  $Y_{ij}$ , являются габаритные размеры  $L_x = 200$  мм вдоль оси  $X$  и  $L_z = 280$  мм вдоль оси  $Z$ . Для приближенной оценки критического расстояния (габаритного размера технологической базы) можно пользоваться следующей системой неравенств [1]:

$$\left. \begin{aligned} L_{xi} &\geq 0,25(L_y + L_z) \\ L_{yi} &\geq 0,25(L_x + L_z) \\ L_{zi} &\geq 0,25(L_x + L_y) \end{aligned} \right\}$$

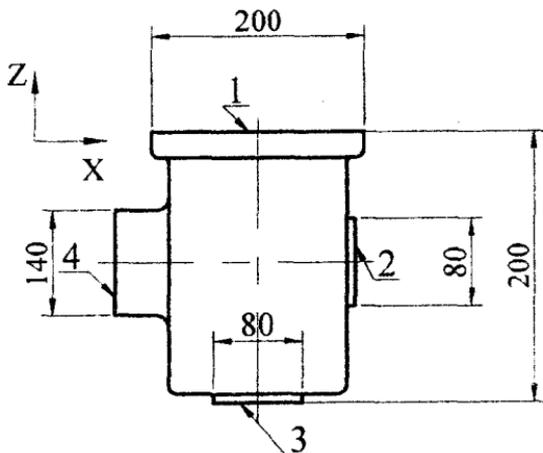


Рис. 3.1. К расчету критической протяженности базы [1]

Тогда для детали, изображенной на рис. 3.1,  $L_y \geq 120$  мм. Следовательно, в соответствии с системой уравнений, представленной выше, для угловой ориентации заготовки относительно оси  $Y$  можно использовать только поверхности 1 и 4, так как их протяженность в нужном направлении превышает критическое значение. Поверхности 2 и 3 можно использовать только как опорные базы.

Но не одни только размеры ограничивают возможность использования поверхностей в качестве технологических баз. К существенным ограничениям следует в первую очередь отнести недоступность поверхности, т. е. принципиальную невозможность ее использования как базы для базирования выверкой или сопряжением. Другим ограничивающим фактором является неудобное или неприемлемое расположение базы относительно обрабатываемой поверхности. Например, расположение базы и параллельной ей обрабатываемой поверхности с одной стороны заготовки затрудняет ее ориентацию при базировании сопряжением. Третьим ограничением является величина погрешности базирования, которая не должна превышать четверти допуска на соответствующий размер. Чтобы погрешность базирования была равна нулю, необходимо совмещение измерительной и технологической баз. Наиболее подходящие для баз поверхности легче всего обнаружить с помощью графов размерных связей. Например, для обработки поверхностей 4, 5 и 8, чтобы вы-

держат расстояние  $A_4$  до оси поверхности 5 заготовки детали, представленной на рис. 3.2, в качестве технологической базы лучше всего использовать поверхность 1. Если же эту поверхность использовать в качестве технологической базы для обработки поверхностей 7 четырех отверстий  $d_3$ , то возникает погрешность базирования (смещение осей отверстий относительно окружности, центр которой должен совпадать с осью 05) для размера  $A_8$ . Потому в качестве базы для обработки поверхностей 7 лучше выбрать ось 05 поверхности 5, так как погрешность базирования в этом случае будет меньше.

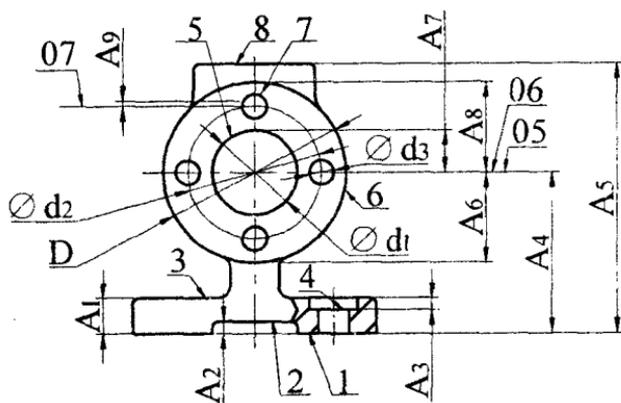


Рис. 3.2. Эскиз корпуса к выбору баз

На практике может оказаться, что требуемый допуск значительно превышает полученную расчетом погрешность базирования. Тогда с целью повышения концентрации обработки в операции и снижения разнообразия технологической оснастки в качестве базы для обработки всех поверхностей лучше принять одну и ту же базу, например, поверхность 1. Такой выбор соответствует принципу постоянства баз, когда для обработки большинства или всех поверхностей принимается такая поверхность, к которой на графе размерных связей подходит наибольшее число ребер.

Обычно у готовой детали могут быть в наличии как обрабатываемые, так и исходные (необрабатываемые) поверхности, окончательное формирование которых завершено на стадии заготовительных операций. В таком случае комплект баз для первой операции

должен состоять из исходных поверхностей, причем установочную и двойную направляющую исходные базы можно использовать только один раз. При выборе исходных баз преследуют две цели:

1. Обеспечить заданное чертежом относительное положение обработанных и необработанных поверхностей детали;

2. Обеспечить равномерное распределение припуска на поверхности, обрабатываемой инструментом, жесткость крепления которого невелика.

Первая задача достаточно легко решается с помощью графа размерных связей. Это должна быть исходная поверхность, связанная с обработанной. Для детали, представленной на рис. 3.2, это будет поверхность 3. Тогда погрешность базирования для размера  $A_1$ , который связывает группы исходных и обработанных поверхностей, будет равна нулю. Однако в некоторых случаях приходится отступать от этого правила. Например, согласно графу размерных связей детали (рис. 3.3, б), представленной на рис. 3.3, а, базой для первой операции должна быть поверхность 4. Но на этой же детали имеется элемент, размер  $B$  которого, во-первых, мал, а во-вторых, не проставлен на чертеже. Поле рассеяния этого размера  $\omega(B)$ , согласно размерной цепи, изображенной на рис. 3.3, в, определяется выражением

$$\omega(B) = TA_2 + TC_1 + TC_2,$$

где  $TA_2$  — допуск размера заготовки;

$TC_1$  и  $TC_2$  — допуски технологических размеров.

Точностью технологических размеров можно управлять, выбирая тот или иной метод обработки. Точность же размеров заготовки (расстояния между исходными поверхностями) задана заранее и не может быть изменена при механической обработке. Поэтому вполне вероятны случаи, когда вследствие колебаний размера  $B$  указанный элемент детали не сможет выполнять свое служебное назначение.

Если в качестве исходной базы принять поверхность 5, то, согласно размерной цепи, представленной на рис. 3.3, г, поле рассеяния размера  $B$  определяется из выражения

$$\omega(B) = TC_1 + TC_2.$$

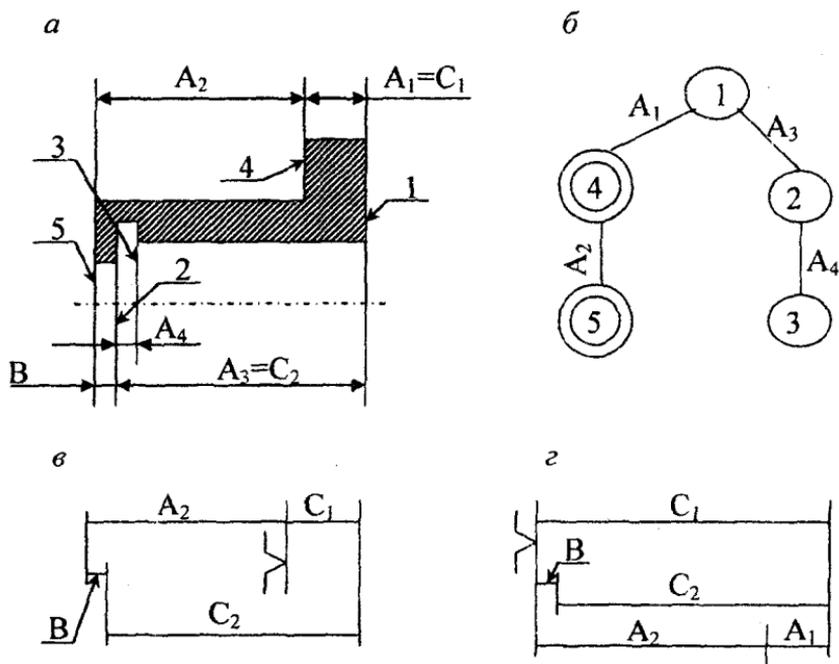


Рис. 3.3. Пример выбора базы для первой операции изготовления детали типа втулки

Тогда за счет управления точностью размеров  $C_1$  и  $C_2$  можно обеспечить заданную точность размера  $B$ .

Для достижения второй цели (обеспечения равномерности распределения припуска) в качестве исходной базы принимается та поверхность, на которой толщина удаляемого слоя металла должна быть одинаковой (равномерной). Тогда даже при маложесткой технологической системе можно добиться заданной точности относительного положения данной поверхности за меньшее число переходов.

При выборе порядка выполнения переходов следует руководствоваться следующими рекомендациями:

1. Вначале обрабатываются поверхности комплекта баз (в порядке уменьшения числа лишаемых степеней свободы), от которых будет выполняться большинство переходов этапа. Это поверхности, имеющие на графе размерных связей наибольшее число выходящих ребер, т. е. связанные с другими поверхностями наибольшим числом размеров.

2. В заготовке детали, не являющейся телом вращения, перед обработкой отверстий должны быть обработаны плоскости.

3. Переходы обработки поверхностей, образующих основной контур детали, выполняются раньше, чем переходы обработки поверхностей, образующих уступы, пазы и т. п.

4. Порядок обработки пересекающихся поверхностей устанавливается таким, чтобы уменьшить увод инструмента и вероятность его поломки, снизить затраты на последующую слесарную обработку (удаление заусенцев). На рис. 3.4 показаны некоторые наиболее часто встречающиеся разновидности пересечения и расположения отверстий. Порядок обработки поверхностей соответствует присвоенным им на рисунке номерам.

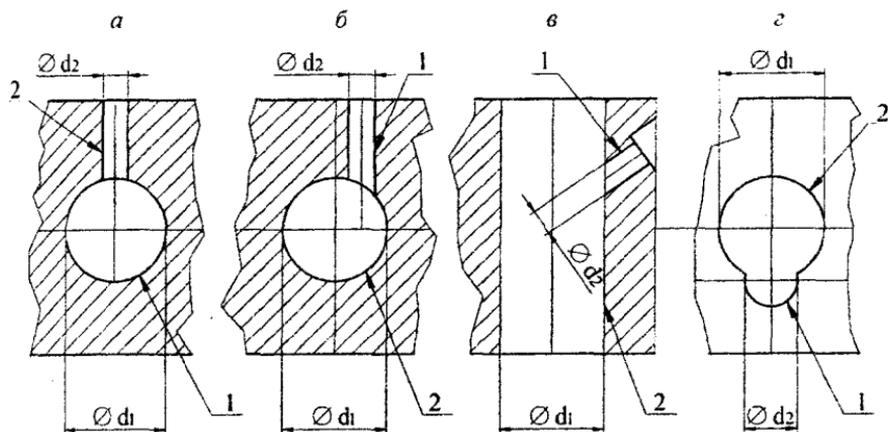


Рис. 3.4. Влияние относительного расположения отверстий на последовательность их обработки при  $d_2 < d_1$

Если оси отверстий пересекаются под прямым углом, то первым обрабатывается отверстие большего диаметра  $d_1$ , рис. 3.4, а. Если отверстия пересекаются под острым углом, скрещиваются или параллельны, рис. 3.4, б–г, то обработку начинают с отверстия меньшего диаметра. Перед сверлением углового отверстия диаметром  $d_2$ , рис. 3.4, в, для предотвращения увода или поломки сверла необходимо предварительно обработать поверхность, перпендикулярную его оси.

5. На окончательном этапе поверхности обрабатываются в порядке, обратном их точности, т. е. чем точнее поверхность, тем позже она обрабатывается.

6. Порядок обработки поверхностей должен обеспечить наименьшее количество переустановок и минимум затрат времени на вспомогательные перемещения инструмента или заготовки.

7. Порядок обработки поверхностей должен учитывать специальные требования к точности относительного их расположения, указанные на чертеже или оговоренные техническими требованиями. Обеспечение заданных требований к точности расположения поверхностей может быть реализовано обработкой всех поверхностей за один установ от единой базы, от единой базы за несколько установов и от разных баз при использовании одной из них, связанной требованиями точности относительного расположения, в качестве базы.

Наиболее целесообразным с точки зрения точности является совмещение конструкторской, измерительной и технологической баз. В этом случае заданные чертежом размеры и технические условия выполняются непосредственно, так как при изготовлении детали выдерживаются и измеряются те же параметры, что и в конструкторской документации. При рациональном выборе баз можно в технологических картах задать, а при обработке выдержать размеры  $S_1$  и  $S_2$  и технические условия  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , указанные на чертеже (рис. 3.5).

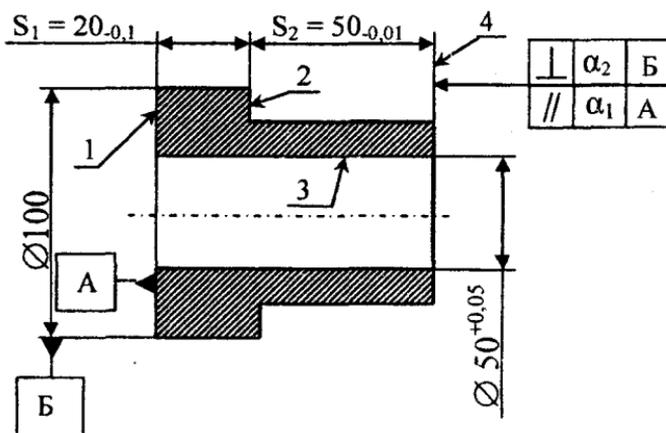


Рис. 3.5. Эскиз детали

Если невозможно совместить все три базы (конструкторскую, технологическую и измерительную), совмещают две – технологическую и измерительную. В случае невозможности совмещения и этих баз используют принцип постоянства баз, когда на всех операциях использу-

ется одна и та же технологическая база, или минимизируют количество баз, когда вынужденную смену баз производят как можно реже.

Ниже представлен один из возможных вариантов обработки втулки, представленной на рис. 3.5, и графы размерных цепей размеров  $A_i$  и пространственных отклонений  $\alpha_i$ , рис. 3.6.

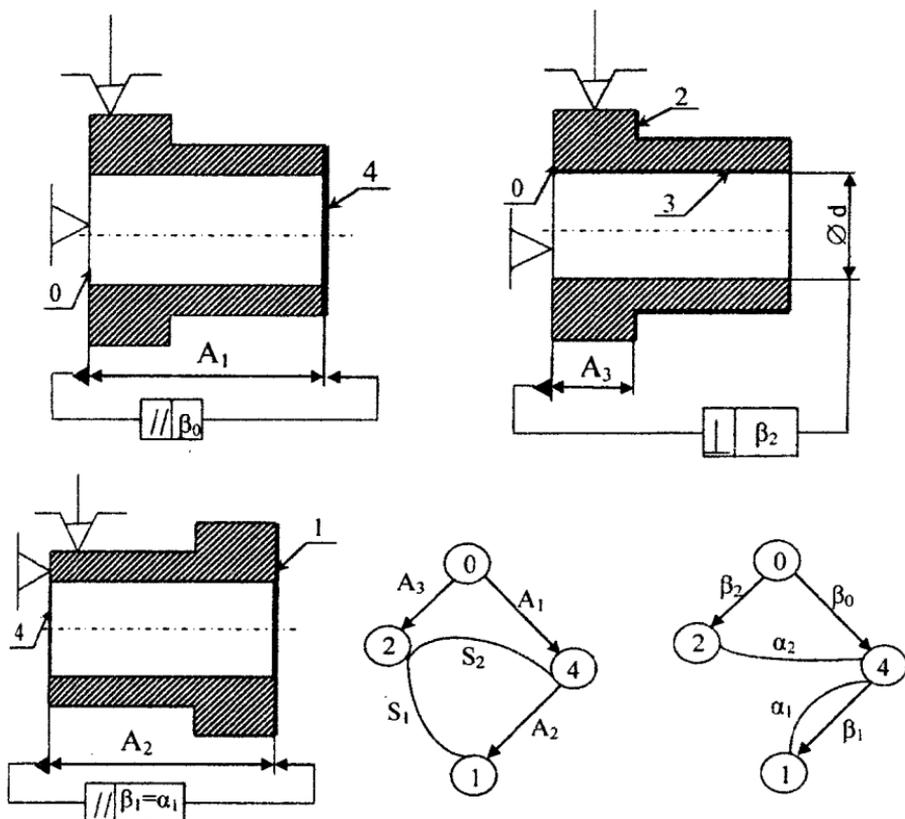


Рис. 3.6. Эскизы механической обработки и графы размеров и взаимного положения поверхностей

**Примечание.** При построении графов все поверхности заготовки принимаются за его вершины и изображаются кружками с индексами (номерами) поверхностей. Заданные конструкторские размеры на графах обозначаются неориентированными дугами окружностей, технологические операционные размеры и размеры заготовок – стрелками, припуски – ломаной линией. Обычно на размерных схемах

технологических процессов конструкторские размеры обозначаются прописными буквами русского алфавита с индексом, обозначающим номер конструкторского размера, операционные технологические размеры – прописными буквами латинского алфавита с индексом, обозначающим порядковый номер операционного размера.

Для удобства при проведении размерного анализа конструкторские размеры чаще всего обозначаются буквой  $A_i$ , где  $i$  – порядковый номер конструкторского размера, припуски –  $z_m$ , где  $m$  – номер промежуточной или окончательной поверхности, к которой относится припуск. Технологические размеры обозначают буквой  $S_k$ , где  $k$  – порядковый номер технологического перехода. Размеры же заготовки обозначают буквой  $Z_r$ , где  $r$  – порядковый номер поверхности заготовки.

Заданные конструктором пространственные отклонения на графах указываются дугами окружностей, выполняемые на операциях размеры – стрелками, исходящими из базовых поверхностей и входящими в получаемые в результате выполнения данной операции или перехода.

В предложенном варианте техпроцесса все измерительные базы при выполнении операционных размеров совмещены с технологическими (размеры и технические требования заданы от установочных баз  $\theta$  и  $4$ ). Однако ни одна технологическая и измерительная базы не совмещены с конструкторской (исключение составляет база  $4$ , являющаяся одновременно технологической и измерительной при обеспечении допуска параллельности  $\alpha_1$ ).

Свидетельством допущенного несовпадения баз является образование размерных цепей  $A_i$  и  $\alpha_i$ , см. рис. 3.5. Все заданные конструктором параметры обеспечиваются с помощью многозвенных размерных цепей и только  $\alpha_1$  получается непосредственно. При выполнении размера  $A_1$  базы менялись дважды (поверхности  $\theta$  и  $4$ ). При выполнении размера  $A_2$  и  $\alpha_2$  использовалась постоянная база – поверхность  $\theta$ .

При совмещении баз возникают самые короткие размерные цепи только с одним составляющим звеном (например,  $\beta_1$  в цепи  $\alpha_1$ ), при соблюдении принципа постоянства баз – с двумя составляющими звеньями ( $\beta_0$  и  $\beta_2$  в цепи  $\alpha_2$ ), при смене баз образуются многозвенные размерные цепи ( $S_1, S_2, S_3$  в цепи  $A_1$ ). Всякое увеличение количества составляющих звеньев размерной цепи приводит к ужесточению допусков на подлежащие обработке составляющие звенья.

Возможность соблюдения принципов совмещения или постоянства баз зависит от принятой последовательности обработки.

*Пример 3.1.* При построении техпроцесса с измененным порядком обработки используется постоянная база (поверхность 1). В связи с этим, упрощаются условия выдерживания заданных на чертеже размеров (рис. 3.7). Уже не один, а два параметра ( $S_1$  и  $\alpha_1$ ) получаются непосредственно, нет многозвенных размерных цепей.

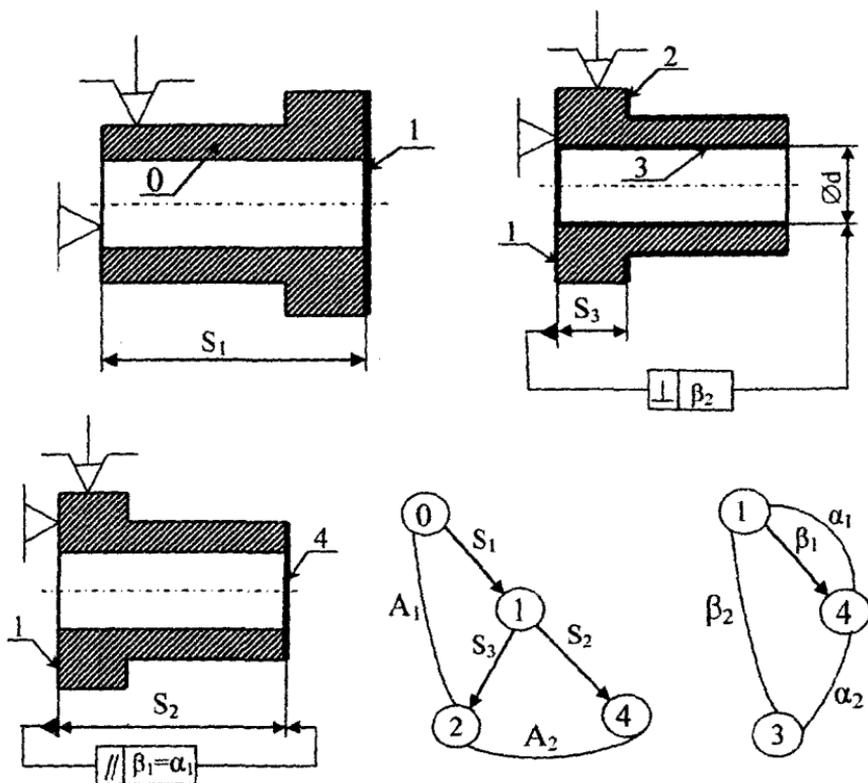


Рис. 3.7. Операционные эскизы и графы размерных цепей при изменении последовательности операций

При выборе последовательности обработки следует руководствоваться следующими правилами:

1. Вначале обрабатывается поверхность, от которой на чертеже задано наибольшее количество размеров.
2. Последовательность обработки должна совпадать с последовательностью простановки размеров на чертеже.

Рассмотрим еще один пример обработки втулки, где в отличие от предыдущих техпроцессов поверхность 4 обрабатывается послед-

ней. В результате все заданные размеры удается получить непосредственно. Так,  $A_1$  и  $\alpha_1$  выдерживаются благодаря совмещению всех трех баз (поверхность 1 является для них и конструкторской, и технологической, и измерительной базой).  $A_2$  и  $\alpha_2$  получаются из-за совмещения двух баз: конструкторской и измерительной (база 2 для  $A_2$ , база 4 – для  $\alpha_2$ ). Такое совмещение баз оказалось возможным благодаря рациональному выбору последовательности обработки.

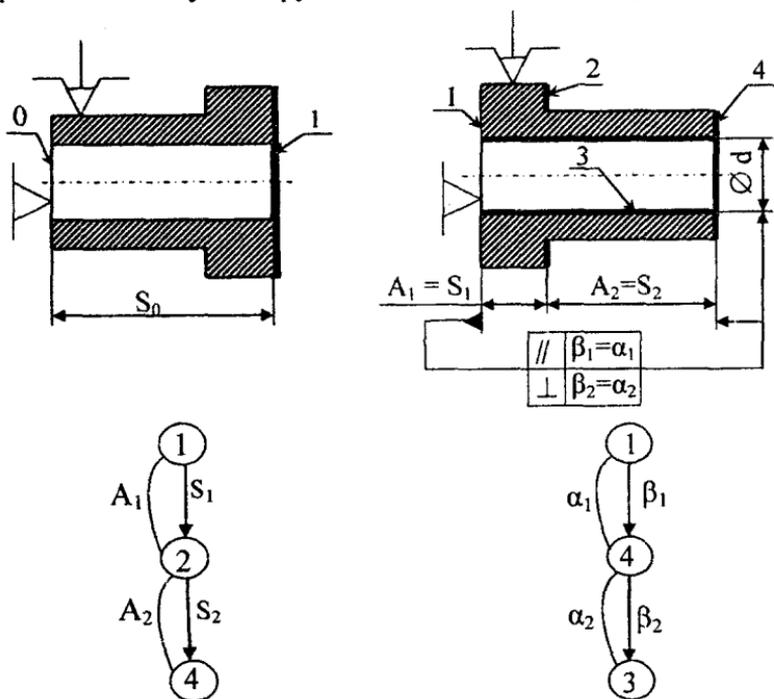


Рис. 3.8. Операционные эскизы и графы размерных цепей при совмещении двух баз

Совмещения баз можно достичь обработкой за одну установку, см. рис. 3.8, где поверхности 2 и 4, заданные по чертежу размером  $A_2$ , обрабатываются на одной операции за одну установку. Аналогично при обработке поверхностей 4 и 3, заданных допуском перпендикулярности  $\alpha_2$ , удалось совместить конструкторские и технологические базы.

*Пример 3.2.* Заданы эскиз вала и маршрут его обработки. Необходимо получить отверстие диаметром  $b^{+0,2}$  и шпоночный паз, выдержав размеры  $A_4$  и  $A_5$ . Поверхности 3 и 4 не разрешается использовать в качестве технологических и измерительных баз.

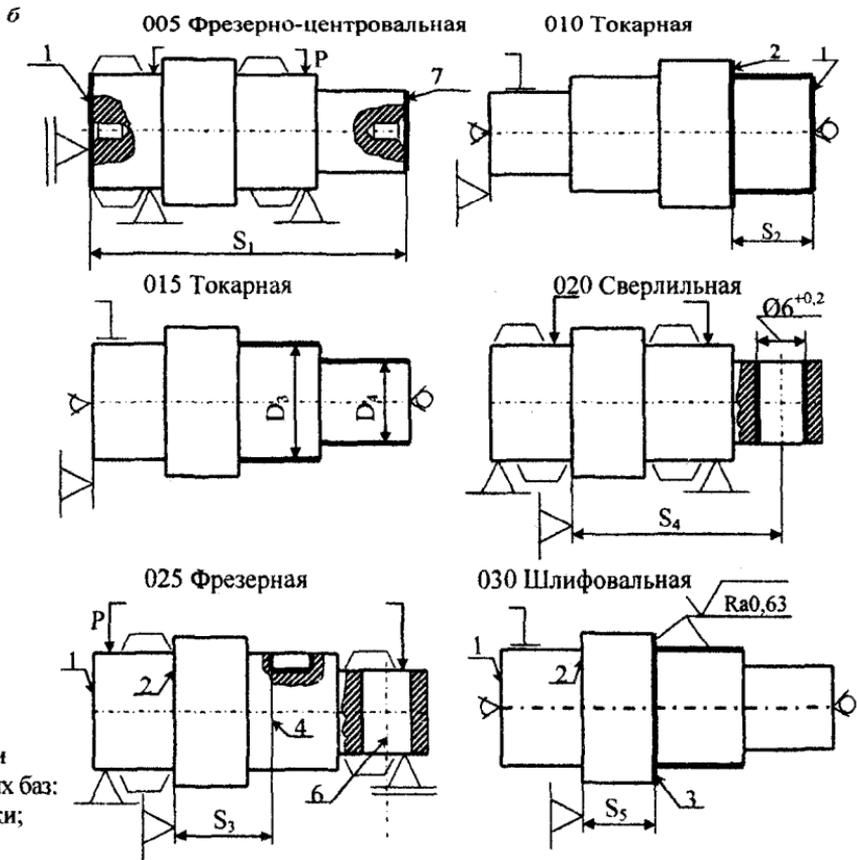
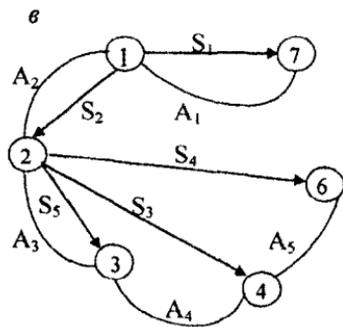
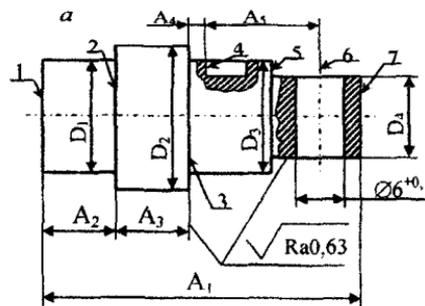


Рис. 3.9. Графическое решение задачи по выбору технологических и измерительных баз:  
 а – эскиз детали; б – маршрут обработки;  
 в – граф размерных цепей

Как видно из маршрута обработки и графа, в качестве технологических баз были выбраны поверхности 1, 2, 7. Анализируя граф, можно заключить, что наиболее точно по отношению к конструкторской базе 3 расположена поверхность 2. В связи с этим она была принята в качестве технологической и измерительной базы при фрезеровании шпоночного паза. Это обеспечивает наиболее простую (самую короткую) размерную цепь, обеспечивающую точность размера  $A_4$ . Эту же поверхность 2 следует принять в качестве технологической и измерительной базы при сверлении отверстия диаметром  $6^{+0,2}$ . Этим самым наиболее просто обеспечивается конструкторский размер  $A_5$ . В итоге оказалось, что поверхность 2 служит в качестве постоянной базы для трех операций (фрезерной, сверлильной и шлифовальной).

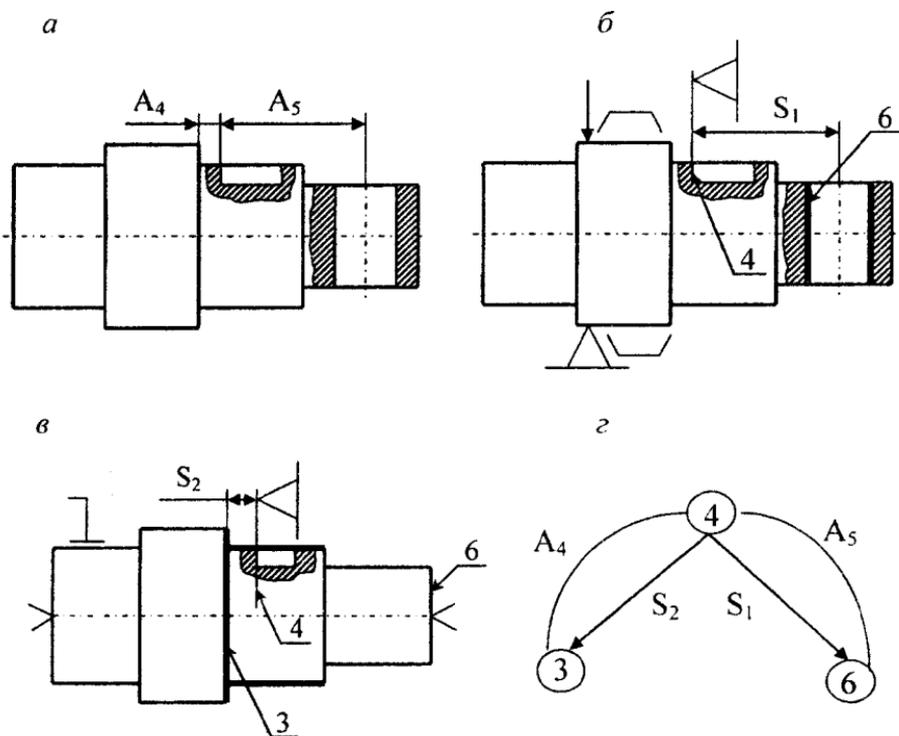
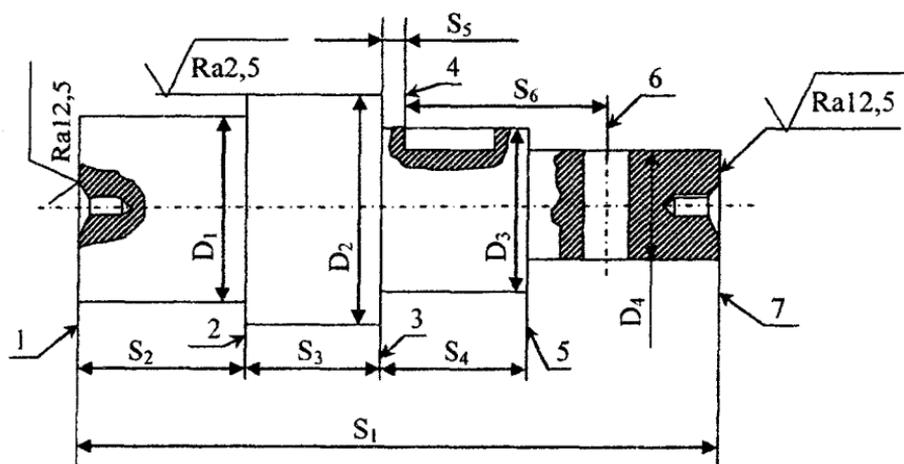


Рис. 3.10. Решение задачи при совмещении баз:  
 а – эскиз детали; б и в – эскизы сверлильной и шлифовальной операций;  
 г – граф размерных связей

Попытаемся изменить схему базирования, используя принцип совмещения баз. Как и в предыдущем случае, необходимо обработать отверстие диаметром  $6^{+0,2}$  и шпоночный паз, выдержав размеры  $A_4$  и  $A_5$ . Для того чтобы фрезерование паза производилось с совмещением конструкторских и технологических баз, окончательную обработку конструкторской базы (торец 3) следует производить до операции фрезерования. Но такое решение противоречит указанному маршруту обработки. Поэтому предлагается шлифовать торец от паза, выдерживая размер  $S_2$ , что возможно при работе методом пробных проходов и промеров. Для сверления отверстия диаметром  $6^{+0,2}$  принцип совмещения баз будет также выдержан. В этом случае размеры  $A_4$  и  $A_5$  выдерживаются непосредственно.

### Задания к практической работе

1. Определить рациональные схемы базирования при обработке указанных в задании поверхностей вала.



## Данные для расчета

Но- мер ва- ри- анта	Размеры и номера поверхностей						Шерохова- тость торцо- вой поверх- ности №			Квалитет точности			Шерохова- тость цилинд- рических поверхностей		
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	2	3	5	D <sub>1</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
1	№ 1—7; 160 <sub>-0,5</sub>	№ 1—2; 40±0,2	№ 2—3; 30 <sub>-0,2</sub>	№ 3—5; 40±0,05	№ 3—4; 10 <sub>-0,3</sub>	№ 6—4; 45±0,15	Ra 2,5	Ra 0,63	Ra 1,25	9	5	7	Ra 2,5	Ra 0,63	Ra 1,25
2	№ 7—5; 50±0,2	№ 1—5; 110 <sub>-0,2</sub>	№ 2—3; 40 <sub>-0,1</sub>	№ 5—2; 70 <sub>-0,05</sub>	№ 4—5; 30 <sup>-0,1</sup>	№ 6—3; 50±0,1	Ra 1,25	Ra 2,5	Ra 0,63	8	9	5	Ra 1,25	Ra 2,5	Ra 0,63
3	№ 7—2; 100 <sub>-0,1</sub>	№ 2—5; 60 <sub>-0,3</sub>	№ 1—2; 30 <sup>+0,34</sup>	№ 1—3; 50 <sub>-0,05</sub>	№ 2—4; 25 <sub>-0,4</sub>	№ 6—2; 70±0,1	Ra 2,5	Ra 1,25	Ra 0,63	10	8	6	Ra 2,5	Ra 2,5	Ra 1,25
4	№ 5—3; 40 <sub>-0,1</sub>	№ 5—1; 100 <sub>-0,3</sub>	№ 1—2; 50 <sup>+0,05</sup>	№ 2—7; 90 <sub>-0,3</sub>	№ 4—6; 55±0,2	№ 6—7; 20±0,15	Ra 1,25	Ra 1,25	Ra 2,5	7	6	8	Ra 2,5	Ra 0,63	Ra 2,5

**Примечания:**

1. Предполагаемый маршрут обработки состоит из следующих операций:

005 Фрезерно-центральная;

010 Токарная;

015 Токарная;

- 020 Фрезерная;
- 025 Сверлильная;
- 030 Шлифовальная;
- 035 Шлифовальная.

2. Операции 020–030 можно выполнять в любой последовательности.

3. Исходными данными при решении каждой задачи являются чертеж детали, перечень подлежащих обработке поверхностей, размеры поверхностей и их шероховатость, а также взаимное расположение поверхностей.

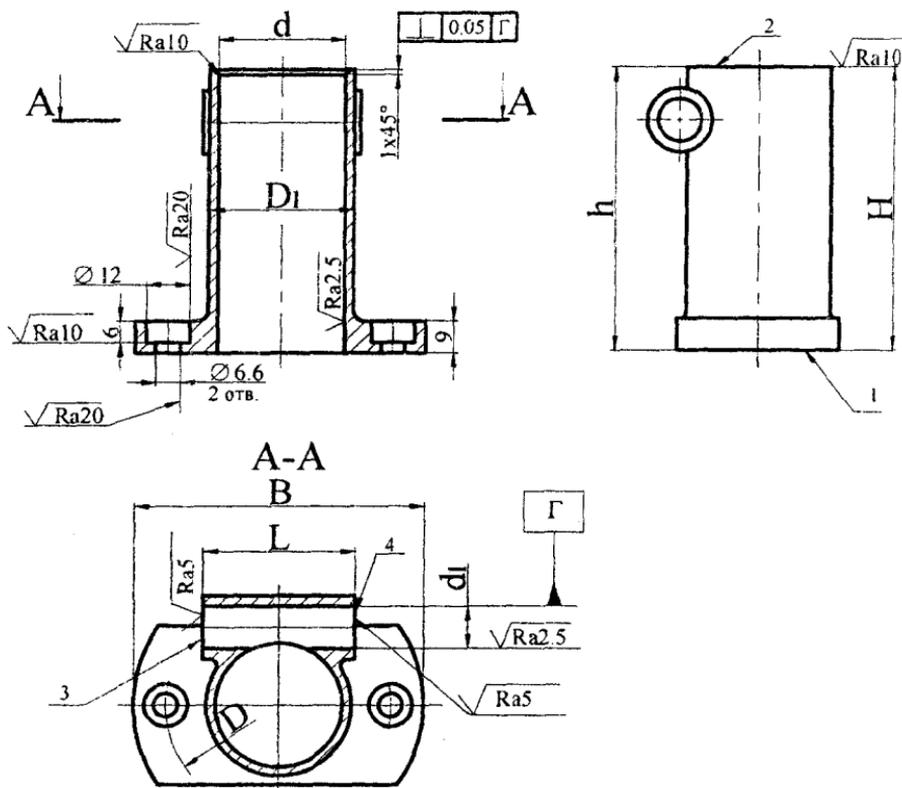
4. Маршрут обработки можно изменять.

2. Определить рациональные схемы базирования при обработке указанных в задании поверхностей корпуса

Таблица 3.2

Данные для расчета

Но- мер вари- анта	Размеры поверхностей						Шероховатость торцовых поверх- ностей				Квалитет точности			Шерохо- ватость цилинд- рических поверхно- стей	
	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	1	2	3	4	$C$	$d$	$d_1$	$d$	$d_1$
1	$C = 16$	$H = 40$	$h = 30$	$L = 34$	$d = 25$	$d_1 = 12$	№ 1 Ra 10	№ 1 Ra 10	№ 1 Ra 5	№ 1 Ra 5	$js 12$	H7	H8	Ra 2,5	Ra 2,5
2	$C = 22$	$H = 80$	$h = 65$	$L = 42$	$d = 35$	$d_1 = 16$	№ 1 Ra 5	№ 1 Ra 10	№ 1 Ra 2,5	№ 1 Ra 2,5	$js 10$	H6	H7	Ra 1,25	Ra 2,5
3	$C = 18$	$H = 130$	$h = 65$	$L = 42$	$d = 30$	$d_1 = 16$	№ 1 Ra 1,25	№ 1 Ra 5	№ 1 Ra 1,25	№ 1 Ra 1,25	$js 8$	H8	H7	Ra 1,25	Ra 2,5
4	$C = 22$	$H = 55$	$h = 45$	$L = 34$	$d = 35$	$d_1 = 16$	№ 1 Ra 2,5	№ 1 Ra 5	№ 1 Ra 2,5	№ 1 Ra 2,5	$js 10$	H7	H8	Ra 1,25	Ra 2,5



Неуказанные в таблице размеры для первого и второго вариантов  $B = 70$ ,  $B = 40$ ,  $D = 52$ ,  $D_1 = 32$ ; для третьего и четвертого  $B = 80$ ,  $B = 45$ ,  $D = 62$ ,  $D_1 = 40$ .

**Примечание:** при составлении схемы базирования в первую очередь обеспечить точность взаимного расположения поверхностей.

3. Определить рациональную схему базирования представленного на чертеже фланца при обработке указанных в табл. 3.3 поверхностей.

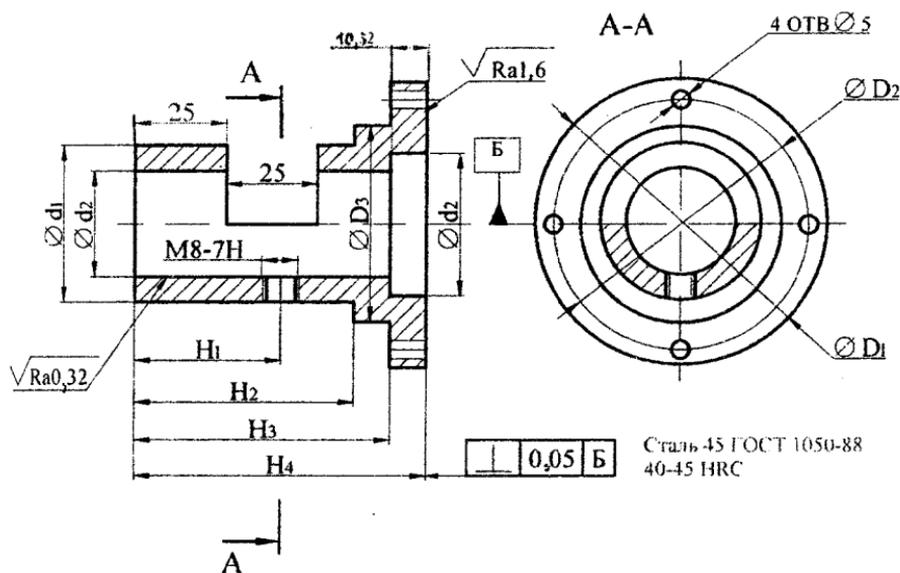


Таблица 3.3

Данные для расчета (размеры и шероховатость)

Номер варианта	Размеры поверхностей, мм										
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$
1	44h11	30H7	40H11	80h14	70h14	55e6	40	60	70	80	30
2	50h11	35H7	45H11	90h14	75h14	62e6	50	70	80	90	40
3	60h11	40H7	60H11	95h14	85h14	70e6	35	55	65	75	25
4	80h13	60H6	75H12	120h9	105h14	90e7	65	85	95	105	55
5	35h12	25H8	35H12	70h12	60h14	45e8	35	55	65	75	25
6	55h12	40H7	50H10	95h10	75h14	65e6	50	65	75	85	35
Номер варианта	Шероховатость поверхностей $Ra$ , мкм										
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$D_1$	$D_3$	1	2	3	4		
1	6,3	0,32	1,6	6,3	0,08	3,2	3,2	0,16	1,6		
2	3,2	0,32	1,6	6,3	0,08	6,3	6,3	0,16	1,6		
3	6,3	0,32	1,6	6,3	0,08	6,3	6,3	0,16	1,6		
4	1,6	0,16	3,2	3,2	0,16	3,2	3,2	0,32	1,6		
5	3,2	0,63	3,2	6,3	0,32	3,2	3,2	0,63	1,6		
6	1,6	0,32	0,8	1,6	0,08	6,3	6,3	0,16	1,6		

4. Определить рациональную схему базирования представленной на чертеже вставки при обработке указанных в табл. 3.4 поверхностей.

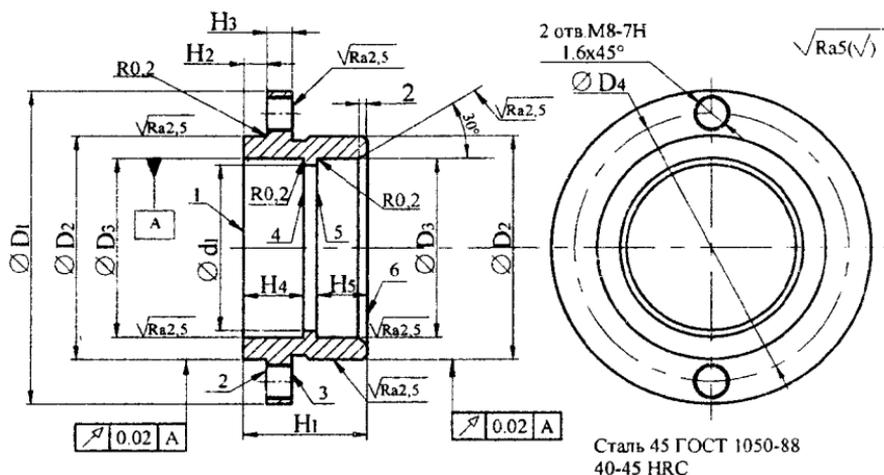


Таблица 3.4

Данные для расчета (размеры и шероховатость поверхностей вставки)

Но- мер вари- анта	Размеры поверхностей, мм									
	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_4^*$	$d_1$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$
1	70h12	50e8	40H7	60	37H14	27h12	5js10	5,5h14	13js11	11js11
2	80h14	60e6	50H6	70	47H12	32h13	5js10	7h14	16js11	12js11
3	120h13	90e7	70H8	105	60H12	36h14	8js11	10h13	18js12	15js12
4	65h11	45e8	35H7	55	32H14	48h11	10js10	12h12	25js13	20js13
5	90h11	70e7	60H7	80	50H14	26h11	5js10	5h11	13js11	10js11
6	75h13	55e7	45Y7	65	42H14	30h10	6js9	7h11	15js9	12js9
Но- мер вари- анта	Шероховатость поверхностей, Ra, мкм									
	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$d_1$	1	2	3	4	5	6
1	5	2,5	2,5	5	5	2,5	2,5	1,25	1,25	5
2	5	1,25	1,25	5	2,5	2,5	2,5	1,25	1,25	2,5
3	5	2,5	2,5	5	6,3	3,2	3,2	2,5	2,5	6,3
4	3,2	2,5	2,5	6,3	3,2	1,25	1,25	1,25	1,25	3,2
5	6,3	2,5	1,25	6,3	5	3,2	3,2	2,5	2,5	5
6	6,3	1,25	0,63	2,5	3,2	2,5	2,5	2,5	2,5	3,2

## **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями и особенностями выбора баз.

2. Выполнить эскиз детали согласно заданию или по указанию преподавателя.

3. Изучить рекомендации по выбору порядка переходов обработки и составить, используя приложение, маршрут обработки указанных поверхностей.

4. Предложить и выполнить эскизы схем базирования на основе построенных графов размерных связей.

5. Определить наиболее рациональную схему базирования, подтвердив свое решение расчетом погрешности базирования.

## **Содержание отчета**

1. Название работы и преследуемые цели.

2. Эскиз детали с необходимыми размерами и техническими требованиями.

3. Эскизы обработки указанных поверхностей (два-три варианта).

4. Графы размерных связей для каждого варианта.

5. Расчет погрешностей базирования и определение наиболее рационального варианта схемы базирования.

6. Выводы по работе.

## **Вопросы для самопроверки**

1. Какие размерные ограничения накладываются на поверхности заготовок, выбранные в качестве технологических баз?

2. Какие существуют другие ограничения при выборе баз?

3. Какие цели преследуются при выборе баз?

4. Какие требования чертежа и технических условий в первую очередь выполняются при базировании?

5. В чем сущность графоаналитического метода выбора схемы базирования?

6. Каким должен быть общий порядок выполнения переходов (операций) обработки?

7. Каким образом на выбор маршрута обработки влияет взаимное расположение обрабатываемых поверхностей?

8. С какой целью стараются совместить конструкторские, технологические и измерительные базы?

### Литература

1. Махаринский, Е.И. Основы технологии машиностроения: учебник / Е.И. Махаринский, В.А. Горохов. – Минск: Вышэйшая школа, 1997. – 472 с.: ил.

2. Беляков, Н.В. Формализация проектирования технологических процессов механической обработки корпусных деталей машин / Н.В. Беляков, Е.И. Махаринский, Ю.Е. Махаринский. – Витебск: ВГТУ, 2006. – 147 с.

3. Беляев, Г.Я. Размерный анализ технологических процессов: курс лекций / Г.Я. Беляев. – Минск: БНТУ, 2010. – 164 с.

4. Технология машиностроения: Сборник задач и упражнений учебное пособие / В.И. Аверченков [и др.]; под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 288 с. – (Высшее образование).

5. Технология автоматизированного машиностроения. Специальная часть / под ред. А.А. Жолобова. – Минск: ДизайнПРО, 1997. – 384 с.: ил.

## ПРИЛОЖЕНИЕ К ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ № 3

### Примерные маршруты обработки поверхностей [4]

Квалитет точности	Шероховатость <i>Ra</i> , мкм	Код материала	Маршрут обработки поверхностей			
			цилиндрических		плоских	
			наружных	внутренних		
1	2	3	4	5	6	
14-12	25,0-6,3	1, 2, 3	О	С	СТ	
		1, 2, 3	О	З	Ф	
		1, 2, 3	О	РТ	О	
		4	О, ТО	С, ТО	СТ, ТО	
		4	ТО, Ш	З, ТО	Ф, ТО	
		4	ТО, Ш	РТ, ТО	О, ТО	
11-10	5,0-2,5	1, 2, 3	ОП, ОЧ	С, З, Р	Фп, Фч	
		1, 2, 3	ОП, ОЧ	С, РТ, Р	Фп, Фч	
		1, 2	О, Ш	С, РТ, Р	ТО, Шп, Ф, Шп	
		4	ОП, ОЧ, ТО	С, З, ТО, Ш	Ф, ТО, Шп	
		4	ОП, ТО, Ш	С, РТ, ТО	СТ, ТО, Шп	
9-7	1,25-0,63	1, 2, 3	Оп, Оч, От	РУ, Р	С, П	
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, З, Рп, Рч	Ф, П	
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, РТп, РТч	Ф, П	
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, З, РТг	Ф, П	
		1, 2, 3	Оп, Оч, От	С, П	Ф, П	
		1, 2	О, Ш	РТп, РТч, РТг	Ф, Шч	
		1	Шп, Шч	РТп, РТч, РТг	Ф, Шч	
		4	Оп, Оч, ТО, Ш	С, РТ, ТО, Ш	Ф, ТО, Шч	
		4	Шп, ТО, Шч	РТп, РТч, ТО, Ш	С, ТО, Шч	
		4	Шп, ТО, Шч	С, З, ТО, Ш	О, ТО, Шч	
	0,32-0,16	0,08-0,04	3	Оп, Оч, ПО	РУ, ТО, Х	Фп, Фч, ПОч
			3	Оп, Оч, От, ПО	РУ, ТО, Х	Оп, Оч, ПОч
			3	Оп, Оч, От, ПОч, ПОт	РУ, ТО, Х	Оп, Оч, ПОч, ПОт
			4	Оп, Оч, ТО, Шп, Шч, ПО	РУ, ТО, Х	Фп, Фч, ТО, Шп, Шт, ПО
			1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	РУ, Рп, Рч	СТ, Фт, ШБ
0,08-0,04	0,08-0,04	1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, З, Рп, Рч	Фп, Фт, ШБ	
		1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, З, РТч, РТг	Фп, Фт, ШБ	

1	2	3	4	5	6
6	0,32-0,16	1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	РТп, РТч, РТт	Фп, Фт, ШБ
		1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, З, П	Фп, Фт, ШБ
		1	О, Ш, СУ	С, З, П	Фп, Фт, ШБ
		1	О, Шп, Шт, П	С, З, П	Фп, Фт, ШБ
		1, 2	О, Шп, Шт, П	С, З, П	Фп, Фч, Шч, ПО
		3	О, Шп, Шт, П	С, З, П	Фп, Фч, ТО, Шч, Д
		4	О, Шп, ТО, Шт,	РТ, ТО, Ш, Х	С, Фт, ТО, Шч, Д
		4	О, Шп, ТО, Шт, СУ	С, З, ТО, Ш, Х	Ф, ТО, Шп, Шч, Д
		4	Оп, Оч, ТО, Шч, СУ	С, П, ТО, Х	Ф, ТО, Шп, Шч, Д
6	0,16-0,08	3	Ош, Оч, От	РУ, Р, ТО, Х	О, Шп, ТО, Шч, Д
		4	Оп, Оч, ТО, Шч, СУ	РТ, ТО, Ш, Х, Д	СТ, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Шт, СУ	С, З, ТО, Ш, Х, Д	Ф, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Д	С, П, ТО, Хп, Хч	Ф, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Д	РУ, ТО, Х, Д	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		4	О, Шп, ТО, Шч, Д	С, РТч, РТт, ТО, Х, Д	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
5	0,08-0,04	1	Оп, Оч, Шп, Шч, Суп, СУч	С, РТч, РТт, ТО, Х, Д	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		2	Оп, Оч, Шп, Шч, Суп, СУч	С, З, Р, Х, Дп, Дч	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		2	Оп, Оч, Шп, Шч, Суп, СУч	РУ, Х, Дп, Дч	О, Шп, ТО, Шч, Шт, Д
		1,2	Оп, Оч, Шп, Шч, Суп, СУч	РУ, Х, Дп, Дч	Ф, Шп, Шч, Шт, ПО
		4	Оп, Оч, Шч, СУч	РУ, Р, ТО, Х, Дп, Дч	СТ, ТО, Шп, Шч, Шт, ПО

Обозначения: О – обтачивание, Ш – шлифование, СУ – суперфиниширование, ПО – полирование, Д – доводка, ТО – термическая обработка, С – сверление (рассверливание), З – зенкерование, РУ – ружейное сверление, Р – развертывание, РТ – растачивание, П – протягивание, Х – хонингование, СТ – строгание, Ф – фрезерование, ШБ – шабрение; п – предварительное, ч – чистовое, т – тонкое; 1 – незакаленные стали, 2 – чугуны, 3 – цветные металлы и сплавы, 4 – закаленные стали.

## **ВЫБОР ВЕЛИЧИНЫ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ, МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ**

**Цель работы:** приобретение навыков назначения шероховатости в зависимости от условий эксплуатации деталей, по выбору методов обработки, режущих инструментов и освоении методики назначения режимов резания с учетом расчетных значений параметров шероховатости и точности детали.

### **Основные положения**

Эксплуатационные свойства деталей машин, их надежность и долговечность во многом зависят от качества поверхностного слоя деталей. Одним из основных показателей качества поверхностного слоя является шероховатость обработанной поверхности. Шероховатость оказывает значительное влияние на интенсивность изнашивания трущихся поверхностей. Из-за преждевременного износа выходит со строя до 80 % машин и механизмов.

Процесс изнашивания принято характеризовать графиком, на котором по оси ординат откладывается величина износа  $U$ , мкм, по оси абсцисс – длина пути резания (время резания или количество обработанных заготовок). Длина пути резания чаще всего выражается в километрах (метрах), время резания – в часах (минутах), количество обработанных деталей – в штуках. На типичном графике износа (рис. 4.1) можно выделить три характерных участка: 1 – участок начального износа; 2 – участок нормального износа, на протяжении которого величина изнашивания прямо пропорциональна длине пути резания; 3 – участок катастрофического износа, где интенсивность изнашивания, определяемая накопившимися к этому времени дефектами режущей кромки (сколы, трещины и т. д.), резко возрастает. Эксплуатировать режущий инструмент на участке катастрофического износа становится невозможно. Участок начального износа (зона приработки) также характерен повышенной интенсив-

ностью изнашивания (суммарный износ за время приработки достигает до 60–70 % допустимого за весь период работы до переточки, (рис. 4.1) [1]).

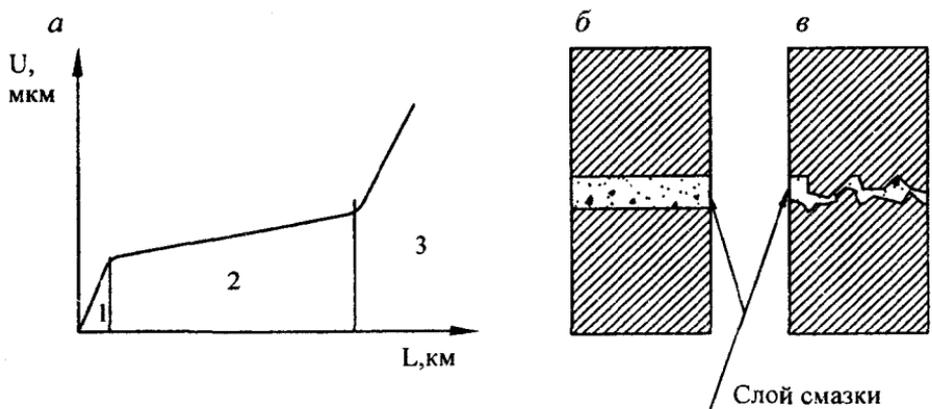


Рис. 4.1. Зависимость износа от пути (а), идеализированный (б) и фактический (в) контакты шероховатых поверхностей

В обычных условиях эксплуатации, если величина шероховатости соответствует характеру работы трущихся поверхностей в соединении, они разделены тонким слоем смазочного материала. В период же приработки неровности трущихся поверхностей при относительном перемещении друг относительно друга вызывают разрыв масляной пленки и наиболее выступающие неровности разрушаются путем среза, отламывания или пластического сдвига. В результате зазор в сопряжении возрастает, что может привести к изменению характера посадки. Причем интенсивность изнашивания на этом участке тем выше, чем больше шероховатость (при механической природе износа).

Вместе с тем величину шероховатости можно уменьшать лишь до определенного предела, так как при слишком малой шероховатости износ резко увеличивается за счет схватывания поверхностей, образования мостиков сварки и их разрушения. На рис. 4.2 показано изменение шероховатости в зависимости от высоты неровностей.

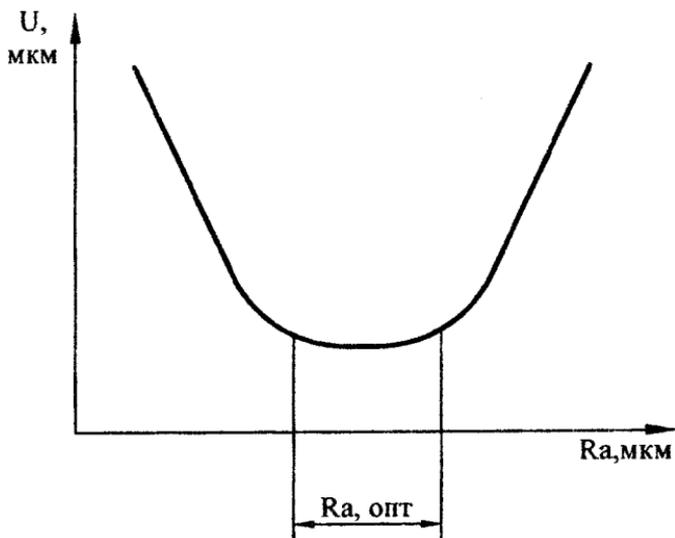


Рис. 4.2. Зависимость износа от высоты неровностей

Из графика видно, что минимум износа имеет место при достижении зоны оптимальной шероховатости. Оптимальной считают такую шероховатость, которая обеспечивает минимальный износ в процессе длительной эксплуатации машин.

Реальные поверхности деталей машин, образующиеся в процессе обработки, имеют неровности, различные как по высоте, так и по форме. Шероховатость поверхности относится к микрогеометрии поверхности, отклонения формы — к макрогеометрии, волнистость занимает промежуточное значение. Макрогеометрические отклонения рассматриваются на больших участках поверхностей деталей и характеризуют их точность (конусообразность, овальность, вогнутость, огранка и т. д.). Микрогеометрия оценивается на малых участках реальной поверхности с длиной стороны квадрата от 10 мкм до 1 мм.

Отклонения формы поверхностей условно классифицируют в зависимости от отношения шага  $S$  к высоте неровностей  $H$ : при  $S:H > 1000$  — макрогеометрические отклонения; при  $S:H = 50-1000$  — волнистость поверхности; при  $S:H < 50$  — шероховатость поверхности.

*Шероховатостью поверхности* называется совокупность неровностей с относительно малыми шагами в пределах базовой длины. Шероховатость поверхности после механической обработки — это

прежде всего геометрический след режущего инструмента (металлического или абразивного), искаженный в результате пластической и упругой деформаций и сопутствующей процессу резания вибрации технологической системы. ГОСТ 2789-73 установил шесть параметров шероховатости поверхности: среднее арифметическое отклонения профиля  $Ra$ , высота неровностей профиля по десяти точкам  $Rz$ ; наибольшая высота неровностей профиля  $R_{max}$ ; средний шаг неровностей профиля  $S_m$ ; средний шаг местных выступов профиля  $s$ ; относительная опорная длина профиля  $t_p$ . Ниже в табл. 4.1 приводятся данные, характеризующие зависимость эксплуатационных свойств деталей машин от параметров качества поверхности.

Таблица 4.1

Зависимость эксплуатационных свойств деталей машин от параметров качества поверхностей

Эксплуатационные свойства	Геометрические характеристики поверхности											Физико-механические характеристики поверхностного слоя			
	Шероховатость								Волнистость			Наклеп поверхностного слоя		Остаточные напряжения	
	$Ra$	$Rz$	$R_{max}$	$S_m$	$s$	$t_p$	$r$	$r'$	$Wa$	$W_{max}$	$Sw$	$H$	$h$	$\sigma$	$h_\sigma$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Виброустойчивость	+	+	+	++ <sup>1</sup>			++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	+		+	++ <sup>1</sup>	+	+	+
Износостойкость: трение без смазочного материала	+	+	+	+			++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	+	+	+	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>
Трение	++ <sup>1</sup>	+	+	++ <sup>1</sup>	+	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>	+	++ <sup>1</sup>	+	++ <sup>1</sup>	++ <sup>1</sup>		++ <sup>1</sup>	
Трение со смазочным материалом	++ <sup>1</sup>	+	+	++ <sup>1</sup>	+	++ <sup>1</sup>	+	+	++ <sup>1</sup>	+	++ <sup>1</sup>				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Избирательный перенос* <sup>2</sup>	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+* <sup>1</sup>		+* <sup>1</sup>	
Сопроотивление усталости	+	+	+* <sup>1</sup>	+				+* <sup>1</sup>		+* <sup>1</sup>	+	+* <sup>1</sup>	+* <sup>1</sup>	+* <sup>1</sup>	+* <sup>1</sup>
Контактная жесткость	+	+	+	+		+* <sup>1</sup>	+* <sup>1</sup>		+	+	+	+* <sup>1</sup>		+	
Прочность сцеплений покрытий	+	+* <sup>1</sup>	+	+* <sup>1</sup>		+	+	+	+	+	+	+* <sup>1</sup>	+	+* <sup>1</sup>	+
Коррозионная стойкость	+	+	+	+* <sup>1</sup>	+	+		+	+* <sup>1</sup>	+	+	+* <sup>1</sup>	+* <sup>1</sup>	+* <sup>1</sup>	+* <sup>1</sup>
Прочность соединений с натягом	+	+		+		+* <sup>1</sup>	+* <sup>1</sup>		+		+	+			
Герметичность соединений	+* <sup>1</sup>	+	+	+	+	+* <sup>1</sup>			+* <sup>1</sup>	+	+				
Обтекаемость газами и жидкостями	+	+	+	+	+* <sup>1</sup>	+* <sup>1</sup>	+	+* <sup>1</sup>	+	+	+				

**Примечания.** +\*<sup>1</sup> – характеристики, оказывающие основное влияние на данное эксплуатационное свойство.

+\*<sup>2</sup> – избирательный перенос (ИП) – вид фрикционного взаимодействия, характеризуемый в основном молекулярной составляющей силы трения. Устойчивым признаком ИП является образование защитной металлической пленки, обладающей способностью снижать трение и уменьшать износ.

Обозначения:  $r$  – радиус скруглений выступов;  $r'$  – радиус скруглений впадин;  $Wa$  – среднее арифметическое отклонение профиля волн;  $W_{\max}$  – наибольшая высота волн;  $S_w$  – средний шаг неровностей волн;  $H$  – микротвердость поверхностного слоя;  $h$  – глубина наклепанного слоя;  $\sigma$  – остаточные напряжения на поверхности;  $h_\sigma$  – глубина залегания остаточных напряжений.

Требования к параметрам шероховатости устанавливаются на основе их связи с функциональными показателями деталей машин, причем значения этих параметров могут быть рассчитаны по теоретическим или эмпирическим уравнениям связи показателей эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений с характеристиками качества поверхностей (табл. 4.2). Достигаемая при определенном методе обработки шероховатость прежде всего характеризуется высотными параметрами  $R_a$ ,  $R_z$  или  $R_{max}$ .

Однако поверхности с одинаковой высотой неровностей, но полученные различными технологическими методами могут иметь различные эксплуатационные свойства, например, по-разному сопротивляться действию сил, стремящихся деформировать выступы. Такие поверхности прежде всего могут различаться опорными (несущими) площадями.

Таблица 4.2

Рекомендуемые значения параметров шероховатости поверхности  
деталей машин

Поверхности	$R_a$ , мкм	$t_{20}$ , %	$l$ , мм
1	2	3	4
Опорных шеек валов: под подшипники скольжения	0,32	30	0,8
под вкладыши из бронзы	0,4	15	0,8
под баббитовые вкладыши	0,25	20	0,25
под вкладыши из чугуна и из графитопласта АМС-1	0,32	40	0,8
под подшипники качения	0,8	—	0,8
Обеспечивающие явление избирательного переноса	0,25	15	0,25
Посадочных шеек валов под зубчатые колеса	1,6	—	0,8
Валов, работающих при знакопеременных нагрузках	$R_{max} = 1$	60	0,8
Шариковых и роликовых подшипников	0,08	15	0,25
Поршня: юбки	0,8	—	0,8
отверстия под палец	0,5	—	0,8

1	2	3	4
Наружная поршневого пальца	0,25	15	0,25
Шеек и кулачков распределительных валов	0,32	30	0,8
Плунжерных пар	0,08	15	0,25
Отверстий рычагов вилок, сопрягаемых с валами или осями	0,63	—	0,8
Посадочных отверстий зубчатых колес	0,5–2	—	0,8
Боковые: зубьев колес	0,63–1,25	—	0,8
витков червяка	0,32	—	0,25
Основных отверстий корпусов из стали	0,63–1,6	—	0,8
Основных отверстий корпусов из чугуна	1–2	—	0,8
Сопрягаемые корпусов и крышек	$Rz = 10$	—	2,5
Направляющих трения скольжения: универсальных станков	0,63	—	0,8
прецизионных станков	0,1	15	0,25
тяжелых станков	1,6	—	0,08
Направляющие качения	0,16	—	0,25
Рабочие: цилиндров	0,4	40	0,8
поршневых колец	0,25	—	0,25
коленчатых валов коренные шейки	0,32	30	0,8
коленчатых валов шатунные шейки	0,25	20	0,25
Напыленные, трения скольжения	0,08	10	0,25
Под напыление	$Rz = 125$ $S_m = 0,5 \text{ мм}$	—	0,8
Под электрохимические покрытия	0,2–0,8	—	—
Корродирующие	0,063	10	0,25
Под склеивание	$Rz = 15$ $S_m = 0,032 \text{ мм}$		

Для каждого метода обработки характерны свои, достигаемые при обычных условиях обработки параметры качества поверхности, табл. 4.3.

## Шероховатость поверхности при различных методах обработки

Вид обработки	Параметры шероховатости			
	$Ra$ , мкм	$S_m$ , мм	$S$ , мм	$t_{20}$ , %
1	2	3	4	5
<b>Наружные поверхности вращения</b>				
Обтачивание:				
черновое	12,5–50	0,32–0,25	0,32–0,25	10–15
получистовое	3,2–12,5	0,16–0,40	0,16–0,40	10–15
чистовое	0,8–2,5	0,08–0,16	0,05–0,16	10–15
тонкое	0,1–0,8	0,02–0,100	0,01–0,100	10–15
Шлифование:				
предварительное	1–2,5	0,063–0,20	0,32–0,16	10
чистовое	0,2–1,25	0,025–0,100	0,010–0,080	10
тонкое	0,05–0,25	0,008–0,025	0,003–0,160	40
Суперфиниширование	0,032–0,28	0,06–0,020	0,003–0,160	10
Полирование	0,008–0,08	0,008–0,025	0,002–0,08	10
Притирка	0,01–0,11	0,006–0,04	0,002–0,032	10–15
Обкатывание и выглажива- ние	0,03–0,2	0,025–1,25	0,025–1,25	10–70
Виброобкатывание	0,063–1,60	0,01–10,5	0,008–0,16	10–70
Электромеханическая	0,02–1,60	0,025–1,25	0,025–1,25	10–70
Магнитно-абразивная	0,02–1,60	0,008–1,25	0,03–0,16	10–30
<b>Внутренние поверхности вращения</b>				
Сверление и рассверливание	3,2–12,5	0,16–0,8	0,08–0,63	10–15
Зенкерование черновое	3,2–6,3	0,16–0,8	0,063–0,4	10–15
Зенкерование чистовое	1,25–3,2	0,08–0,25	0,05–0,16	10–15
Развертывание черновое	1,25–2,5	0,08–0,2	0,04–0,16	10–15
Развертывание чистовое	0,63–1,25	0,032–0,1	0,0125–0,063	10–15
Развертывание тонкое	0,32–0,63	0,0125–0,04	0,008–0,02	10–15
Протягивание черновое	1,25–3,2	0,08–0,25	0,04–0,2	10–15
Протягивание чистовое	0,32–1,25	0,02–0,1	0,008–0,08	10–15
Растачивание:				
черновое	6,3–12,5	0,25–1	0,25–1	10–15
получистовое	1,6–6,3	0,125–0,32	0,125–0,32	10–15
чистовое	0,8–2,0	0,08–0,16	0,05–0,16	10–15
тонкое	0,2–0,8	0,02–0,1	0,01–0,1	10–15

1	2	3	4	5
Шлифование:				
предварительное	1,6–3,2	0,063–0,25	0,032–0,16	10
чистовое*	0,32–1,6	0,16–0,1	0,1–0,8	10
тонкое	0,08–0,32	0,008–0,025	0,003–0,016	10
Хонингование:				
предварительное	1,25–3,2	0,063–0,25	0,085–0,16	10
чистовое	0,25–1,25	0,02–0,1	0,008–0,08	10
тонкое	0,04–0,25	0,006–0,2	0,003–0,16	10
Притирка	0,02–0,16	0,005–0,04	0,002–0,02	10–15
Раскатывание и выглажива- ние	0,05–2	0,025–1	0,025–1	10–70
Виброраскатывание	0,063–1,6	0,01–12,5	0,008–0,161	10–70
Калибрование	0,1–1,6	0,025–1	0,025–1	10–70
<b>Плоские поверхности</b>				
Торцовое фрезерование:				
черновое	3,2–12,5	0,16–0,4	0,16–0,4	10–15
чистовое	1–4	0,08–0,2	0,063–0,2	10–15
тонкое	0,32–1,25	0,025–0,1	0,016–0,08	10–15
Цилиндрическое фрезеро- вание:				
черновое	3,2–12,5	1,25–5	1,25–5	10
чистовое	0,8–3,2	0,5–2	0,5–2	10
тонкое	0,2–1	0,16–0,63	0,1–0,63	10–15
Строгание:				
черновое	6,3–50	0,2–1,6	0,2–1,6	10–15
чистовое	1–6,3	0,08–0,25	0,063–0,25	10–15
тонкое	0,32–1,6	0,025–0,125	0,0125–0,1	10–15
Торцовое точение:				
черновое	25–50	0,2–1,25	0,2–1,25	10–15
чистовое	1,6–6,3	0,08–0,25	0,063–0,25	10–15
тонкое	0,32–1,6	0,025–0,125	0,0125–0,1	10–15
Протягивание черновое	1–3,2	0,16–2	0,16–2	10–15
Протягивание чистовое	0,32–1,25	0,05–0,5	0,032–0,5	10–15
Шлифование:				
предварительное	1,6–4	0,1–0,32	0,063–0,25	10
чистовое	0,32–1,6	0,025–0,125	0,0125–0,08	10
тонкое	0,08–0,32	0,01–0,032	0,005–0,025	10

1	2	3	4	5
Шабрение от себя: $Z = 20-10$	1,6-6,3	0,2-1	0,125-1	10-15
$Z = 30-20$	0,63-2,5	0,063-0,25	0,032-0,2	10-15
Шабрение на себя:				
$A_c = (40-60) \%$	0,032-1,00	0,04-0,125	0,02-0,1	10-15
$A_c = (60-80) \%$	0,1-0,4	0,016-0,05	0,008-0,032	10-15
Накатывание роликами и шариковыми головками	0,1-2	0,025-5	0,02-5	10-70
Вибронакатывание	0,16-2,5	0,025-12,5	0,02-5	10-70
Виброполирование	0,3-0,032	0,1-0,025	0,004-0,025	10
Притирка	0,02-0,1	0,008-0,04	0,004-0,032	10-15
<b>Боковые поверхности шлицев</b>				
Шлицефрезерование пред- варительное	6,3-12,5	1-5	1-5	10-15
Шлицефрезерование чис- товое	1,25-4	0,1-2	0,05-2	10-15
Шлицестрогание	1-2,5	0,08-2,5	0,05-2,5	10-15
Шлицепротягивание	0,8-1,6	0,08-2	0,05-2	10-15
Шлифование предвари- тельное	1,6-3,2	0,1-0,32	0,063-0,25	10
Шлифование окончательное	0,4-1,25	0,032-0,1	0,016-0,063	10
Накатывание шлицев	0,8-1	0,08-5	0,063-5	10-15
Обкатывание шлицев	0,32-1	0,063-2	0,032-1,25	10-70
<b>Боковые поверхности зубьев</b>				
Зубонарезание фрезами: модульными	6,3-12,5	1,25-5	1-5	10-15
червячными	3,2-6,3	0,32-1,6	0,2-1,6	10-15
Зубонарезание долбьяками	1,6-3,2	0,2-1,25	0,125-1,25	10-15
Протягивание	0,8-1,6	0,08-2	0,05-2	10-15
Накатывание	0,8-2	0,08-5	0,063-5	10-15
Шевингование	0,63-1,25	0,125-0,5	0,08-0,5	10-15
Шлифование	0,5-1,25	0,04-0,1	0,025-0,063	10
Обкатывание	0,32-1	0,063-2	0,032-1,75	10-70
Притирка	0,1-0,5	0,032-0,5	0,02-0,16	10-70

1	2	3	4	5
<b>Боковые поверхности профиля резьбы</b>				
Нарезание: резцами и гребенками	1,6–3,2	0,08–0,25	0,32–0,16	15–20
метчиками, плашками и самораскрывающимися головками	1,6–3,2	0,063–0,2	0,025–0,125	10–15
Фрезерование предварительное	1,6–3,2	0,125–0,32	0,063–0,2	10
Фрезерование окончательное	0,5–2	0,032–0,125	0,016–0,8	10
Накатывание и раскатывание резьбы	0,5–1,25	0,04–0,1	0,032–0,08	10–20

**Примечания:**

1. Для упрочняющей обработки  $R_{\max} = 5Ra$ ;  $Rz = 4Ra$ ; для точения, строгания и фрезерования  $R_{\max} = 6Ra$ ;  $Rz = 5Ra$ ; для остальных методов обработки  $R_{\max} = 7Ra$ ;  $Rz = 5,5Ra$ .

2.  $Z$  – число пятен при шабрении на площади  $25 \times 25$  мм<sup>2</sup>;  $A_c$  – контурная площадь касания при шабрении.

Наличие волнистости на поверхности детали приводит к уменьшению опорной площади в 5–10 раз по сравнению с ровной шероховатой поверхностью. Волнистость представляет собой совокупность периодически повторяющихся возвышений и впадин с взаимным расстоянием, значительно большим, чем у неровностей, образующих шероховатость. Значения параметров шероховатости и волнистости поверхностей в зависимости от методов обработки резанием приведены в табл. 4.4.

**Геометрические параметры шероховатости  
и волнистости поверхностей при обработке резанием**

Метод обработки	$R_a$ , мкм	$v$	$\delta$	$r_n$	$r_{np}$	$r$	$\beta_n$	$\beta_{np}$	$\frac{S_n}{R_{max}}$	$\frac{S_{np}}{R_{max}}$	$\frac{r}{R_{max}}$
				мкм					$R_{max}$	$R_{max}$	$R_{max}$
<b>Стальные детали</b>											
Плоское шлифование	5	2,4	2,5	5	250	35	35°	2°	3	57	2
	2,5	3,25	2,75	7	1300	100	25°	1°	4,5	135	10
Плоское шлифование	1,25	2,2	2,85	10	3200	180	15°	30'	8,5	230	30
	0,63	2,1	3	17	8000	370	10°	18'	14	270	120
	0,32	2	3,5	20	15000	550	7°	10'	19	780	350
Торцовое фрезерование	5	1,65	1,8	45	4000	425	20°	50'	7	137	20
	2,5	1,6	2,3	90	9000	900	11°	30'	16	230	90
	1,25	1,6	2,5	120	15000	1350	5°	15'	25	445	200
Внутреннее шлифование	2,5	2	1,9	3,5	8	5	32°	13°	3,5	9	0,5
	1,25	1,95	2	6	11	8	17°	11°	7	10	1,3
	0,63	1,85	2,5	10	16	13	10°	8°	13	15	4
	0,32	1,75	3	15	23	18,5	5°	5°	23	22	12
Круглое шлифование	1,25	2,6	2,3	4	16	8	25°	10°	5	8	1,3
	0,63	2,4	2,6	6,5	22	12	16°	8°	8	15	4
	0,32	2,3	2,8	12	30	20	10°	7°	15	19	12
	0,16	2,2	3,5	18	40	30	5°	4°	22	34	35
Шабрение	0,63	2,2	4	10	25	16	9°	6°	—	—	6
Развертывание	2,5	1,7	2	10	20	15	20°		6,5	12	1,5
	1,25	1,6	2,3	30	50	40	10°		12	39	6
	0,63	1,5	2,5	250	350	300	2°		53	57	90
	0,32	1,4	2,8	500	500	500	1°30'	1°30'	90	90	300
Полирование	0,63	2,2	3	350	150	230	2°	2°	60	72	70
	0,32	1,7	3,25	700	300	450	1°	1°	120	105	300
	0,16	1,3	3,5	1000	450	670	30'	30'	215	180	850
	10	1,95	2,2	17	150	50	20°	2°30'	5,7	32	1,3
Строгание	5	1,9	2,5	30	250	90	15°	2°	8	50	4,5
	2,5	1,6	2,7	90	600	230	10°	1°30'	16	90	24
Строгание	1,25	1,5	2,65	160	950	400	6°	1°	23	120	60
	10	1,8	1,3	10	45	20	25°	8°	4,5	14	0,5
Цилиндрическое фрезерование	5	1,6	1,7	15	60	30	20°	7°	6	16	1,5
	2,5	1,5	1,8	25	80	45	15°	6°	9,5	20	4,5
	1,25	1,45	2	50	120	80	9°	4°	1,5	35	12

Метод обработки	$R_a$ , мкм	$v$	$b$	$r_n$	$r_{np}$	$r$	$\beta_n$	$\beta_{np}$	$\frac{S_n}{R_{max}}$	$\frac{S_{np}}{R_{max}}$	$\frac{r}{R_{max}}$
				мкм					$R_{max}$	$R_{max}$	$R_{max}$
Точение	5	1,5	1	20	60	35	20°	10°	6	12	1,75
	2,5	1,45	1,5	30	80	50	15°	8°	8	14,5	5
	1,25	1,35	2	60	90	75	10°	7°	14	18	12
	0,63	1,3	2,1	120	120	120	5°	5°	25	24	37
Протягивание	1,25	1,75	1,2	12	9000	330	10°	12'	12	600	50
	0,63	1,7	1,8	25	12000	550	6°	10'	20	690	170
	0,32	1,65	2,2	70	15000	1000	3°	8'	48	750	650
Хонингование	0,63	2,2	1,5	4	60	15	13°	4°	9	31	5
	0,32	2,1	2,2	5,5	70	20	10°	3°	12	43	12
	0,16	2	3	14	90	35	5°	2°	26	62	45
Растачивание	5	1,65	1,5	20	50	32	18°	11°	7,5	10,5	1,6
	2,5	1,6	1,6	35	65	50	13°	9°	10	13	5
	1,25	1,45	2	60	85	70	8°	7°	16	18	11
	0,63	1,4	2,5	110	120	115	5°	5°	30	25	36
Доводка цилиндрических поверхностей	0,16	2,3	1,9	25	35	30	6°	3°	25	50	35
	0,08	2,2	2	40	40	40	3°	2°30'	50	57	100
	0,04	2	2,1	70	43	55	1°	2°	110	85	275
	0,02	1,5	2,5	125	45	75	30'	1°30'	200	125	750
Доводка плоских поверхностей	0,16	3	1,5	15	7000	300	5°	10'	25	770	400
	0,08	2,5	2,2	25	10000	500	3°	7'	47	1050	1250
	0,04	2,3	2,5	75	14000	1000	1°	5'	125	1500	5000
	0,02	2,2	3	250	35000	3000	20'	2'	275	3550	30000
<b>Чугунные детали</b>											
Строгание	10	2,1	2	8,5	40	18,5	35°	18°	3	9	0,45
	5	2	2,3	10	70	25	20°	10°	5,8	13	1,3
	2,5	1,8	4	20	500	100	10°	3°30'	11,7	58	10
	1,25	1,7	4,2	30	900	150	5°	1°30'	25	82	25
Плоское шлифование	2,5	2	2	15	250	60	27°	3°	4,7	40	6
	1,25	1,97	2,5	20	550	100	12°	1°	10,5	112	15
	0,63	1,95	3,8	35	1200	200	6°	30'	21	226	65
Цилиндрическое фрезерование	0,32	1,8	4,5	40	1700	250	4°	20'	35	340	160
	10	1,95	1,6	7	40	17	37°	11°	2,9	10,5	0,4
	5	1,9	2	8	50	20	32°	9°	3,8	13	1
	2,5	1,8	2,3	8,5	70	25	25°	7°	4,8	18	2,5
1,25	1,65	2,5	13	180	50	15°	3°	8,5	45	8	

Метод обработки	Ra, мкм	v	б	r <sub>п</sub>	r <sub>нр</sub>	r	β <sub>п</sub>	β <sub>нр</sub>	$\frac{S_n}{R_{\max}}$	$\frac{S_{нр}}{R_{\max}}$	$\frac{r}{R_{\max}}$
				мкм							
Торцово-фрезерование	10	—	—	13	45	25	35°	9°	3,3	13,5	0,6
	5	1,5	1,1	20	75	40	20°	6°	8	19,5	2
	2,5	1,4	1,4	30	110	60	10°	3°	12	39	6
	1,25	1,35	1,5	45	17	90	5°	2°	22	69	15
Внутреннее шлифование	2,5	2,2	2,5	7	19	12	33°	18°	3,7	6,7	1,2
	1,25	2,1	2,8	12	22	16	18°	13°	7	10	2,5
	0,63	1,9	3,5	20	34	25	3°30'	7°	18	18	8
	0,32	1,85	3,75	35	57	45	3°	3°	40	45	30
Точение	10	1,9	1,1	15	40	25	30°	11°	3,8	10,5	0,6
	5	1,8	1,3	20	70	37,5	20°	8°	7	14,5	1,3
	2,5	1,7	2	30	120	60	10°	5°	12	18	2,5
	1,25	1,7	2,5	60	270	130	5°	3°	30	42	6
Растачивание	5	2	2	10	13	12	30°	20°	4	6	0,6
	2,5	1,9	2,7	12	14	13	25°	13°	5	9	1,3
	1,25	1,8	2,9	15	16	15	20°	10°	7	11	2,5
	0,63	1,75	2,5	20	20	20	10°	4°30'	12	19	6
Круглое шлифование	2,5	1,9	1,5	13	200	50	18°	4°	6,6	31	5
	1,25	1,75	2,5	18	400	85	12°	2°	10	60	13,5
	0,63	1,7	2,75	23	1000	150	8°	1°	16	178	50
	0,32	1,6	3	25	1400	190	6°	30'	22	235	120
Доводка цилиндрических поверхностей	0,16	1,3	2	25	8	15	4°	7°	33	18,5	17,5
	0,08	1,2	2,3	35	13	20	3°	4°	50	32	55
	0,04	1,1	2,4	50	30	40	1°30'	2°	85	80	200
	0,02	1,05	3	70	45	55	50'	1°	230	145	550
Шабрение	0,63	2	1,85	10	35	18,5	9°	4°	—	—	10

**Примечание.** Параметры б и v относительной опорной длины профиля  $t_p$  входят в зависимость  $t_p = б \left( \frac{P}{R_{\max}} \right)^v$  при  $0 \leq \frac{P}{R_{\max}} \leq 0,4$ ;

$r_{нр}$  и  $r_{п}$  — радиусы скругления вершин микронеровностей в продольном и поперечном направлениях соответственно;

$\beta_{нр}$  и  $\beta_{п}$  — углы профиля микронеровностей соответственно в продольном и поперечном направлениях.

Назначая параметры шероховатости и волнистости, необходимо учитывать влияние на качество поверхности точности размеров и формы, табл. 4.5.

Минимальные значения шероховатости поверхностей  
при различных допусках размера и формы

Допуск размера по квалитетам	Допуск формы, %, по допускам размера	<i>Ra</i> , мкм, не более при номинальных размерах, мм			
		До 18	Свыше 18 до 50	Свыше 50 до 120	Свыше 120 до 500
1	2	3	4	5	6
IT3	100	0,2	0,4	0,4	0,8
	60	0,1	0,2	0,2	0,4
	40	0,05	0,1	0,1	0,2
IT4	100	0,4	0,8	0,8	1,6
	60	0,2	0,4	0,4	0,8
	40	0,1	0,2	0,2	0,4
IT5	100	0,4	0,8	1,6	1,6
	60	0,2	0,4	0,8	0,8
	40	0,1	0,2	0,4	0,4
IT6	100	0,8	1,6	1,6	3,2
	60	0,4	0,8	0,8	1,6
	40	0,2	0,4	0,4	0,8
IT7	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	1,6	3,2
	40	0,4	0,8	0,8	1,6
IT8	100	1,6	3,2	3,2	3,2
	60	0,8	1,6	3,2	3,2
	40	0,4	0,8	1,6	1,6
IT9	100	3,2	3,2	6,3	6,3
	60	1,6	3,2	3,2	6,3
	40	0,8	1,6	1,6	3,2
IT10	100	3,2	6,3	6,3	6,3
	60	1,6	3,2	3,2	6,3
	40	0,8	1,6	1,6	3,2
IT11	100	6,3	6,3	12,5	12,5
	60	3,2	3,2	6,3	6,3
	40	1,6	1,6	3,2	3,2

1	2	3	4	5	6
IT12	100, 60	12,5	12,5	25	25
IT13	40	6,3	6,3	12,5	12,5
IT14	100, 60	12,5	25	50	50
IT15	40	12,5	12,5	25	25
IT16	100, 60	25	50	100	100
IT17	40	25	25	50	50

### Примечания:

1. Если относительный допуск формы меньше значения, указанного в таблице, следует принимать не более  $0,15T_{\phi}$  ( $T_{\phi}$  – допуск формы).

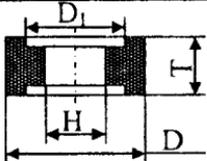
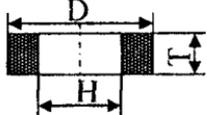
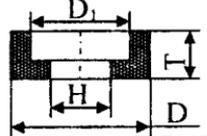
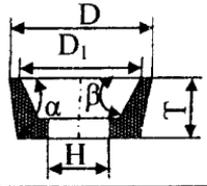
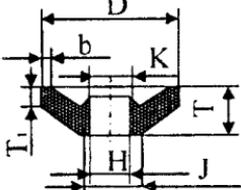
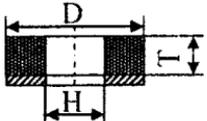
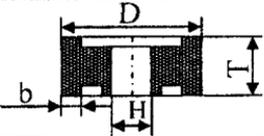
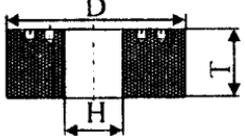
2. Требования к шероховатости устанавливают без учета дефектов поверхности, к которым, как правило, относятся резко выделяющиеся отдельные неровности (царапины, раковины, забоины и т. д.), т. е. исходя из предположения, что поверхность, к которой устанавливаются требования, не содержит дефектов. Если дефекты влияют на функциональные показатели поверхности, в том числе и на внешний вид изделия, то требования к ним (на размеры, количество на единицу площади, расположение относительно рабочих участков поверхности и т. п.) следует устанавливать отдельно и оговаривать в технической документации на деталь или изделие.

3. Шероховатость поверхностей обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия независимо от методов их образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции.

Точность и качество обработанных поверхностей формируется в процессе всей механической обработки, однако наибольшее влияние на точность и качество оказывают финишные методы обработки, в том числе с использованием абразивных инструментов. При этом чаще всего используются круги прямого профиля для обработки цилиндрических и плоских поверхностей и углового профиля для одновременной обработки наружного диаметра и прилегающего к нему торца. Ниже в табл. 4.6 приводятся типы шлифовальных кругов, их условные обозначения по ГОСТ 2424–75 и ГОСТ 2424–83Е.

Типы шлифовальных кругов (ГОСТ 2424-83Е)

Вид круга	Старое обозначение по ГОСТ 2424-75	Новое обозначение по ГОСТ 2424-83Е	Эскиз сечения	Предельные размеры, мм
1	2	3	4	5
Прямого профиля	ПП	1		$D = 3-1060$ $T = 1-250$ $H = 1-305$
С двухсторонним коническим профилем	2П	4		$D = 250-500$ $T = 8-32$ $H = 76-203$ $\alpha = 40-60^\circ$
С коническим профилем	3П	3		$D = 80-500$ $T = 6-50$ $H = 20-203$
С выточкой	ПВ	5		$D = 10-600$ $T = 13-100$ $H = 3-305$ $D_1 = 5-375$
С конической выточкой	ПВК	23		$D = 300-750$ $T = 50-80$ $H = 127-305$ $D_1 = 200-500$ $\alpha = 10-20^\circ$
С двусторонней выточкой	ПВД	7		$D = 100-900$ $T = 25-250$ $H = 32-305$ $D_1 = 88-375$

1	2	3	4	5
С двусторонней конической выточкой	ПВДК	26		$D = 750$ $T = 80$ $H = 305$ $D_1 = 500$
Кольцевые	К	2		$D = 200-500$ $T = 80-160$ $H = 76-400$
Чашечные цилиндрические	ЧЦ	6		$D = 40-300$ $T = 25-100$ $H = 13-150$ $D_1 = 32-250$
Чашечные конические	ЧК	11		$D = 50-300$ $T = 25-150$ $H = 13-150$ $D_1 = 40-230$ $\alpha = 50-80^\circ$ $\beta = 45-80^\circ$
Тарельчатые	Т	12		$D = 80-350$ $T = 8-40$ $H = 13-127$ $b = 4-13$ $T_1 = 2-6$
Специальные	ПН	36		$D = 450-700$ $T = 40-80$ $H = 51-305$
	С	10		$D = 150-300$ $T = 8-20$ $H = 32-127$ $b = 6-10$
Специальные	ПР	36		$D = 500-1250$ $T = 16$ $H = 51-250$

Характеристика абразивного инструмента включает вид абразивного материала, размер режущих зерен, твердость круга, номер структуры и вид связи. Ниже в табл. 4.7–4.8 приведены основные характеристики абразивных кругов.

Таблица 4.7

Обозначения абразивных материалов

Абразивный материал	Марка	Абразивный материал	Марка
Электрокорунд нормальный	16А	Электрокорунд титанистый	37А
	15А		
	14А	Монокорунд	45А
	13А		44А
	12А		43А
Электрокорунд белый	25А	Карбид кремния зеленый	64С
	24А		63С
Электрокорунд белый	23А	Карбид кремния зеленый	62С
	22А		55С
Электрокорунд хромистый	34А	Карбид кремния черный	54С
	33А		53С
	32А		52С

Область применения абразивных материалов приведена в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Область применения абразивных материалов

Абразивный материал	Марка	Вид материала	Область применения
1	2	3	4
Корунд естественный	—	Зерна для шлифовальных кругов специального назначения	Шлифование шариков для подшипников качения. Шлифование и доводка металлов, стекла и других материалов
Электрокорунд нормальный: $Al_2O_3 - 91\%$	12А	Зерна для шлифовальных кругов на органической связке, порошки, микропорошки	Обдирочное шлифование чугунного и стального литья, поковок, штампованных деталей и зачистка стальных швов

1	2	3	4
$Al_2O_3 - 92\%$	13A	—	Отделочная обработка порошками металлических изделий
$Al_2O_3 - 93\%$	14A		
$Al_2O_3 - 93\%$	14A	Зерна для абразивного инструмента на различных связках	Шлифование конструкционных и углеродистых сталей в сыром и закаленном виде, легированных сталей, ковкого чугуна, твердой бронзы
$Al_2O_3 - 95\%$	15A	Зерна для абразивного инструмента на различных связках. Круги для скоростного шлифования	Шлифование углеродистых и легированных сталей в закаленном состоянии, быстрорежущих сталей, их заменителей, заточка инструмента
Электрокорунд белый $Al_2O_3 - 95\%$	22A	Зерна и порошки для абразивных инструментов на органических связках	Шлифование и доводка легированных и закаленных сталей
$Al_2O_3 - 99-99,3\%$	23A 24A	Зерна, порошки и микропорошки для различных инструментов на различных связках	Шлифование и доводка легированных и закаленных сталей. Заточка и доводка режущего инструмента
Монокорунд: $Al_2O_3 - 96,5-97,4\%$	43A	Порошки и пасты из них	Доводка закаленных углеродистых и легированных сталей
$Al_2O_3 - 97,5-98,5\%$	45A	Зерна и порошки для абразивных инструментов на различных связках	Шлифование легированных цементированных закаленных и азотированных сталей. Заточка и доводка режущего инструмента

1	2	3	4
Электрокорунд хромистый	34А	Зерна и порошки для абразивных инструментов на различных связках	Шлифование конструкционных углеродистых, легированных сталей. Обеспечивают лучшее качество поверхности, чем круги из 22А и 23А при большей стойкости кругов
Электрокорунд титанистый	37А	Зерна и порошки для абразивных инструментов на различных связках	Шлифование конструкционных углеродистых, легированных сталей. Обеспечивают лучшее качество поверхности, чем круги из 22А и 23А, при большей стойкости кругов
Карбид кремния: черный:			Шлифование незакаленных твердых металлов и неметаллов
SiC – 95 %	53С	Зерна и порошки	
SiC – 97 %	54С		
SiC – 98 %	55С	Зерна и порошки для абразивных инструментов на различных связках	Зернистостью 125/50 – обработка чугуна, меди, алюминия, стекла, фарфора, камня, эбонита и т. д. Зернистостью 40/16 – шлифование твердых и хрупких материалов. Заточка инструментов, оснащенных пластинками твердых сплавов
зеленый:			
SiC – 97 %	63С	Зерна и порошки для абразивных инструментов на различных связках	Тонкое шлифование и доводка легированных и закаленных сталей и неметаллических материалов высокой твердости
SiC – 99 %	63С		
SiC – 99,5 %	63С		

1	2	3	4
SiC – 96 % SiC – 97 %	63С 63С	Порошки и микропорошки	Шлифование твердых сплавов, заточка твердосплавного инструмента, заточка минералокерамических резцов. Обработка неметаллических материалов высокой твердости
Карбид бора	КБ	Порошки, микропорошки и пасты из них	Доводка режущих инструментов из твердых сплавов и минералокерамических резцов. Расшлифовка и доводка калиброванных колец из твердых сплавов
Карбид бора	КБ	Порошки, микропорошки и пасты из них	Шлифование технических и часовых камней из искусственного рубина, сверление и доводка подпятников для специальных измерительных приборов и т. д.

Следующей характеристикой шлифовального круга является зернистость. За зернистость принимают номинальный размер стороны ячейки сетки в свету, на которой задерживается зерно. В зависимости от крупности частиц абразивные материалы делят на группы и номера (табл. 4.9). Зернистость алмазных и других синтетических сверхтвердых материалов принято обозначать дробью, у которой числитель соответствует наибольшему, а знаменатель – наименьшему размерам зерен основной фракции. За номер зернистости микропорошков принимают верхний предел зерен основной фракции.

## Группы и зернистости абразивных материалов

Группа зернистости	Зернистость
Шлифзерно	200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16
Шлифпорошки	12, 10, 8, 6, 5, 4, 3
Микропорошки	M63, M50, M40, M28, M20, M14
Тонкие микропорошки	M10, M7, M5, M3, M2, M1

На основе теоретических исследований (Ящерицын П.И., Еременко М.Л. и др.) и производственного опыта разработаны рекомендации о применяемости абразивных материалов в зависимости от их зернистости для различного вида работ, табл. 4.10.

Таблица 4.10

Области применения абразивных материалов  
в зависимости от их зернистости

Зернистость абразива	Область применения
200–100	Зачистка заготовок, отливок, штамповок, крупных штампованных деталей (ручные обдирочные работы)
80–50	Плоское шлифование торцом круга, заточка средних и крупных резцов, правка абразивных инструментов, отрезные работы, грубые зачистные работы шкуркой
40–25	Предварительное и окончательное шлифование с одного станова, заточка режущего инструмента, черновое шлифование шкуркой
20–16	Чистовое шлифование, обработка фасонных профилей, заточка мелкого инструмента, шлифование хрупких материалов, предварительное шлифование шкуркой
12–6	Отделочное шлифование, доводка твердых сплавов и режущего инструмента с термокорундовыми пластинками, предварительное хонингование, заточка тонких лезвий, чистовое шлифование шкуркой
5–3	Отделочное шлифование металлов, стекла, мрамора и т. п.; резьбошлифование; доводка тонких лезвий; чистовое хонингование, окончательное шлифование шкуркой.
M40–M5	Суперфиниширование, окончательное хонингование, притирка, доводка тонких лезвий и мерительных поверхностей калибров, резьбошлифование резьб с мелким шагом, отделочная обработка шкуркой

Отдельные зерна абразивного материала скрепляются в одно тело при помощи связки. Вид связки абразивного материала существенно влияет на его прочность и режимы работы. Все связки делятся на две группы: неорганические и органические. К неорганическим связкам относятся керамическая, магнезиальная и силикатная. Керамическая связка является самой распространенной из них, так как ее использование в абразивных материалах рационально для наибольшего числа операций. Она устойчива при высоких температурах, при шлифовании допускает применение различных смазывающих и охлаждающих жидкостей, скорость шлифовального круга возможна до 60 м/с.

К органическим связкам относятся бакелитовая, глифталевая и вулканитовая. Круги на бакелитовой связке обладают высокой прочностью и эластичностью, устойчивы к переменным нагрузкам, но пористость их ниже, чем у кругов на керамической связке. Круги на бакелитовой связке работают на скоростях 35–70 м/с и более. На ней изготавливают круги толщиной (высотой) до 0,18 мм.

Водостойкость и упругость кругов на глифталевой связке больше, чем кругов на бакелитовой связке, но прочность и теплостойкость меньше. Эти круги применяются для окончательного шлифования и доводки изделий с шероховатостью поверхности 10–11 классов. Скорость кругов 35–50 м/с.

Круги на вулканитовой связке благодаря их эластичности успешно используются для прорезных и отрезных работ. Они обладают хорошей полирующей способностью и могут работать со щелочными охлаждающими жидкостями. Скорость кругов на вулканитовой связке 18–80 м/с.

Для связок приняты следующие условные обозначения: керамическая – К, магнезиальная – М, силикатная – С, бакелитовая – Б, глифталевая – ГФ, вулканитовая – В.

Одной из важнейших характеристик шлифовального круга является его твердость. Она практически не зависит от твердости абразивного зерна. Чем выше твердость круга, тем большее усилие необходимо приложить, чтобы вырвать зерно из связки.

Показателем твердости абразивного инструмента является глубина лунки на поверхности круга (при использовании пескоструйного метода измерения твердости по ГОСТ 18118–72) или показания прибора Роквелла (при использовании метода вдавливания шарика по ГОСТ 19202–73).

Первый метод применяют для инструмента на всех видах связок зернистостью 50 и менее и при высоте круга 8 мм и более, второй – для кругов на керамической и бакелитовой связках зернистостью 12 и менее и при высоте круга не более 8 мм. Твердость кругов на вулканитовой связке зернистостью 80–10 определяется в соответствии с ГОСТ 21323–75, которым предусматривается высверливание лунки определенной глубины специальным сверлом при постоянном давлении на сверло. По количеству оборотов сверла судят о твердости круга.

Мягкими кругами выполняют чистовую обработку твердых материалов (закаленная сталь, твердые сплавы и т. п.). Для обдирочных работ применяют более твердые круги. Кругами средней твердости и твердыми обрабатывают непрочные и более мягкие материалы (незакаленную сталь, чугун и т. д.). Кроме того, при шлифовании тонких изделий применяются более мягкие круги; при профильном (фасонном) шлифовании, при шлифовании деталей небольшого диаметра, прерывающихся поверхностей, углов, радиусов, а также при шлифовании с охлаждающей жидкостью используют более твердые круги. Круги с меньшим зерном надо выбирать более мягкие, чем применяемые для таких же условий обработки с более крупным зерном.

На керамической и бакелитовой связках выпускаются инструменты всех твердостей, а на вулканитовой – только СМ1, СМ2, С1, С2, СТ1, СТ2, СТ3, Т1 и Т2. Шкала твердости абразивных инструментов по ГОСТ 18118–72 приведена в табл. 4.11. Цифры 1, 2, 3 справа от буквенных обозначений характеризуют степень твердости абразивного инструмента в порядке ее возрастания.

Таблица 4.11

Степень твердости абразивных инструментов

Обозначение	Наименование	Группа твердости
М	Мягкие	М1; М2; М3
СМ	Средней мягкости	СМ1; СМ2
С	Средние	С1; С2
СТ	Средней твердости	СТ1; СТ2; СТ3
Т	Твердые	Т1; Т2
ВТ	Весьма твердые	ВТ1; ВТ2
ЧТ	Чрезвычайно твердые	ЧТ1; ЧТ2

Внутреннее строение абразивного материала характеризуется количественным соотношением объема абразивных зерен, связки и пор и называется структурой круга. Основной системы структур является объемное содержание абразивного зерна в инструменте. В табл. 4.12 приведены структуры абразивных материалов, область применения различных структур абразивных материалов – в табл. 4.13.

Таблица 4.12

Структура абразивного материала

Наименование и вид структур	Закрытые или плотные				Средние				Открытые				Высокопористые					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Номер структуры																		
Объемное содержание зерна, %	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	Общая объемная пористость 35–70 %					

Таблица 4.13

Выбор структуры шлифовальных кругов для наиболее распространенных операций шлифования

Виды шлифования	Номер структуры шлифовальных кругов
Профильное шлифование с сохранением профиля круга, шлифование прерывистых поверхностей, отрезные работы и прорезка пазов, обдирочные работы с небольшим съемом припуска	3–4
Круглое наружное; бесцентровое, плоское шлифование периферией круга; заточка режущего инструмента	5–6 13–15*
Плоское шлифование торцом круга; внутреннее шлифование; шлифование твердосплавного инструмента (матрицы, волокни)	7–9 14–16*
Шлифование и заточка режущих инструментов, оснащенных твердыми сплавами; обдирочные работы с большим съемом припуска	8–10
Резьбошлифование, зубошлифование, шлицешлифование и профильное шлифование мелкозернистыми кругами	8–12

**Примечание.** \* Применение высокопористых кругов более эффективно.

Шлифовальные круги диаметром 250 мм и более в соответствии с ГОСТ 2424–83Е перед установкой на станке должны пройти контроль неуравновешенности по ГОСТ 3060–75. Неуравновешенность круга увеличивает шероховатость обработанной поверхности и приводит к появлению на ней дробления, прижогов, повышенному износу круга, преждевременному выходу из строя шпиндельного и других узлов станка. ГОСТ 3060–75 установлены четыре класса неуравновешенности шлифовальных кругов, по которым допустимые неуравновешенности массы определяются в зависимости от массы кругов. Для кругов класса точности АА применяют первый класс неуравновешенности, класса точности А – первый или второй, для кругов точности В – второй или третий.

Пример условного обозначения шлифовального круга прямого плоского профиля, с наружным диаметром  $D = 500$  мм, высотой  $T = 50$  мм, внутренним диаметром  $H = 305$  мм, из электрокорунда белого марки 25А, зернистостью 10-П, степенью твердости С2, номером структуры 7, на керамической связке К, допустимой рабочей скоростью 35 м/с, класса точности круга А, первого класса неуравновешенности:

1 500×50×305 25А 10-П С2 7 К 35 м/с А 1 кл. ГОСТ 2424–83Е.

В обозначениях кругов типов 2 и 37 должны быть обязательно указаны  $D \times T \times W$ , для остальных –  $D \times T \times H$ .

*Пример.* Назначить величину шероховатости посадочной шейки вала  $\varnothing 30h6 = \varnothing 30_{-0,013}$  с допуском формы поверхности, равным 100 % от допуска размера, назначить методы обработки, обеспечивающие получение данной шероховатости поверхности, выбрать оборудование и режущий инструмент, назначить режимы резания. Припуск на шлифование  $Z_{\min} = 0,2$  мм. Материал детали – сталь 40Х, 40–45 HRC. Вычертить эскиз детали и схему наладки на проектируемую операцию.

По табл. П 4.1 определяем шероховатость поверхности  $\varnothing 30h6$  с допуском формы, равным 100 % от допуска размера:  $Ra_1 = 1,6$  мкм.

По табл. П4.2 определяем параметр шероховатости для того же диаметра для посадочной шейки вала под подшипник:  $Ra_2 = 1,25$  мкм.

Принимаем наименьшее из двух значений  $Ra = 1,25$  мкм и проставляем это значение на эскизе вала.

Шероховатость торцовой поверхности обычно принимают в два раза большую по сравнению с шероховатостью цилиндрической поверхности. Принимаем  $Ra = 2,5$  мкм. По табл. П 4.3 определяем маршрут обработки. Для закаленной наружной цилиндрической поверхности 6-го квалитета точности с шероховатостью  $Ra = 1,25$  мкм маршрут обработки состоит из операций точения, термообработки и шлифования. По табл. 4.6–4.13 выбираем характеристику шлифовального круга. Принимаем круг

1 750×50×305 32А 25 СМ2 8К 50 м/с А 1 кл. ГОСТ 2424–83Е.

Выбираем торцевокруглошлифовальный станок 3Т160, позволяющий производить одновременную обработку цилиндрической поверхности и прилегающего к ней торца. Строим схему наладки на финишную операцию – шлифование диаметра  $30h6$ . Схема наладки приведена на рис. 4.3.

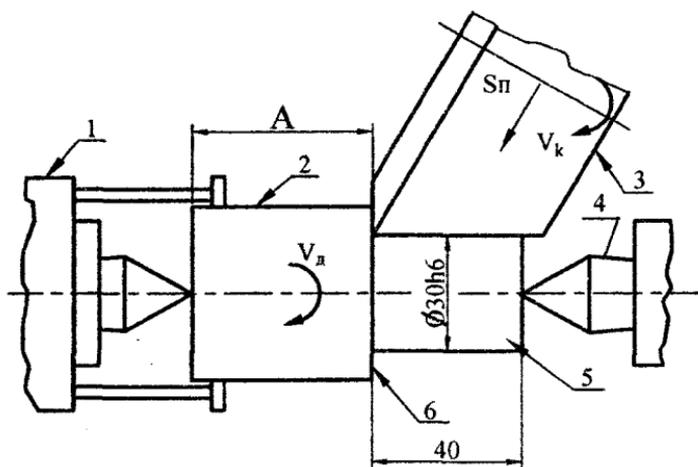


Рис. 4.3. Схема наладки на операцию шлифования

Назначаем режимы резания на операцию, формирующую качество поверхности, – шлифование. Принимаем скорость шлифовального круга  $V_k = 40$  м/с,  $V_d = 40$  м/мин (обычно скорость детали

в 60–100 раз меньше скорости шлифовального круга). Определяем частоту вращения детали:

$$n = \frac{1000V_d}{\pi \cdot d} = 430 \text{ мин}^{-1}.$$

По табл. П 4.2 для диаметра 30h6 при длине обработки  $L = 40$  мм выбираем расчетные величины минутных поперечных подач при предварительном и окончательном шлифовании  $S_n = 1,9$  мм/мин,  $S_q = 0,5$  мм/мин.

По табл. П 4.3–П 4.6 определяем значения поправочных коэффициентов:

$k_1 = 1,1$  ( $V_k = 40$  м/с);  $k_2 = 0,75$  ( $Td = 0,013$  мм,  $Z_{\min} = 0,2$  мм);  $k_3 = 1,0$  ( $D = 750$  мм,  $m = 1$ ).

С учетом поправочных коэффициентов  $S_n = 1,5$  мм/мин,  $S_q = 0,4$  мм/мин.

Время выхаживания  $\tau$  определяется по табл. П 4.6. Для  $Td = 0,013$  мм,  $d = 30$  мм,  $L = 40$  мм,  $Ra = 1,25$  мкм –  $\tau = 0,18$  мин.

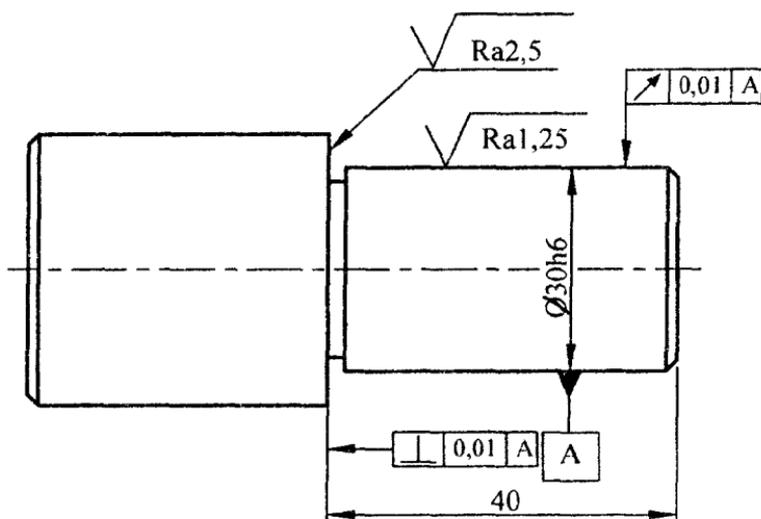


Рис. 4.4. Эскиз вала

## Варианты заданий

Номер чертежа и наименование детали	Поверхности, на которые должна назначаться шероховатость	Поверхности, на которые составляется маршрут обработки	Маршрут обработки	Наименование и модель станка	Характеристика круга
1	2	3	4	5	6
№ 4.5, вал ТМ 7.04	Ø36k6 и прилегающие торцы	Ø36k6 и прилегающие торцы			
№ 4.5, вал ТМ 7.04	Ø40k6 и прилегающие торцы	Ø40k6 и прилегающие торцы			
№ 4.6, вал ТМ 7.03	Ø60k6 и прилегающие торцы	Ø60k6 и прилегающие торцы			
№ 4.6, вал ТМ 7.03	Ø70k6 и прилегающие торцы	Ø70k6 и прилегающие торцы			
№ 4.7, шестерня ТМ 3.53	Ø90k6 и поверхности зубьев	Ø90k6 и поверхности зубьев			
№ 4.8, ось ТМ 4.36	Ø5f9 и прилегающие торцы	Ø5f9 и прилегающие торцы			
№ 4.9, вставка ТМ 5.05	$D_2 = 50e8$ и прилегающий торец	$D_2 = 50e8$ и прилегающий торец			
№ 4.9, вставка ТМ 5.05	$D_3 = 40H7$ и прилегающий торец	$D_2 = 40H7$ и прилегающий торец			
№ 4.10, вал ТМ 4.50	Ø25k6 и прилегающий торец	Ø25k6 и прилегающий торец			
№ 4.10, вал ТМ 4.50	Ø35k6 и прилегающий торец	Ø35k6 и прилегающий торец			
№ 4.11, шестерня ТМ 5.14	Ø40H7 и поверхности зубьев	Ø40H7 и поверхности зубьев			
№ 4.12, кольцо ТМ 2.5	Ø39 <sup>-0,025</sup> и торец	Ø39 <sup>-0,025</sup> и торец			
№ 4.12, кольцо ТМ 2.5	Ø31 <sup>+0,064</sup> <sub>+0,028</sub> и торец донышка	Ø31 <sup>+0,064</sup> <sub>+0,028</sub> и торец донышка			

1	2	3	4	5	6
№ 4.13, крестовина ТМ 1.25	Ø60 $f7$ и прилегающие торцы	Ø60 $f7$ и прилегающие торцы			
№ 4.15, корпус 2.30а	Ø30 $H7$ и поверхности Б и В	Ø30 $H7$ и поверхности Б и В			
№ 4.16, втулка ТМ 5.26	Ø105 $n6$ и прилегающий торец	Ø105 $n6$ и прилегающий торец			
№ 4.16, втулка ТМ 5.26	Ø90 $H7$ и левый торец	Ø90 $H7$ и левый торец			
№ 4.17, стакан ТМ 4.56	Ø90 $k6$ и прилегающий торец	Ø90 $k6$ и прилегающий торец			
№ 4.17, стакан ТМ 4.56	Ø72 $H7$ и правый торец буртика	Ø72 $H7$ и правый торец буртика			
№ 4.18, корпус ТМ 4.52	Ø35 <sup>+0,018</sup> <sub>-0,008</sub> и торец расточки	Ø35 <sup>+0,018</sup> <sub>-0,008</sub> и торец расточки			
№ 4.18, корпус ТМ 4.52	Ø60 <sup>+0,023</sup> <sub>+0,003</sub> и прилегающий торец	Ø60 <sup>+0,023</sup> <sub>+0,003</sub> и прилегающий торец			
№ 4.18, корпус ТМ 4.52	Ø50 <sup>+0,025</sup> и прилегающий торец	Ø50 <sup>+0,025</sup> и прилегающий торец			
№ 4.19, зубчатое колесо ТМ 7.15	Ø50 $H7$ и поверхности зубьев	Ø50 $H7$ и поверхности зубьев			
№ 4.20, валик центральной ТМ 4.26	Ø20±0,007 и прилегающий торец	Ø20±0,007 и прилегающий торец			
№ 4.20	Ø12±0,006 и прилегающий торец	Ø12±0,006 и прилегающий торец			

1	2	3	4	5	6
№ 4.21, кронштейн ТМ 8.16	Ø20H7, Ø25H7 и Ø14H7	Ø20H7, Ø25H7 и Ø14H7			
№ 4.22, валик ТМ 5.13	Ø20k6 и приле- гающий торец	Ø20k6 и приле- гающий торец			
№ 4.22, валик ТМ 5.13	Ø26k6 и приле- гающий торец	Ø26k6 и приле- гающий торец			
№ 4.23, кольцо на- ружное	Дорожка каче- ния и базовый торец	Дорожка каче- ния и базовый торец			
№ 4.23, кольцо на- ружное	Ø460 <sub>-0,045</sub> и пра- вый торец	Ø460 <sub>-0,045</sub> и пра- вый торец			
№ 4.24, кольцо внутрен- нее	Дорожка каче- ния и базовый торец	Дорожка каче- ния и базовый торец			
№ 4.24, кольцо внутрен- нее	Ø220 <sup>-0,002</sup> -0,018 и базовый то- рец	Ø220 <sup>-0,002</sup> -0,018 и базовый то- рец			
№ 4.25, стакан МП1-1219	Ø36H7 и левый торец	Ø36H7 и левый торец			
№ 4.14, втулка ТМ 3.31	Ø26H7 и левый торец	Ø26H7 и левый торец			
№ 4.14, втулка ТМ 3.31	Ø40±0,008 и правый торец	Ø40±0,008 и правый торец			
№ 4.14, втулка ТМ 3.31	Ø40±0,008 и прилегающий торец	Ø40±0,008 и прилегающий торец			
№ 4.14, втулка ТМ 3.31	Ø26H7 и правый торец выточки	Ø26H7 и правый торец выточки			

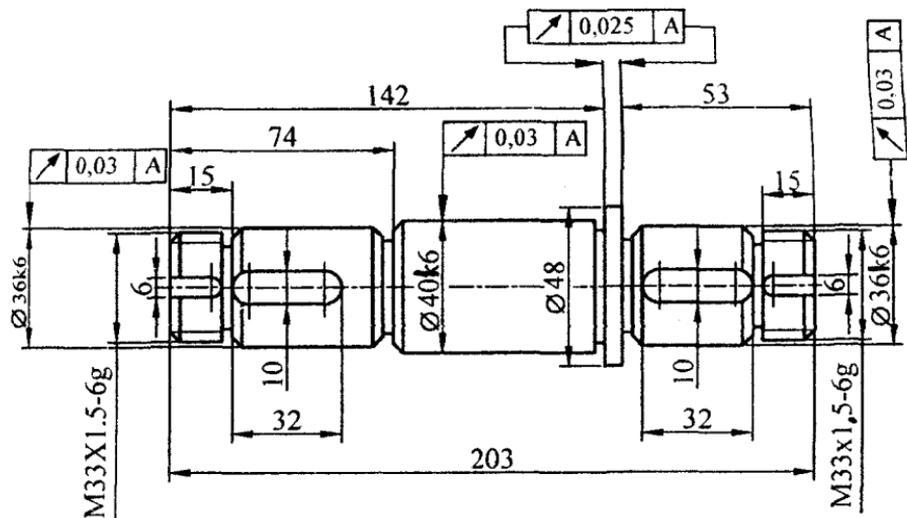


Рис. 4.5. Вал ТМ 7.04; сталь 40Х, 179–229 НВ, допуск непостоянства диаметра 40к6 в продольном и поперечном сечениях 0,008 мм

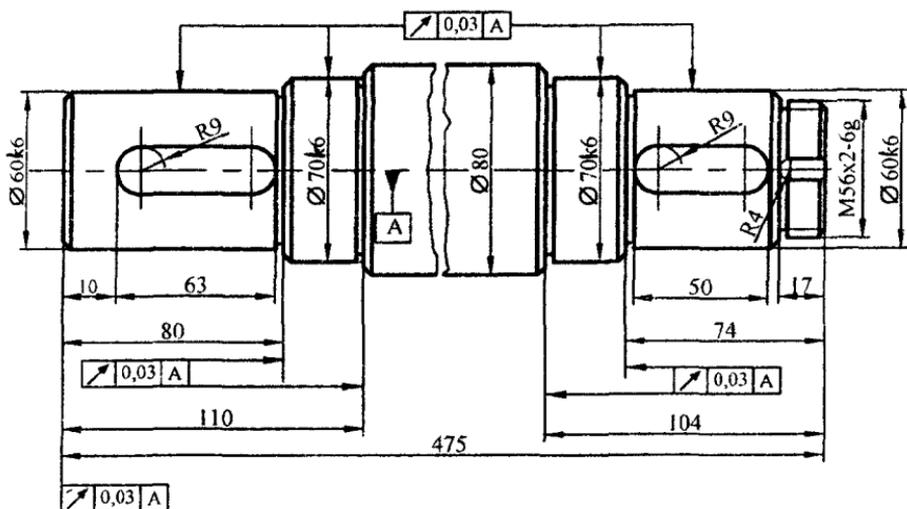


Рис. 4.6. Эскиз вала ТМ 7.03; сталь 40Х, 217–269 НВ, допуск непостоянства диаметра 60к6 в продольном и поперечном сечениях 0,01 мм

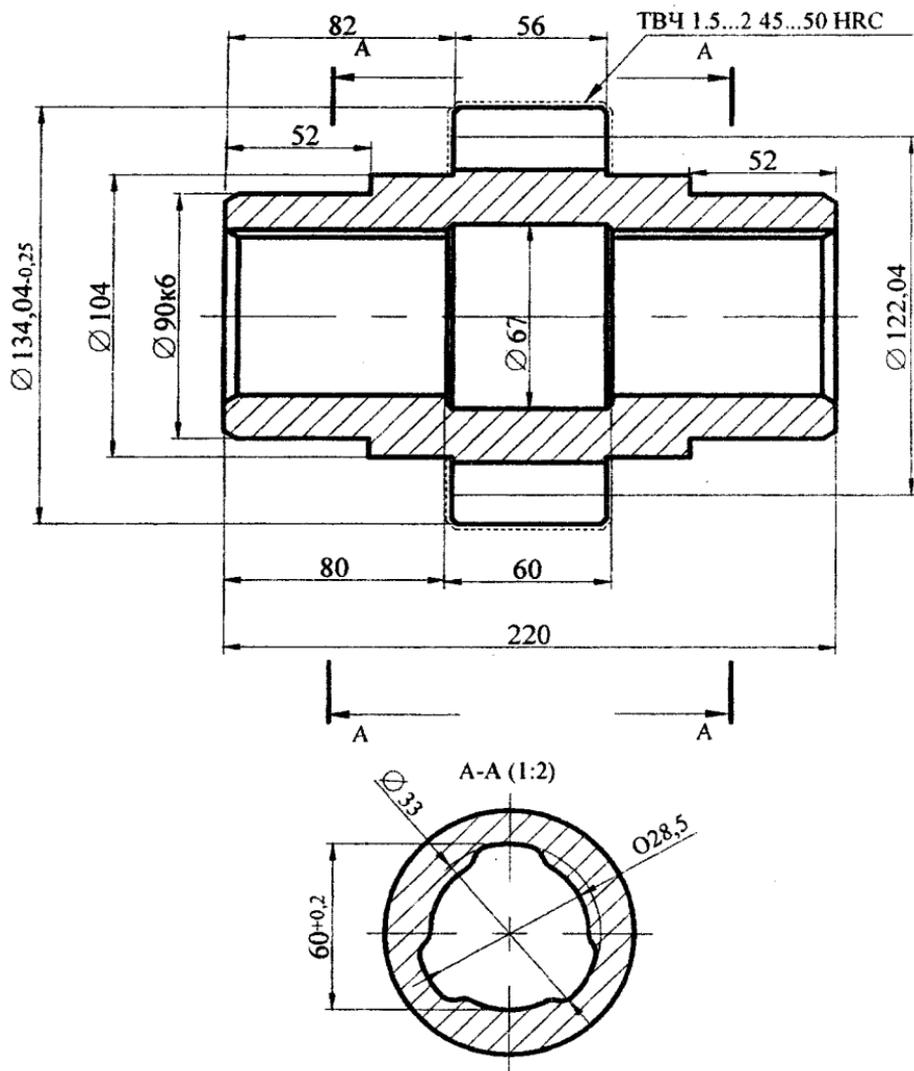


Рис. 4.7. Эскиз шестерни ТМ 3.53;  $m = 6$ ,  $z = 120$ , степень точности – 8 – В, сталь 45 ГОСТ 1050–88

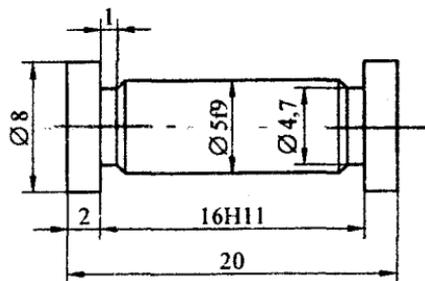
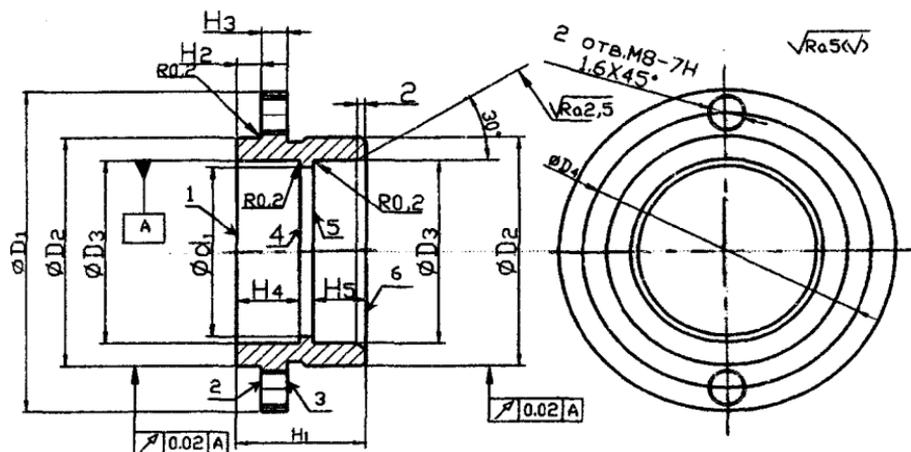


Рис. 4.8. Ось ТМ 4.36; сталь 45 ГОСТ1050–88, 40–45 HRC



Сталь 45 ГОСТ 1050–88  
40–45 HRC

Рис. 4.9. Эскиз вставки ТМ 5.05; сталь 45 ГОСТ 1050–88, 40–45 HRC

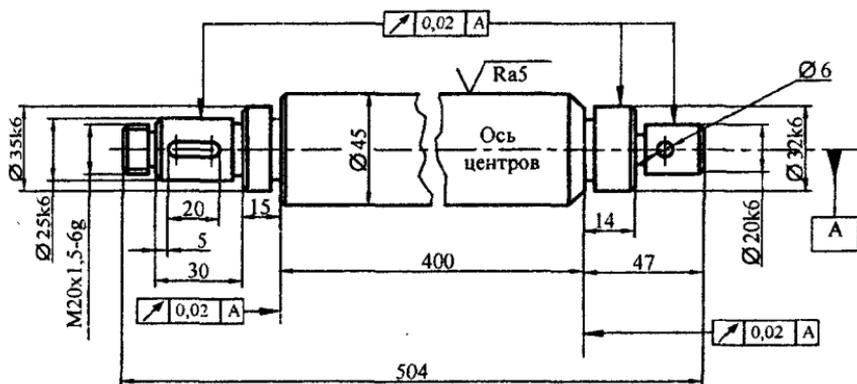


Рис. 4.10. Эскиз вала ТМ 4.50; сталь 45 241–285 НВ

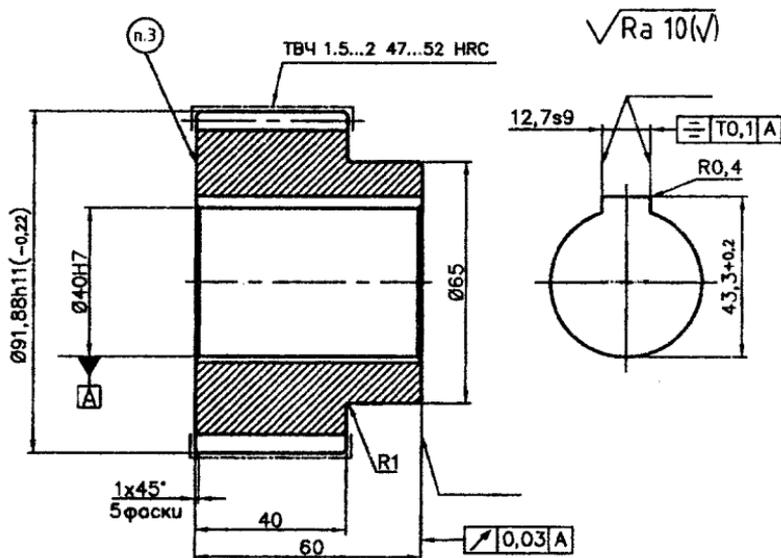


Рис. 4.11. Шестерня ТМ 5.14; сталь 40Х ГОСТ 4543-71, 179-229 НВ,  $m = 3$ ,  $z = 28$ , степень точности по ГОСТ 1643-81 – 7-С

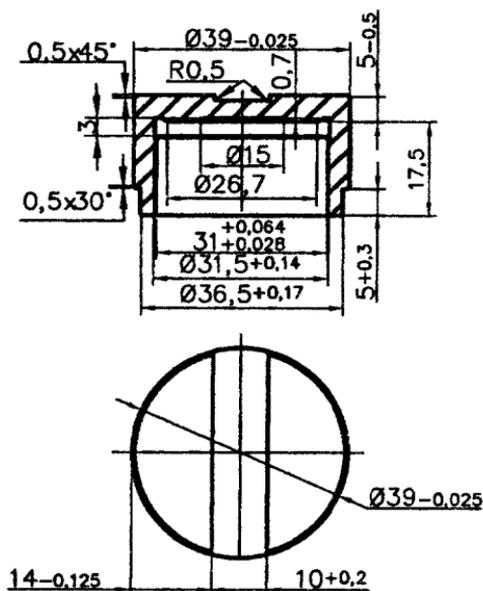


Рис. 4.12. Кольцо подшипника ТМ 2.5; сталь 15Г ГОСТ1050-74, цементовать  $h = 0,8-1,2$  мм, 61-65 HRC; овальность и конусность по наружному диаметру не более 0,008

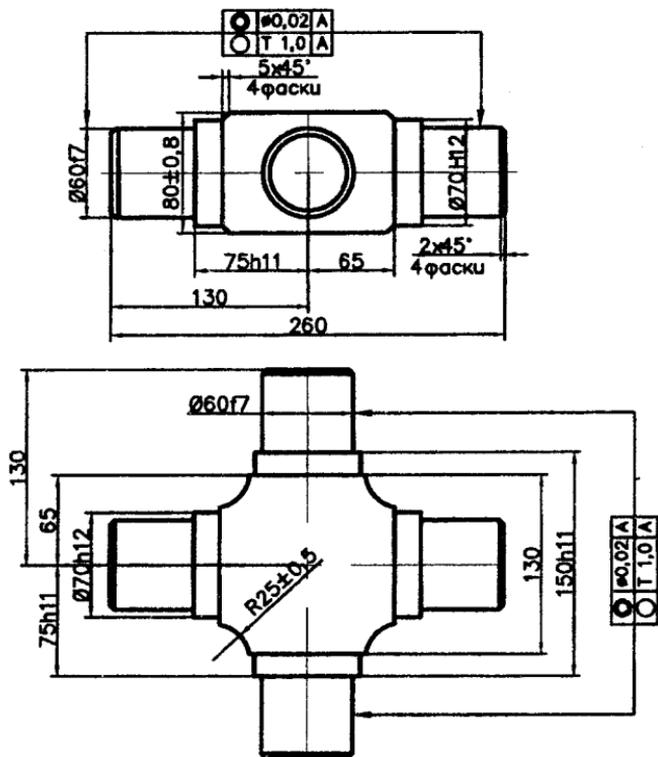


Рис. 4.13. Крестовина ТМ 1.25; сталь 20 ГОСТ1050–88, цементировать  $h = 0,7-0,9$  мм, 58–62 HRC

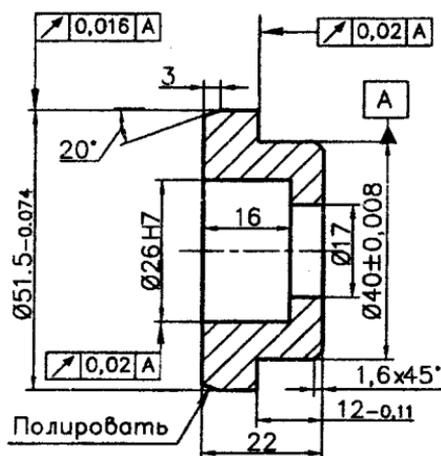


Рис. 4.14. Втулка ТМ 3.31, сталь 40Х ГОСТ 4543–71, 40–45 HRC

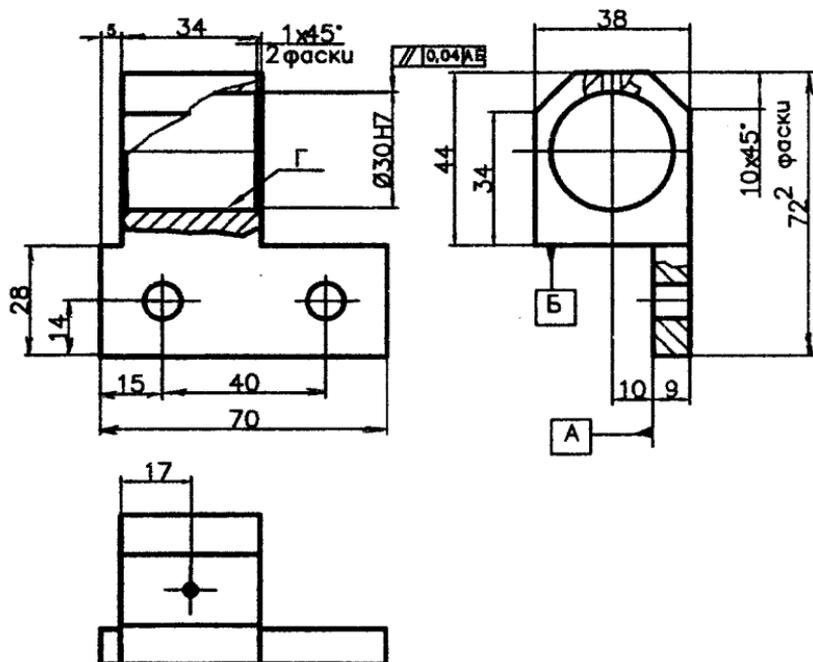


Рис. 4.15. Корпус ТМ 2.30а; сталь 45 ГОСТ 1050–88, 241–285 НВ; допуск непостоянства диаметров в поперечном и продольном сечениях поверхности  $\Gamma - 0,01$  мм

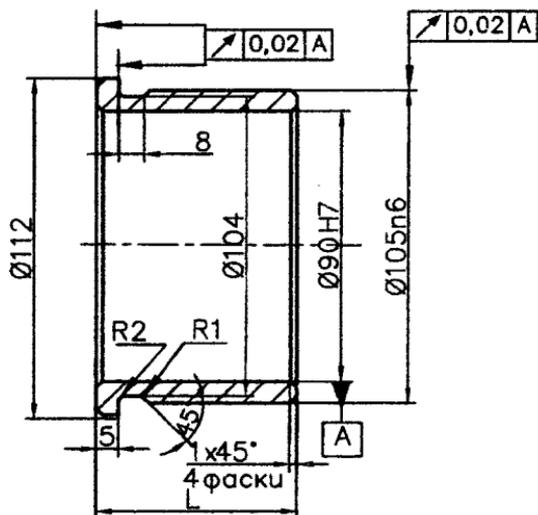


Рис. 4.16. Втулка ТМ 5.26; сталь 45 ГОСТ 1050–88, 32–45 HRC,  
 $L_1 = 35$  мм,  $L_2 = 65$  мм

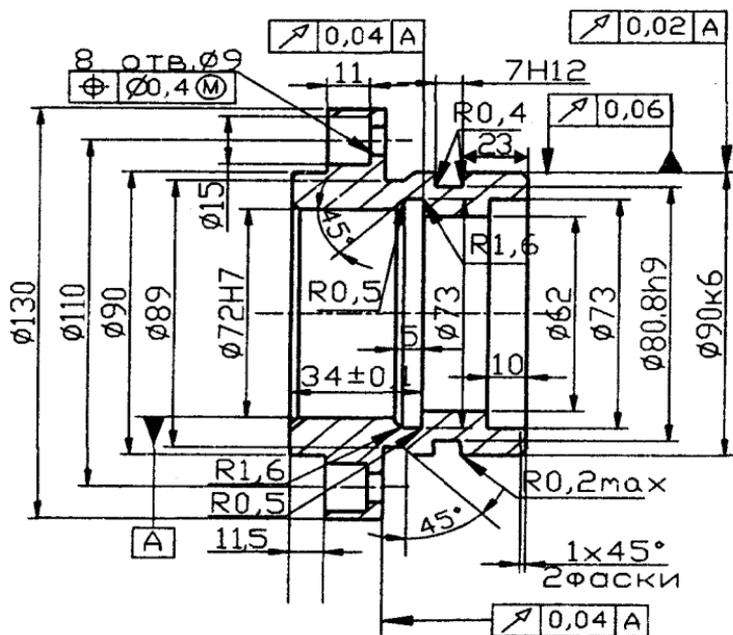


Рис. 4.17. Стакан ТМ 4.56; сталь 45 ГОСТ 1050–88, 241–285 НВ, допуск непостоянства диаметров в поперечном и продольном сечениях поверхности А 0,015 мм

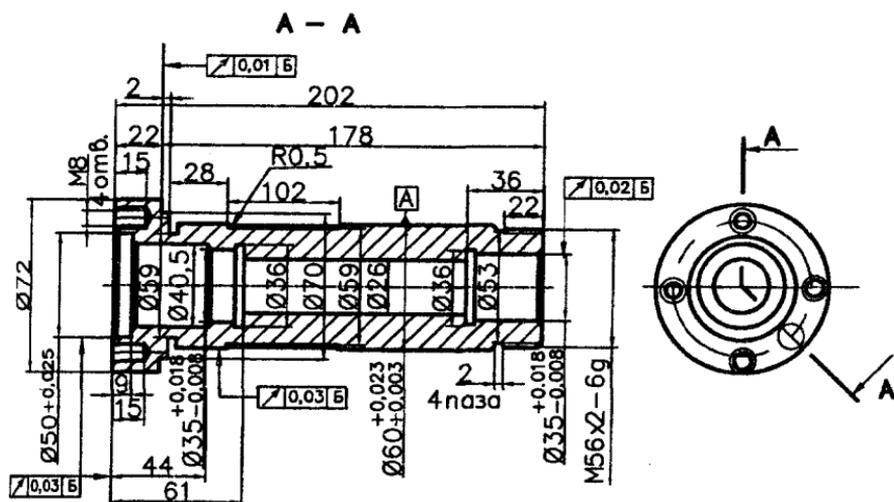


Рис. 4.18. Корпус ТМ 4.52; сталь 20Х ГОСТ 4543–71, цементировать  $H = 0,8-1,2$ , 53–57 HRC

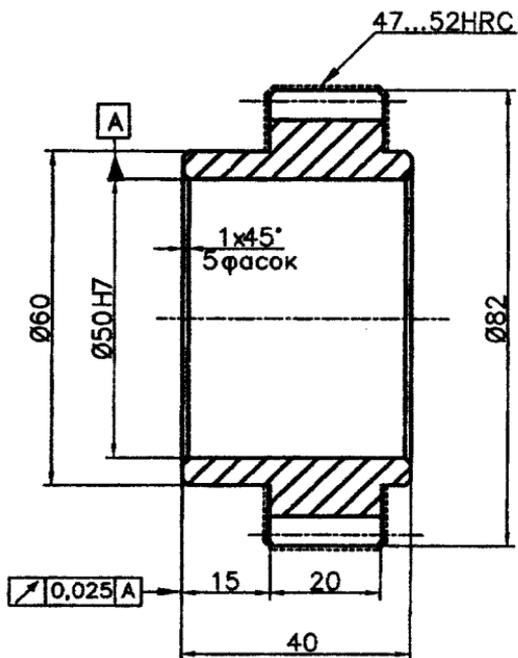


Рис. 4.19. Зубчатое колесо ТМ 7.15,  $m=2$ ,  $z=39$ , степень точности по ГОСТ 1643–81–9–В; сталь 40Х ГОСТ 4543–71, 217–269 НВ, допуск непостоянства диаметров в поперечном и продольном сечениях поверхности А 0,012 мм

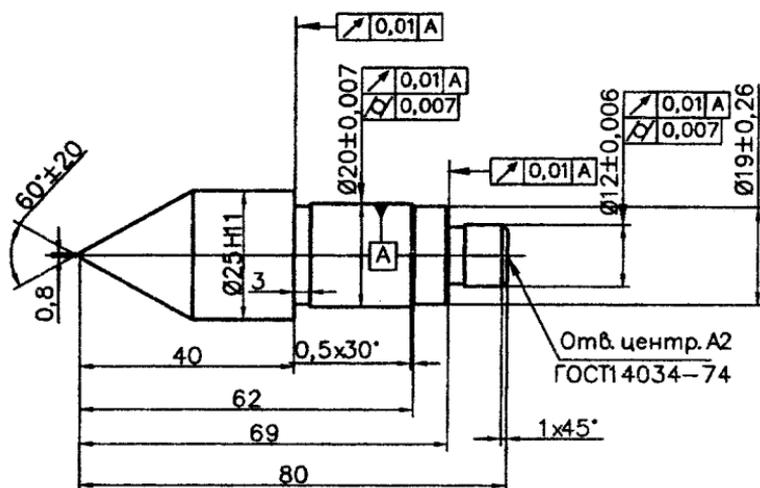
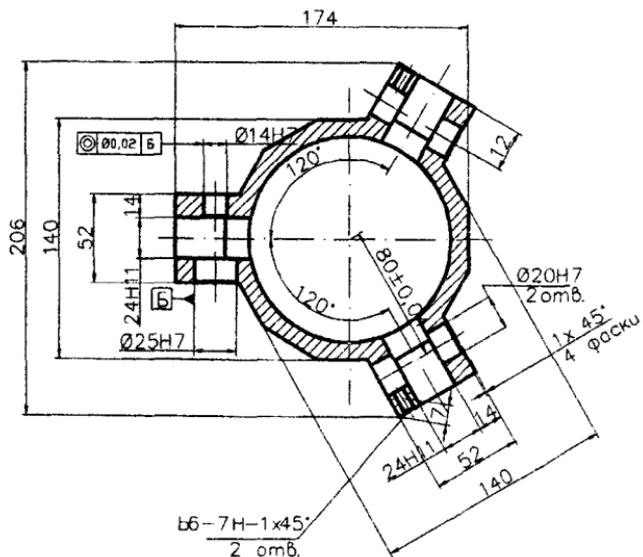
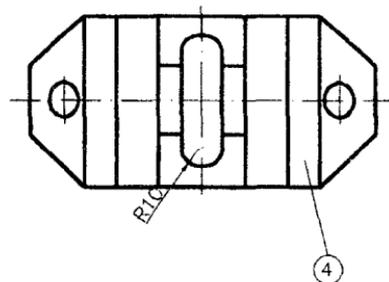
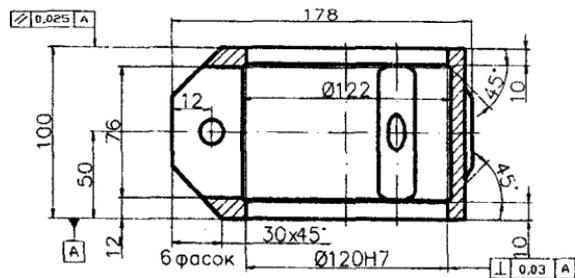


Рис. 4.20. Валик центровой ТМ 4.26; сталь 20Х ГОСТ 4543–71, 58–62 HRC



1. НВ 241..285
2. Общие допуски по ГОСТ 30893.1-2002.м
3. Покрытие: Хим. Окс. прм.
4. Маркировать обозначение

СТ-340.320.425.00  
 Кронштейн  
 Масса: 6 кг.  
 Материал: сталь 45 ГОСТ 1050-74  
 Масштаб: 1:2

Рис. 4.21. Кронштейн ТМ 8.16; сталь 45 ГОСТ 1050-88, 241-285 НВ

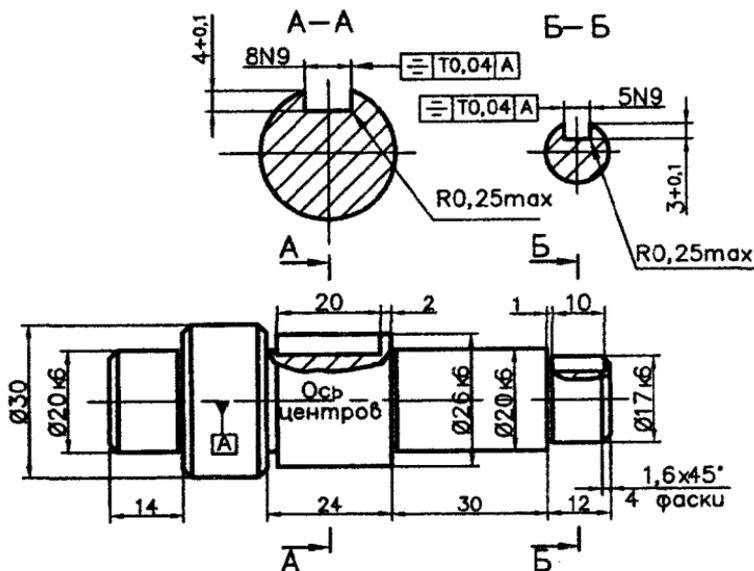


Рис. 4.22. Валик ТМ 5.13; сталь 45 ГОСТ 1050–88, 241–285 сталь 45 ГОСТ 1050–88, 241–285 НВ

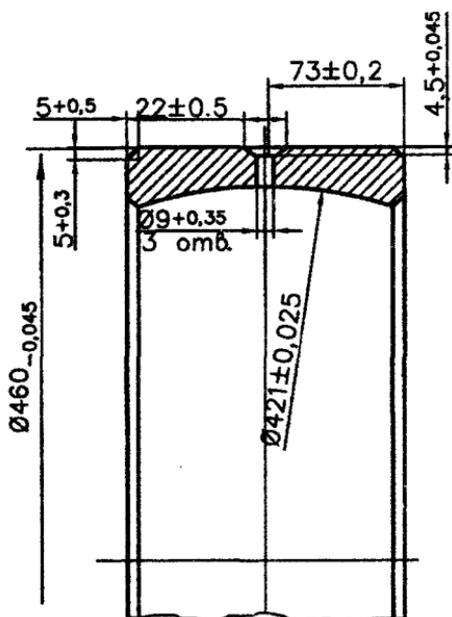


Рис. 4.23. Кольцо наружное 3003756Н.01, класс точности – Н ГОСТ 520–2002, сталь ШХ15СГ ГОСТ 801–78, 62–66 НRC

Отклонение диаметра дорожки качения в единичном сечении  $\pm 26$  мкм; непостоянство диаметра дорожки качения в единичном сечении – 25 мкм; разность диаметров сферы в среднем и диагональном сечениях  $\pm 14$  мкм; разностенность дорожки качения относительно наружного диаметра 68 мкм; отклонение единичной ширины 350 мкм; отклонение среднего наружного диаметра в единичном сечении 45 мкм; непостоянство наружного диаметра в единичном сечении 56 мкм; непостоянство среднего наружного диаметра в единичном сечении 34 мкм.

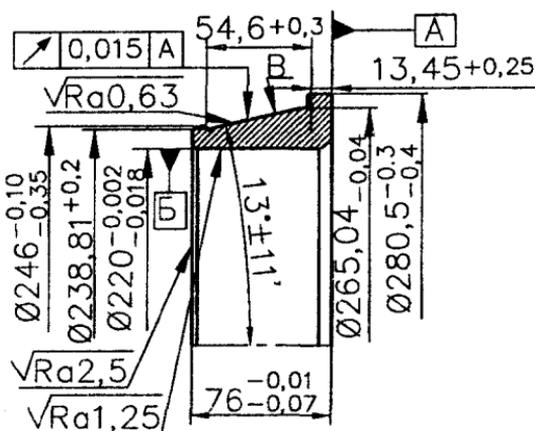


Рис. 4.24. Кольцо внутреннее 2007144АЛ.02;  
сталь ШХ15СГ ГОСТ 801–78, 61–68 HRC

Непостоянство поверхности В в единичном сечении – не более 0,013 мм.

Выпуклость образующей поверхности В 0,005–0,008 мм, наивысшая точка выпуклости должна находиться на расстоянии  $40,0 \pm 2,5$  мм от базового торца.

Волнистость поверхности В – не более 0,0008 мм.

Допуск круглости поверхности В – не более 0,005 мм.

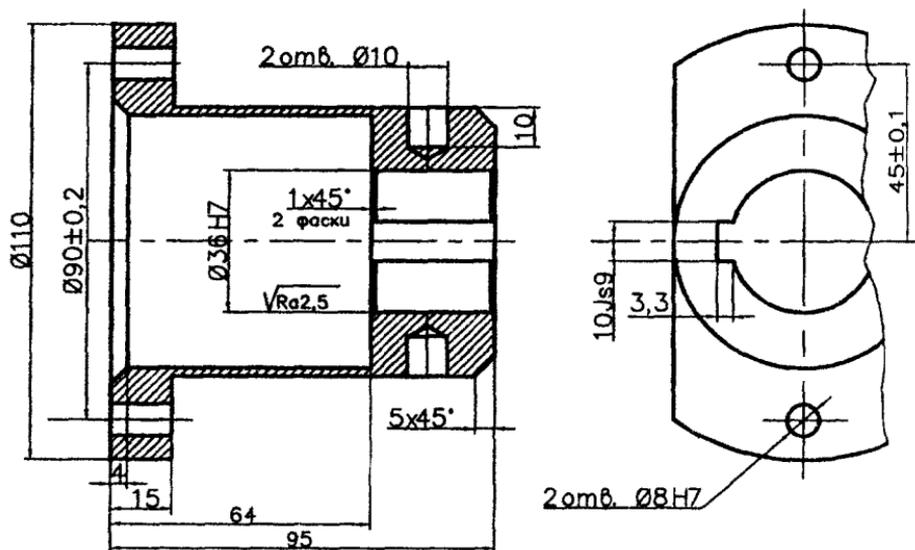


Рис. 4.25. Стакан МП1–1219; сталь 45 ГОСТ 1050–88, 241–285 НВ

### Порядок выполнения работы

1. Выполнить эскиз вала и проставить размеры ступеней под подшипники, шестерни и шкивы с заданными отклонениями размеров и формы согласно варианту задания.

2. Назначить шероховатость указанных в задании функциональных поверхностей деталей в зависимости от качества точности размеров, степени точности формы и условий эксплуатации. Исходные данные для назначения шероховатости определены вариантом задания и включают размеры поверхностей, их точность, погрешность формы  $\Delta_f$  в процентах от допуска размера, класс точности подшипника (степень точности зубчатого колеса). Правильность назначения шероховатости (волнистости) проверить по формулам общего приложения. Окончательно принять минимальное значение шероховатости (волнистости).

3. Проставить найденные значения параметров шероховатости (волнистости) на эскизе детали.

4. По табл. П 4.1–П 4.4 назначить маршрут обработки указанных поверхностей, обеспечивающий получение требуемой шероховатости поверхности.

5. Выбрать станок и вычертить схему наладки.

6. По табл. 4.6–4.13 определить характеристику шлифовального круга.

7. По табл. П 4.3–4.6 назначить режимы резания, обеспечивающие заданную точность и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

8. Составить отчет о работе.

### **Содержание отчета**

1. Задание и исходные данные для расчета.
2. Эскиз детали.
3. Выбор параметров шероховатости.
4. Выбор методов обработки указанных поверхностей и станочного оборудования.
5. Схема наладки.
6. Порядок выбора характеристики шлифовального круга.
7. Режимы резания, обеспечивающие заданные точность и качество поверхностей.
8. Выводы .

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Что означает понятие «качество поверхности»?
2. Как различаются шероховатость, волнистость и макроотклонения поверхности?
3. Какие вам известны параметры шероховатости?
4. В зависимости от каких требований к детали назначается шероховатость?
5. Как обозначается форма круга?
6. Какие существуют абразивные материалы и как они маркируются?
7. В зависимости от чего назначается зернистость круга?
8. Какие правила назначения твердости круга?

9. Какие вы знаете связки абразивных кругов, области их применения?

10. Какие необходимо иметь исходные данные для назначения маршрута обработки?

11. Назовите порядок назначения режимов резания на шлифовальную операцию.

### Литература

1. Справочник шлифовщика / Л.М. Кожуро [и др.]; под общ. ред. П.С. Чистосердова. – Минск: Выш. школа, 1981. – 287 с., ил.

2. Балабанов, А.И. Краткий справочник технолога-машиностроителя / А.И. Балабанов. – М.: Издательство стандартов. – 1992. – 464 с.

3. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с., ил.

4. Технология машиностроения: Сборник задач и упражнений: учебное пособие / В.И. Аверченков [и др.]; под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М., 2005. – 288 с. – (Высшее образование).

## ПРИЛОЖЕНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4

Таблица П 4.1

**Рекомендуемая шероховатость  
в зависимости от точности подшипника**

Посадочная поверхность	Класс точности подшипника	Шероховатость поверхности $R_a$ , мкм, при номинальном диаметре	
		до 80	св. 80 до 500
Валы	0 и 6	1,25	2,5
	5 и 4	0,63	1,25
	2	0,32	0,63
Отверстий корпусов	0 и 6	1,25	2,5
	5, 4, 2	0,63	1,25
Торцов заплечиков валов и корпусов	0 и 6	2,5	2,5
	5, 4, 6	1,25	2,5

Таблица П 4.2

**Поперечная подача  $S_m$ , мм/мин,  
при круглом наружном шлифовании**

Длина шлифования	Предварительное					Окончательное				
	До 16	Св. 16 до 40	Св. 40 до 60	Св. 60 до 100	Св. 100	До 16	Св. 16 до 40	Св. 40 до 60	Св. 60 до 100	Св. 100
До 25	2,6	2,2	1,8	1,7	1,5	0,75	0,60	0,50	0,45	0,40
До 40	2,2	1,9	1,6	1,5	1,3	0,65	0,50	0,45	0,40	0,35
До 60	2,0	1,7	1,4	1,3	1,1	0,60	0,45	0,40	0,35	0,30
До 100	1,7	1,5	1,2	1,1	1,0	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25
Св. 100	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,45	0,35	0,30	0,25	0,20

Таблица П 4.3

Значения коэффициента  $k_1$ 

Скорость круга, м/с	Обрабатываемый материал – сталь			
	10; 20; 25; 40; 45; 15Х; 30Х и малолегированные		38ХА; 40ХГНМ; 19ХГ; 25ХГСА и сложнелегированные	
	Не закал.	Закал.	Не закал.	Закал.
35	1,1	1,0	0,9	0,8
40	1,2	1,1	1,0	0,9
60	1,4	1,3	1,2	1,1

Таблица П 4.4

Значения коэффициента  $k_2$ 

Точность обработки, мм	Припуск на сторону $Z_{min}$ , мм		
	0,1	0,2	0,3
0,01	0,50	0,65	–
0,015	0,55	0,75	0,85
0,025	0,70	0,90	1,1
0,05	0,90	1,2	1,4

Таблица П 4.5

Значения коэффициента  $k_3$ 

Диаметр круга, мм	Число кругов			
	1	2	3	св. 3
До 450	0,8	0,7	0,6	0,55
До 600	0,9	0,8	0,7	0,6
До 750	1,0	0,9	0,8	0,7
Св. 750	1,1	1,0	0,9	0,8

Время выхаживания  $t$ , мин, в зависимости от требуемой шероховатости  $Ra$ , мкм, и диаметра обрабатываемой поверхности

Точность обработки, мм	Длина шлифуемой поверхности, мм	$Ra = 3,2-1,6$			$Ra = 1,6-0,32$		
		До 40	Св. 40 до 100	Св. 100	До 40	Св. 40 до 100	Св. 100
До 0,025	до 40	0,10	0,11	0,13	0,18	0,20	0,22
	до 100	0,11	0,13	0,15	0,20	0,22	0,25
	св. 100	0,13	0,15	0,18	0,23	0,24	0,27
0,025-0,05	до 40	0,08	0,09	0,10	0,12	0,15	0,17
	до 100	0,09	0,10	0,11	0,14	0,17	0,19
	св. 100	0,10	0,12	0,13	0,16	0,19	0,22

## РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

**Цель работы:** получить практические навыки анализа точности и жесткости вспомогательного инструмента.

### Основные положения

На точность размера обрабатываемой заготовки кроме всех прочих факторов влияют:

погрешность положения режущей кромки инструмента после его установки, возникающие из-за неточности изготовления отдельных элементов и сборки вспомогательного инструмента;

погрешность, вызванная недостаточной жесткостью элементов и жесткостью стыков в сборном инструменте.

Данные о предельно допустимых значениях точности и жесткости служат критериями оценки качества конструкции вспомогательного инструмента при определении технических требований к инструменту в целом и отдельным его элементам.

Биение режущей части инструмента в системе координат станка рассматривают как замыкающее звено в размерной цепи, образованной отклонениями линейных и угловых размеров элементов системы «станок-инструмент».

Решение уравнений размерных цепей теоретико-вероятностным методом дает возможность учесть законы распределения погрешностей размеров, формы и взаимного положения поверхностей режущего и вспомогательного инструментов при их изготовлении и случайный характер составляющих погрешностей, в том числе смещение осей режущего и вспомогательного инструментов. При этом угловые погрешности составляющих звеньев (перекос осей) и векторные погрешности (параллельное смещение осей) суммируют путем приведения перекосов осей к векторному виду.

Погрешность замыкающего звена (биение режущей части) может быть определена через передаточные отношения:

$$e_{\Sigma}(x) \geq \frac{1}{K_{\Sigma}(x)} \sqrt{A_i^2 \cdot K_i^2 \cdot e_i^2 + \sum A_{X_i}^2 \cdot K_{X_i}^2 \cdot e_{X_i}^2}, \quad (5.1)$$

где  $e_{\Sigma(X)}$  – половина допустимого биения режущей части как замыкающего звена;

$K_{\Sigma(X)}$  – коэффициент относительного рассеяния замыкающего звена:

$$K_{\Sigma(X)} = 1 + \frac{0,55}{\sum_{i=1}^n e_i} \left( \sqrt{\sum_{i=1}^n K_i^2 \cdot e_i^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2} \right); \quad (5.2)$$

$A_i \cdot K_i \cdot e_i$  – принятое за скалярную величину наибольшее произведение одной из векторных величин  $e_i$  на ее передаточное отношение  $A_i$  и приведенный коэффициент относительного рассеяния этой величины  $K_i$ . Значения приведенного коэффициента относительного рассеяния одинаковы для всех звеньев с векторными погрешностями.  $A_i \cdot K_i \cdot e_i$  приведены ниже в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Значения приведенных коэффициентов относительного рассеяния

Способ получения поверхности	Вид поверхности	$K_i$
Наружное шлифование в центрах	Конус Морзе	1,17
	Конус конусностью 7:24	1,51
	Конус конусностью 1:5	1,37
	Цилиндрическая	1,09
Внутреннее шлифование	Конус Морзе	1,17
	Конус конусностью 7:24	1,17
	Конус конусностью 1:5	1,21
	Цилиндрическая	1,09
Бесцентровое шлифование	Конус Морзе	1,03

Значения погрешностей центрирования конусных поверхностей, угловых и векторных отклонений, перекосов осей инструментов приведены в табл. 5.2–5.4.

Погрешность центрирования конусов  
в зависимости от степени точности, мкм

Конусность	Степень точности конусов							
	AT3	AT4	AT5	AT6	AT7	AT8	AT9	AT10
7 : 24	1	1,2	1,3	2,6	5,0	12,0	—	—
Около 1:20 (конус Морзе)	—	—	9,5	10,5	15,0	18,0	20,0	24,5
1 : 5	—	—	8,0	9,0	12,0	12,0	13,0	17,0

Таблица 5.3

Погрешности, характерные для различных методов  
крепления инструментов

Источник возникновения биения	Вид погрешности	$e_i$ , мкм	$K_i$	$A_i$
Шпиндель (от перекоса оси)	Угловая	1**	1,1	0,63
Коническое отверстие шпинделя	Векторная	4	1,17	1
Корпус цангового патрона от перекоса конусностью 7 : 24	Угловая	2,5*	1,51	1,4
Коническое отверстие в корпусе цангового патрона (относительно оси конического хвостовика с конусностью 7 : 24)	Векторная	5	1,14	1
Цанга (от перекоса при установке в корпусе с конусностью 1 : 5)	Угловая	0,6*	1,37	0,6
Цилиндрическое отверстие в цанге (относительно наружной конической поверхности цанги)	Векторная	5	1,09	1

Примечание: \* Погрешность на длине 100 мм.

\*\* Погрешность на длине 300 мм.

Значения перекоса  $e_i$  оси инструмента на вылете 100 мм для цилиндрических соединений диаметром 30–50 мм с боковым зажимом винтами в зависимости от точности изготовления

Квалитет точности	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9
Перекос, $e_i$ , мкм	1.0	1.6	3.2	4.3	6.0	12.0

Пример 5.1. Определить биение  $2e$  оправки, закрепленной в цанговом патроне, рис. 5.1.

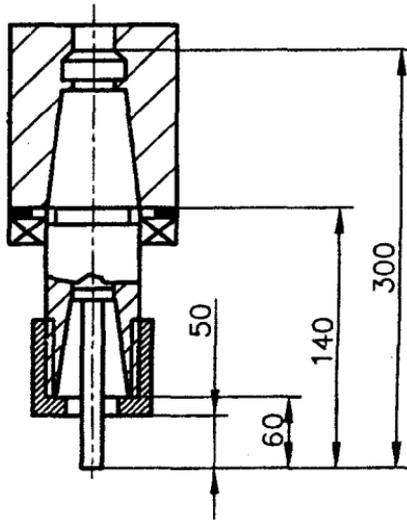


Рис. 5.1. Расточная оправка, закрепленная в цанговом патроне

Биение конического отверстия в шпинделе станка точности Н у торца составляет 0,008 мм, а на вылете 300 мм – 0,010 мм, т. е. допустимый перекос равен 0,001 мм на 300 мм длины. Погрешность изготовления конических поверхностей с конусностью 7 : 24 принимаем по IT7, что соответствует максимальной разности углов внутреннего и наружного конусов  $16'$  и значению перекоса 0,0025 мм в коническом соединении на вылете 100 мм (табл. 5.4).

Максимальное биение конического отверстия корпуса цангового патрона относительно оси конуса хвостовика – не более 0,01 мм.

В табл. 5.3 приведены данные для расчета точности крепления инструмента в цанговом патроне.

По формуле (5.2) и данным табл. 5.3 определяем  $K_{\Sigma(X)} = 1,04$ .

В качестве скалярной величины принимаем биение конического отверстия корпуса цангового патрона. Биение оправки находим по формуле (5.1):

$$\begin{aligned} 2e_{\Sigma(X)} &= \\ &= \frac{2}{1,04} \sqrt{(1 \cdot 1,14 \cdot 5)^2 + (1 \cdot 0,63 \cdot 11)^2 + (4 \cdot 1 \cdot 1,17)^2 + (2,5 \cdot 1,51 \cdot 1,4)^2 + (6 \cdot 1,37 \cdot 0,6)^2 + (5 \cdot 1,09 \cdot 1)^2} \approx \\ &\approx 225 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Биение  $2e$  оправки в цанговом патроне составляет 0,022 мм на вылете 50 мм от торца патрона.

Вспомогательный инструмент как элемент технологической системы испытывает деформирование двух видов:

- деформирование тела деталей (изгиб, кручение и т. д.);
- деформирование поверхностных слоев этих деталей, которыми они контактируют в местах соединения. Деформации первого вида противостоит объемная жесткость, второго – контактная. Это два принципиально различных вида жесткости, методы определения которых совершенно различны.

Объемную жесткость (податливость) определяют, исходя из действия составляющих сил резания, геометрических параметров деталей и свойств материалов, из которых изготовлен вспомогательный инструмент.

Контактная жесткость (жесткость стыков) определяет деформацию в местах приложения сил резания. Контактные деформации зависят от многих факторов: вида нагружения, значений и распределения давления, величины зазоров и натягов, точности обработки и размеров сопрягаемых поверхностей. Деформации стыков в ряде случаев соизмеримы и даже большие, чем прогиб самих режущих инструментов на свободной длине [1]. Упругое контактное перемещение вспомогательного инструмента и закрепленного в нем ре-

жущего инструмента под действием силы  $P$ , приложенной на некотором удалении  $l$  от стыка

$$y = \delta_0 + \theta \cdot l,$$

где  $\delta_0$  – смещение на краю стыка в результате контактной податливости, мм;

$\theta$  – угол поворота в стыке, мкм/мм (1 мкм/мм = 0,001 рад).

При хорошем качестве изготовления присоединительных поверхностей вспомогательного инструмента величиной  $\delta_0$  можно пренебречь и рассчитывать перемещения только по углу поворота. Данные о податливости (углах поворота  $\theta_i$ , отнесенных к нагружающему моменту  $M = Pl_i$ ) различных соединений приведены в табл. 5.4 (конусность 7 : 24), 5.5 – цилиндрические соединения, 5.6 – конусы Морзе, 5.7 – цанговый зажим.

Таблица 5.5

Податливость  $\theta_1/M$ , (мкм/мм)/(кН·м),  
конусов конусностью 7 : 24

Конус	Точность изготовления			
	АТ5	АТ6	АТ7	АТ8
40	0,00121	0,00133	0,00142	0,00191
50	0,00020	0,00027	0,00035	–

Таблица 5.6

Податливость  $\theta_2/M$ , (мкм/мм)/(кН·м),  
цилиндрических соединений

Диаметр соединения, мм	Зазор в соединении, мм	В направлении силы затяжки винтов	Перпендикулярно к силе затяжки винтов	Диаметр соединения, мм	Зазор в соединении, мм	В направлении силы затяжки винтов	Перпендикулярно к силе затяжки винтов
36	0,014	0,0032	0,0060	48	0,014	0,0010	0,0014
	0,037	0,0041	0,0079		0,026	0,0012	0,0032
					0,048	0,0016	0,0062

Податливость  $\theta_3/M$ , (мкм/мм)/(кН·м), конусов Морзе

Конус	Исполнение	Точность изготовления		
		АТ7	АТ8	АТ9
Морзе 1	С лапкой	0,20132	0,2097	0,2110
Морзе 2	С резьбой	0,0433	0,0436	0,0462
	С лапкой	0,0477	0,0476	0,0499
Морзе 3	С резьбой	0,0118	0,0124	0,0136
	С лапкой	0,0124	0,0141	0,0157
Морзе 4	С резьбой	0,0034	0,0038	0,0046
	С лапкой	0,0046	0,0052	0,0055
Морзе 5	С резьбой	–	0,00080	–
Морзе 6	С резьбой	–	0,00027	–

Таблица 5.8

Податливость  $\theta_4/M$ , (кН·м)<sup>-1</sup>, цанговых зажимов

Диаметр закрепляемого хвостовика, мм	Стык – цанга-корпус патрона	Стык – хвостовик инструмента-цанга – корпус патрона
40	0,0010	0,0026
20		0,0029
20	0,0019	0,0038
16		0,0040
12		0,0047
10		0,0056
6		0,0103

*Пример 5.2.* Рассчитать перемещения расточной оправки, закрепленной в державке, рис. 5.2.

Перемещение расточной оправки определяем как суммарное перемещение в точке приложения нагружающей силы  $P$  с учетом контактной податливости в соединениях инструмента.

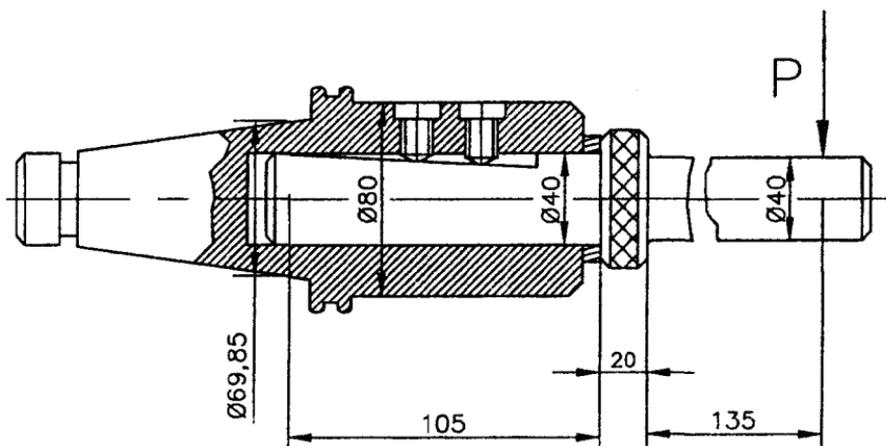


Рис. 5.2. Расточная оправка, закрепленная в державке

### Перемещение

$$\delta_{\text{в}} = P \sum \left[ \frac{\left( \sum_{i=1}^n l_i \right)^3}{3EJ} + 10^{-3} \frac{\theta_i}{M} \left( \sum_{i=1}^n l_i \right) \right], \quad (5.3)$$

где  $P$  – нагружающая сила (например, сила резания);

$l_i$  – длина  $i$ -го элемента вспомогательного инструмента, мм;

$J_i$  – осевой момент сечения  $i$ -го элемента, мм<sup>4</sup>;  $J_i = 0,05d_i^4$ ,

где  $d_i$  – диаметр  $i$ -го сечения, мм;

$n$  – число элементов;

$E$  – модуль продольной упругости;  $E = 2,1 \cdot 10^2$  ГПа;

$\theta_i / M$  – податливость  $i$ -го соединения, (кН·м)<sup>-1</sup>.

Тогда для компоновки, приведенной на рис. 5.2:

$$\delta_{\text{в}} = \frac{P(l_1 + l_2)^3}{3EJ_1} + \frac{Pl_2^3}{3EJ_2} + P \frac{\theta_1}{M} (l_1 + l_2)^2 + P \frac{\theta_2}{M} l_2^2,$$

где  $\theta_1/M$  – податливость в конусе конусностью 7 : 24 (см. табл. 5.5),  $(\text{кН}\cdot\text{м})^{-1}$ ;

$\theta_2/M$  – податливость в цилиндрическом соединении (см. табл. 5.6),  $(\text{кН}\cdot\text{м})^{-1}$ .

Принимаем, что точность изготовления конусов конусностью 7 : 24 соответствует степени точности *AT7*, а зазор в соединении по цилиндру соответствует посадке *H7/g6*, что составляет до 0,041 мм. Подставляем данные в формулу (5.3) при  $P = 1$  кН,  $l_1 = 105$  мм,  $l_2 = 155$  мм,  $D = 69,85$  мм,  $d = 48$  мм,  $d_1 = 40$  мм:

$$\delta_{\text{в}} = \frac{260^2}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 69,85^4} + \frac{155^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 40^4} + 0,00035 \cdot 10^{-3} + 0,015 \cdot 10^{-3} \cdot 155^2 = 0,0234 + 0,0462 + 0,0237 + 0,0360 = 0,1293 \text{ мм.}$$

Относительное перемещение  $\delta_{\text{в}}/P = 0,129$  мкм/кН. Сравнение полученного результата с данными о допустимом перемещении показывает, что этот вариант крепления удовлетворяет требованию к креплению расточных оправок для получистовой обработки. При креплении расточных оправок для чистовой обработки необходимо повысить точность присоединительных поверхностей конусов 7 : 24 до *AT4*, цилиндрических соединений – до посадки *H6/g5*. Другим способом уменьшения перемещения является существенное уменьшение вылета  $l_2$ , однако это приводит к сокращению области применения оправок.

**Примечание.** Значения перекоса  $e$  оси инструмента на вылете 100 мм для цилиндрических соединений диаметром 30–50 мм с боковым зажимом винтами в зависимости от точности изготовления составляют:

кавалитет точности (СТ СЭВ 144–75)	<i>IT4</i>	<i>IT5</i>	<i>IT6</i>	<i>IT7</i>	<i>IT8</i>	<i>IT9</i>
перекос $e$ , мгм	1,0	1,6	3,2	4,3	6,0	12,0



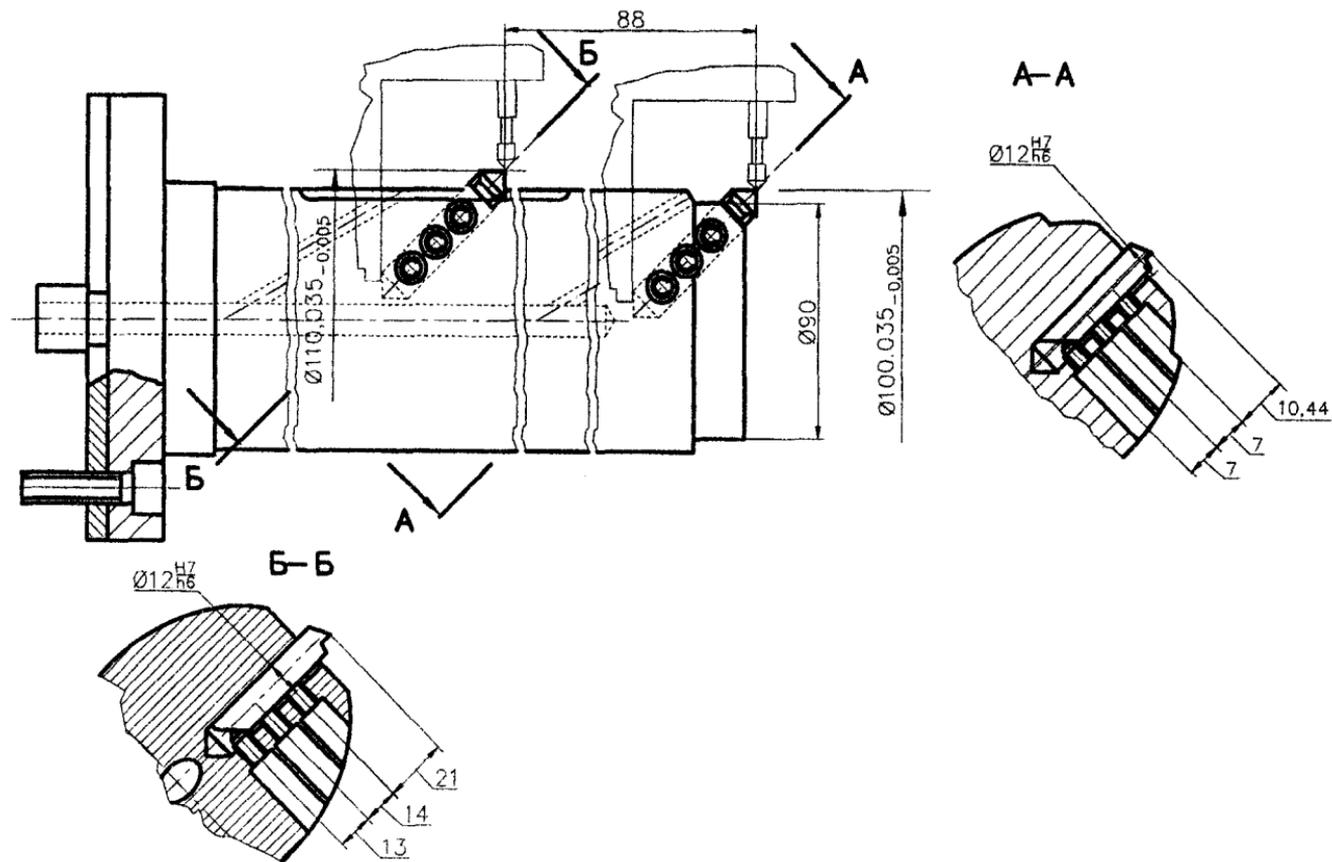


Рис. 5.4. Борштанга – 6302-5785

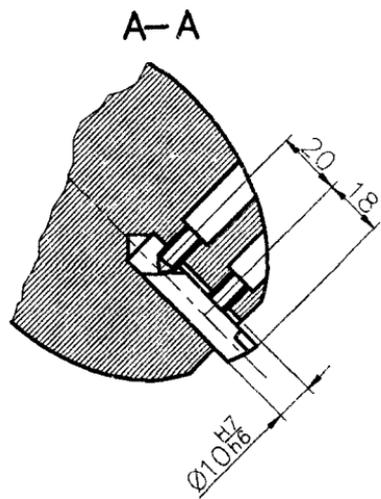
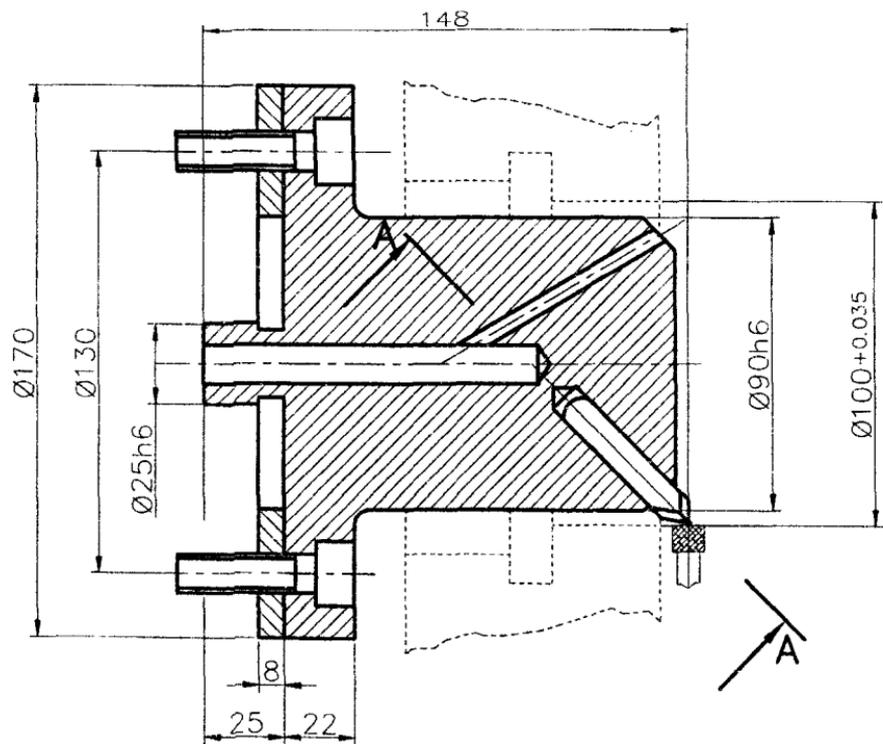


Рис. 5.5. Борштанга – 6302-5784

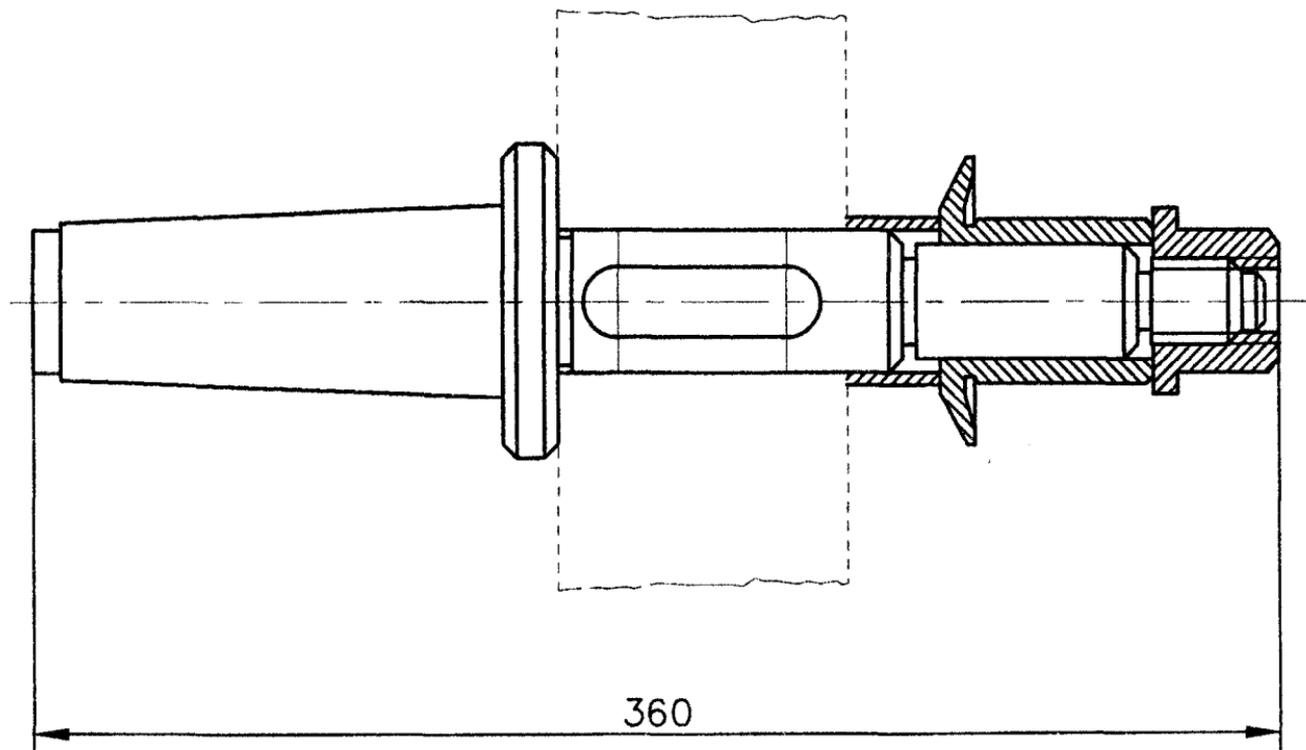


Рис. 5.6. Оправка к торцевкруглошлифовальному станку

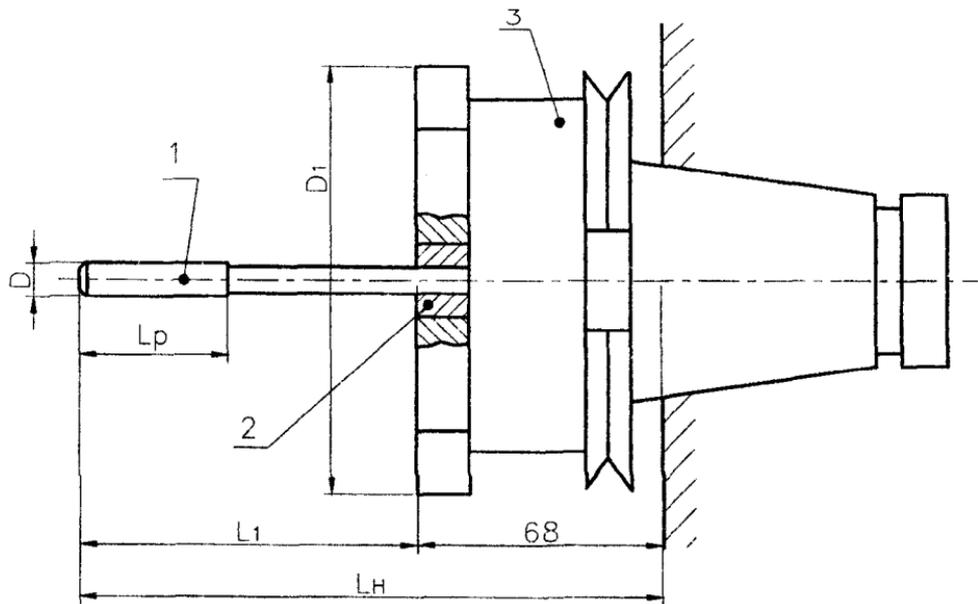


Рис. 5.7. Инструментальная наладка на развертки из быстрорежущей стали с цилиндрическим хвостовиком ГОСТ1672–80, тип I,  $\varphi = 5^\circ$  в цанговом патроне: 1 – развертка; 2 – цанга; 3 – патрон

Таблица 5.9

Данные для расчета к рис. 5.7

Код наладки	$L_h$	$D$	$L_p$	$D_1$	$L_1$	Развертка	Цанга	Патрон
1	2	3	4	5	6	7	8	9
877110400015	120	5H7	23	65	52	2363-0060H7	1911130050002-05	191113050
878110600015	125	6H7	26	65	57	2363-0064H7	1911130050002-05	191113050

1	2	3	4	5	6	7	8	9
879110600015	125	6U8	26	65	57	2363-0064U8	1911130050002-05	191113050
880111000015	145	8H7	33	65	77	2363-0072H7	1911130050002-09	191113050
881111400015	155	10H7	33	65	87	2363-3389H7	1911130050002-13	191113050
882111400015	155	10U8	38	65	87	2363-3389U8	1911130050002-13	191113050
883111400015	175	12H7	44	65	107	2363-3394H7	1911130050002-13	191113050
884111000015	145	8U8	33	65	77	2363-0072U8	1911130050002-09	191113050
885111800015	175	12U8	44	65	107	2363-3394U8	1911130050002-13	191113050

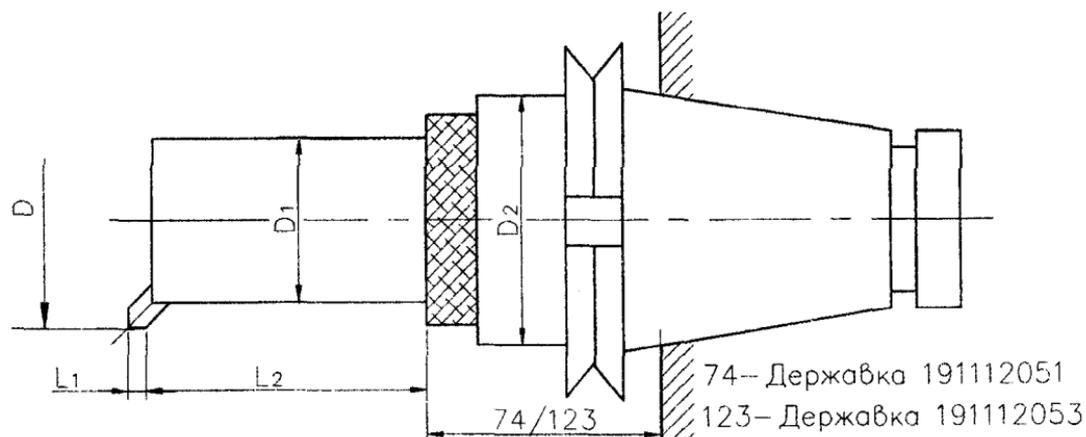


Рис. 5.8. Инструментальная наладка на оправки расточные регулируемые для полустиковой расточки.  
Резцы расточные ГОСТ 9795-73, оправки ТУ2-035-775-80, державки ГОСТ 267-80

Данные для расчета к рис. 5.8

Код наладки	$L_H$	$D$	$L_p$	$D_1$	$L_1$	$D_2$	$L_2$	Резец тип 3	Оправка	Державка
165113400225	168	22-35	6	20	7,5	63	86	2142-0061	191421331	191112051
165113600215	214	22-35	6	20	7,5	80	83	2142-0061	191421441	191112053
1651133700215	216	35-45	6	25	10	80	83	2142-0061	191421442	191112053
166113500225	202	45-55	8	32	11	63	116	2142-0016	191421333	191112051
166113800215	248	45-55	8	32	11	80	113	2142-0016	191421443	191112053
1681134100225	205	55-70	10	40	15	63	116	2142-0020	191421334	191112051
1681133900215	251	55-70	10	40	15	80	113	2142-0020	191421444	191112051
170114000215	286	70-80	12	50	20	80	143	2142-0026	191421445	191112053

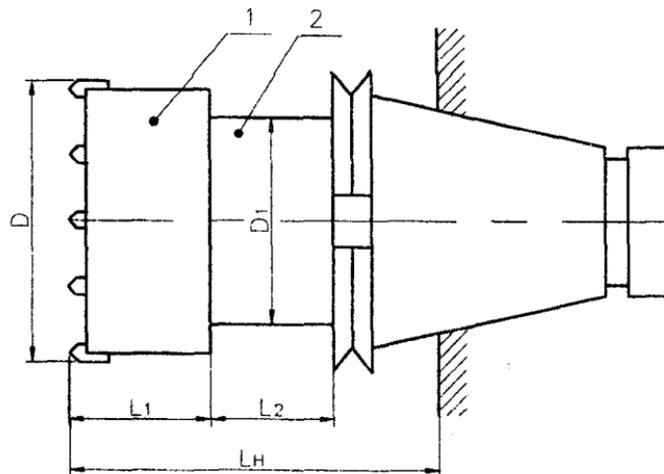


Рис. 5.9, Инструментальная наладка на фрезы торцовые насадные по ГОСТ 9473-80 с ножами, оснащенными пластинами из твердого сплава с  $\varphi = 90^\circ$

Данные для расчета к рис. 5.9

Код наладки	$L_H$	$D$	$L_P$	$D_1$	$L_1$	$L_2$	Фреза	Оправка ТУ-035-941-85
601110000115	94	100	8	58	39	40	2214-0153	191431054
601110000125	194	10	8	58	39	140	2214-0153	191431055
602110000135	97	125	8	58	42	40	2214-0155	191431058
602110000145	197	125	8	58	42	140	2214-0155	191431059
603110000155	101	160	8	58	46	40	2214-0157	191431062
603110000165	201	160	8	58	46	140	2214-0157	191431063
604110000155	101	200	8	58	46	40	2214-0159	191431062
604110000165	201	200	8	58	46	140	2214-0159	191431063
6051110000		250	8	58	47		2214-0161	
6051110000		250	8	58	47		2214-0161	

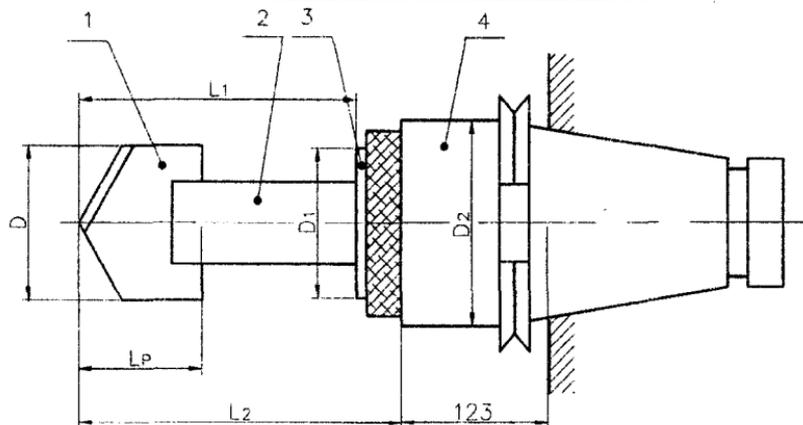


Рис. 5.10. Инструментальная наладка на сверла перовые сборные с державкой повышенной точности ГОСТ 25524-82 регулируемые: 1 – пластина; 2 – сверло перовое; 3 – оправка; 4 – державка

Данные для расчета к рис. 5.10

Код наладки	$L_H$	$D$	$L_p$	$D_1$	$L_1$	$D_2$	$L_2$	Пластина	Сверло перовое	Оправка	Державка
350116000215	335	32	40.5	67	212	100	217	200-1214	2304-2329	6304-0156	191112055
341116100215	335	35	40.5	67	212	100	217	200-1217	2304-2339	6304-0156	191112055
342116200215	335	36	40.5	67	212	100	217	200-1218	2304-2343	6304-0156	191112055
343116400215	335	38	40.5	67	212	100	217	200-1221	2304-2349	6304-0156	191112055
344116400215	345	40	50	67	222	100	227	200-1224	2304-2356	6304-0158	191112055
345116500215	345	43	50	67	222	100	227	200-1226	2304-2366	6304-0158	191112055
346116600215	345	45	50	67	222	100	227	200-1228	2304-2373	6304-0158	191112055
347116700215	345	46	50	67	222	100	227	200-1229	2304-2376	6304-0158	191112055
348116800215	345	48	50	67	222	100	227	200-1232	2304-2383	6304-0158	191112055
349116900215	345	50	50	67	222	100	227	200-1234	2304-2389	6304-0158	191112055

Таблица 5.13

Данные для расчета к рис. 5.11

Код наладки	$L_H$	$D$	$L_p$	$D_1$	$L_1$	$D_2$	$L_2$	Зенковка	Втулка
535110000235	91	25	9	7	46	55	45	2353-0135	191 831 012
536110000235	94	31,5	11	9	49	55	45	2353-0135	191 831 012
537110000235	116	40	14	12	56	63	60	2353-0137	191 831 073
538110000235	119	50	17	16	59	63	60	2353-0138	191 831 073
539110000235	151	63	21	20	91	63	60	2353-0159	191 831 073
540110000235	162	80	28	25	102	63	60	2353-0141	191 831 073

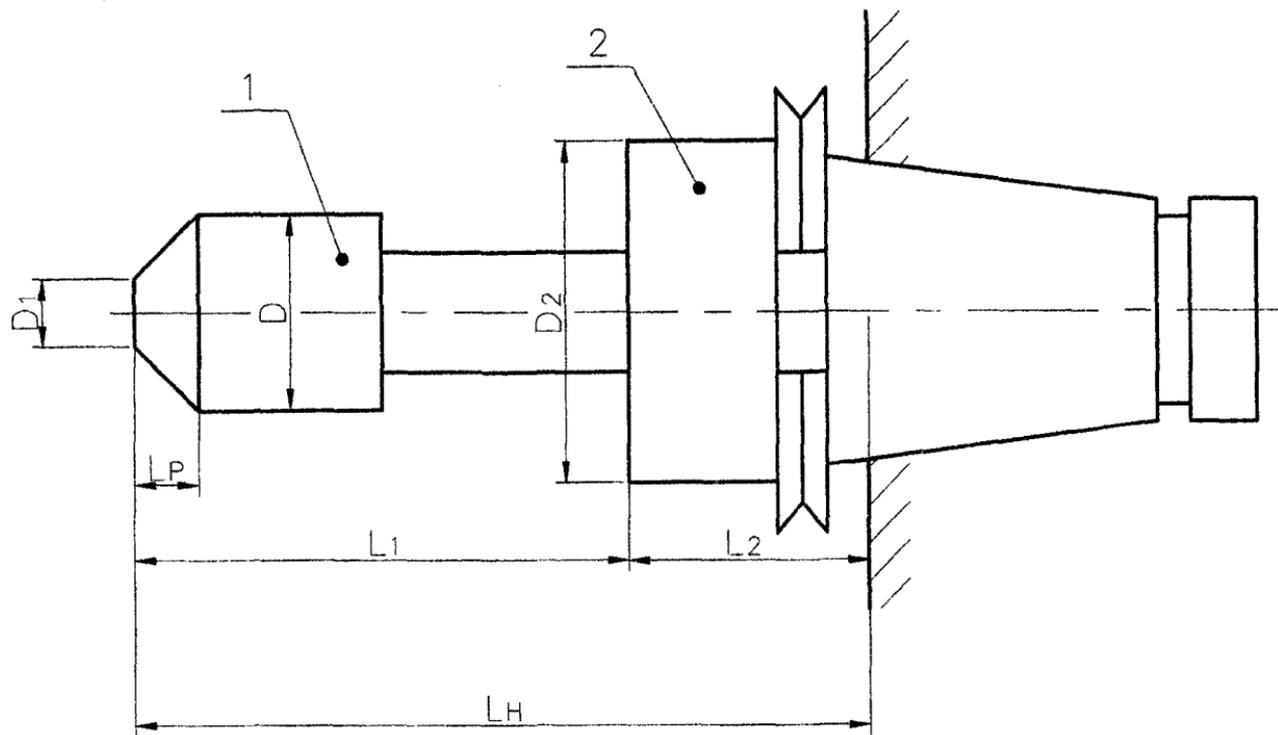


Рис. 5.11. Инструментальная наладка на зенковки конические быстрорежущие с коническим хвостовиком ГОСТ 14933-80 во втулке переходной К 7 : 24: 1 – зенковка; 2 – втулка

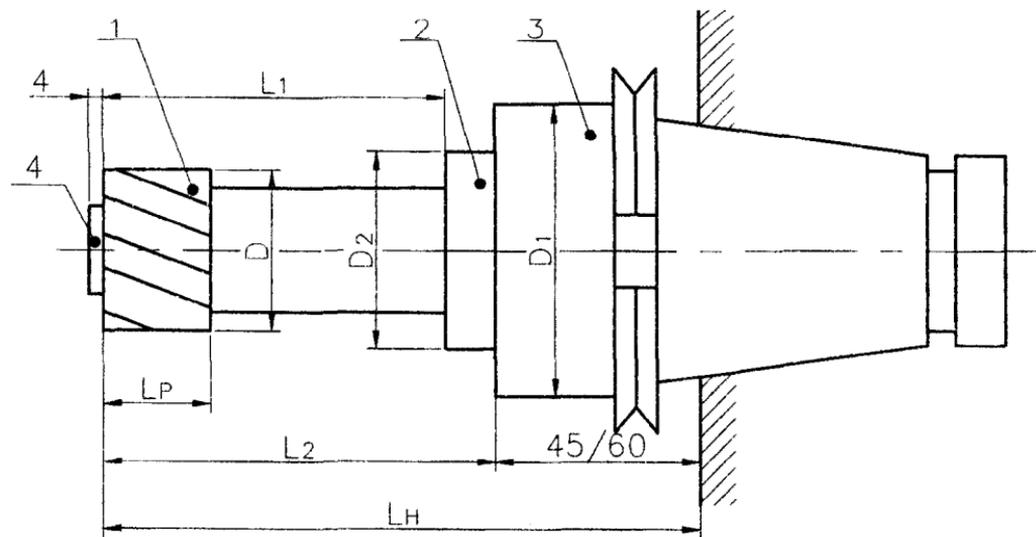


Рис. 5.12. Инструментальная наладка на зенковки цилиндрические быстрорежущие с коническим хвостовиком ГОСТ 15599-70 с переходной втулкой КМ2/КМ1 по ГОСТ13598-68 в переходной втулке К7 : 24: 1 – зенковка; 2 – втулка М; 3 – втулка; 4 – цапфа

Таблица 5.14

Данные для расчета к рис. 5.12

Код наладки	$L_H$	$D$	$L_p$	$D_1$	$L_1$	$D_2$	$L_2$	Зенковка	Втулка М	Втулка	Цапфа
521119700235	123	12	30	55	63	18	78	2350-0102	6100-0141	191831-072	6020-0148
52119300245	127	12	30	63	63	24	67	2350-0102	6100-0142	191831-073	6020-0148
522119700235	123	14	30	55	63	18	78	2350-0103	6100-0141	191831-072	6020-0150
522119900235	127	14	30	63	63	24	67	2350-0103	6100-0142	191831-073	6020-0150

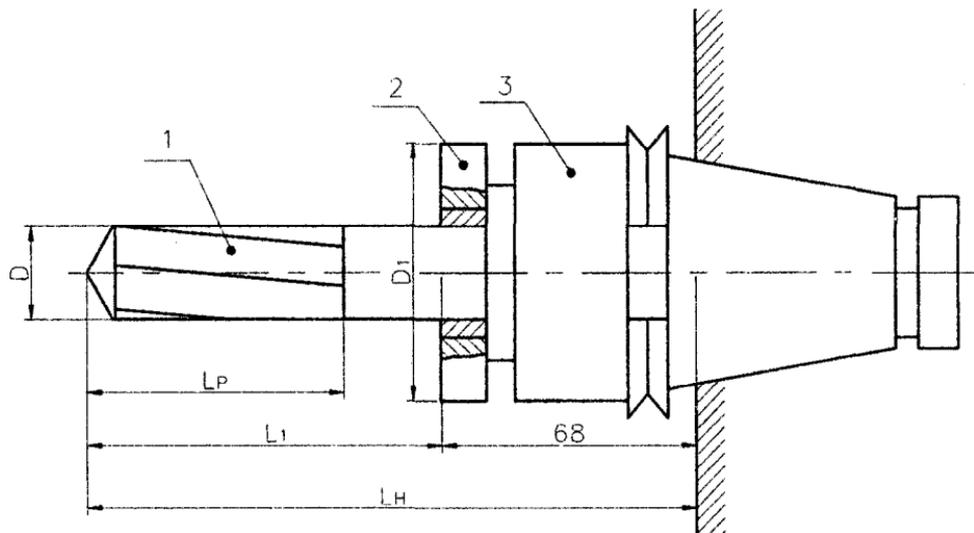


Рис. 5.13. Инструментальная наладка на сверла центровочные быстрорежущие ОСТ2-И20-5-80 в цанговом патроне: 1 – сверло, 2 – цанга, 3 – патрон

Таблица 5.15

Данные для расчета к рис. 5.13

Код наладки	$L_H$	$D$	$L_p$	$L_1$	Сверло	Цанга	Патрон
201111400015	105	10.0	22	37	035-2317-0102	191113050.002-13	191 113 050
202112600015	110	16.0	38	42	035-2317-0103	191113050.002-25	191 113 050
201113400015	115	20.0	47	47	035-2317-0104	191113050.002-33	191 113 050
851001400015	203	10.0			Спец. Р-851-000	192-035-682-79	191 113 050
852003400055	209	20.0			Спец. Р-852-000	191113050	191 113 050
853003900055	190	35.0			Спец. Р-853-000	191132050	191 113 050

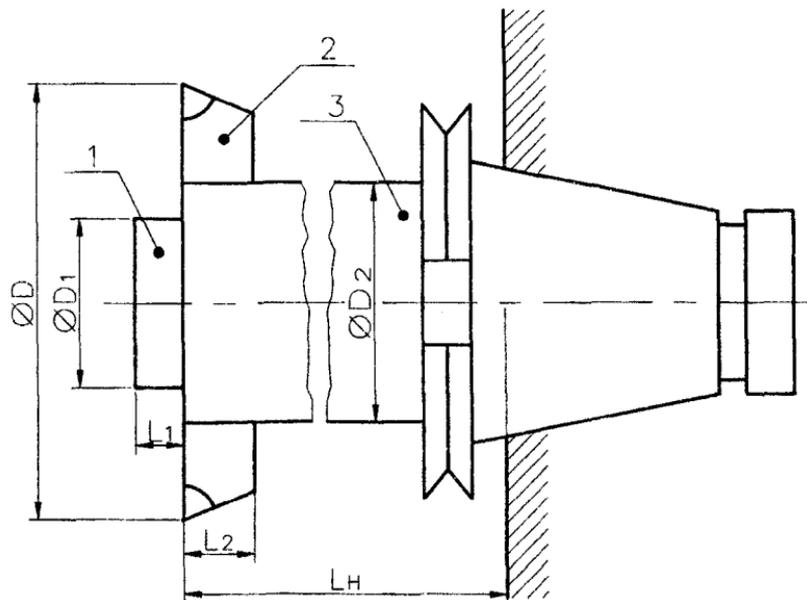


Рис. 5.14. Инструментальная наладка на оправки с К7 : 24 для подрезки торцов твердосплавной пластиной

Таблица 5.16

Данные для расчета к рис. 5.14

Код наладки	$L_H$	$D$	$L_p$	$D_1$	$L_1$	$D_2$	$L_2$	Пластина	Оправка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
380110000185	100	45	13	20	43	40	25	191 425 050	191 425 050
381110000185	100	50	13	20	43	40	25	191 425 050-01	191 425 050

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
382110000185	100	52	13	20	43	40	25	191 425 050-02	191 425 050
383110000185	100	55	13	20	43	40	25	191 425 050-03	191 425 050
384110000185	100	60	13	20	43	40	25	191 425 050-04	191 425 050
385110000185	100	62	17	20	43	40	25	191 425 050-05	191 425 050
386110000185	100	65	17	20	43	40	25	191 425 050-06	191 425 050
387110000195	120	70	17	30	49	50	35	191 425 052-01	191425052
388110000195	120	72	17	30	49	50	35	191 425 052-02	191425052
389110000195	120	75	22	30	49	50	35	191 425 052-03	191425052
390110000195	120	80	22	30	49	50	35	191 425 052-04	191425052
390110000195	120	85	22	30	49	50	35	191 425 052-05	191425052
392110000195	120	90	22	30	49	50	35	191 425 052-06	191425052
393110000195	120	95	22	30	49	50	35	191 425 052-07	191425052
394110000195	120	100	22	30	49	50	35	191 425 052-08	191425052
395110000205	140	105	22	40	49	63	45	191 425 053-01	191425053
396110000205	140	110	22	40	49	63	45	191 425 053-02	191425053
397110000205	140	115	22	40	49	63	45	191 425 053-03	191425053
398110000205	140	120	28	40	49	63	45	191 425 053-04	191425053
399110000205	140	125	28	40	49	63	45	191 425 053-05	191425053
401110000205	140	130	28	40	49	63	45	191 425 053-06	191425053
402110000205	140	135	28	40	49	63	45	191 425 053-07	191425053
403110000	150	140	28	50	54	80	60	191 425 054-01	191425054

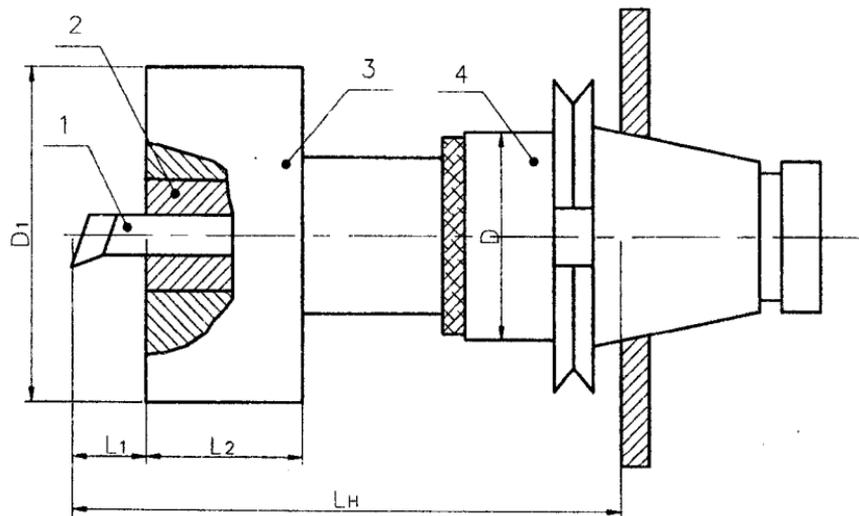


Рис. 5.15. Инструментальная наладка на расточной патрон для чистовой расточки:

1 – резец, 2 – втулка, 3 – патрон, 4 – державка

Таблица 5.17

Данные для расчета к рис. 5.15

Код наладки	$L_H$	$D$	$L_p$	$D_1$	$L_1$	$L_2$	Резец	Втулка	Патрон	Державка
108113101225	172	8–12	$\varphi = 45^\circ$	90	30	68	K2.613 000-03	191 151 010(Ø12)	191 151 009	191 112 051
109113101225	137	12–18	$\varphi = 45^\circ$	90	45	68	K2.612 000-01	191 151 010(Ø12)	191 151 009	191 112 051
110113201225	217	18–25	$\varphi = 45^\circ$	90	75	68	K2.612 000-04	191 151 010(Ø13)	191 151 009	191 112 051
111110001225	217	25–45	$\varphi = 45^\circ$	90	135	68	K2.612 000-03		191 151 009	191 112 051
102113101225	177	8–12	$\varphi = 90^\circ$	90	35	68	2140-4008-01	191 151 010 (Ø12)	191 151 009	191 112 051
103113101225	197	12–18	$\varphi = 90^\circ$	90	55	68	2140-4008-04	191 151 010 (Ø12)	191 151 009	191 112 051
104113201225	247	18–25	$\varphi = 90^\circ$	90	105	68	2140-4008-27	191 151 010 (Ø18)	191 151 009	191 112 051
111110001225	277	25–45	$\varphi = 90^\circ$	90	135	68	K2.615 000-08		191 151 009	191 112 051

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями.
2. Вычертить эскиз заданного вспомогательного инструмента (см. рис. 5.3–5.13).
3. По табл. 5.1–5.3 определить данные для расчета точности вспомогательного инструмента, закрепленного в цанговом патроне.
4. Для каждого составляющего звена определить характеристики распределения  $k_i$ .
5. Определить биение оправки в сечении приложения силы.
6. Определить величины податливостей для конусов конусностью 7 : 24, цилиндрических соединений, конусов Морзе и цанговых зажимов по табл. 5.4–5.7 (точность конусов задает преподаватель).
7. Рассчитать величину перемещения расточной оправки, закрепленной в державке.
8. Составить отчет о работе.

## Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Эскизы заданных вспомогательных инструментов.
3. Определение характеристик распределения составляющих звеньев.
4. Расчеты биений оправок в местах приложения нагружающих сил.
5. Расчеты возможных перемещений расточных оправок, вызванных контактной податливостью в соединениях.
6. Выводы по работе.

## Вопросы для самоконтроля

1. Что влияет на точность размера при растачивании?
2. Что является замыкающим звеном в размерной цепи, образованной отклонениями линейных и угловых размеров элементов системы станок-инструмент?
3. Как при расчете учитываются угловые размеры?
4. Как суммируются угловые и векторные погрешности системы СПИД?
5. Что собой представляет характеристика замыкающего звена?

6. Что влияет на величину погрешности центрирования конических поверхностей?

7. Какие виды деформаций испытывает вспомогательный инструмент?

8. От чего зависит величина податливости конусов, цилиндрических поверхностей, конусов Морзе и цанговых зажимов?

9. Какие параметры точности необходимо выдержать при изготовлении вспомогательного инструмента для получистовой и чистой обработки?

10. Какие способы обеспечения заданных величин биения и перемещений вам известны?

### Литература

1. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И.Л. Фадюшин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с: ил. – (Б-ка инструментальщика).

2. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев [и др.]; под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение, 1987. – 846 с.

## **ФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОДА ДЕТАЛЕЙ**

**Цель работы:** получить практические навыки разработки конструкторско-технологического кода различных деталей машиностроения.

### **Основные положения**

Формирование конструкторско-технологического кода детали (КТКД) основано на использовании классификатора ЕСКД (классы 71–76) и технологического классификатора деталей машиностроения и приборостроения 1 85 142. С помощью КТКД решаются следующие задачи:

1. Анализ номенклатуры деталей по их конструкторско-технологическим признакам.
2. Группирование деталей по конструкторско-технологическому подобию для разработки типовых и групповых технологических процессов с помощью ЭВМ.
3. Повышение серийности и концентрация производства деталей.
4. Унификация и стандартизация деталей и технологических процессов их изготовления.
5. Рациональный выбор типов технологического оборудования.
6. Тематический поиск и заимствование ранее разработанных типовых или групповых технологических процессов.
7. Автоматизация проектирования деталей и техпроцессов их изготовления.

Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения является логическим продолжением и дополнением классов деталей классификатора ЕСКД (классы 71–76).

Класс 71: детали – тела вращения типа колец, дисков, шкивов, блоков, стержней, втулок, стаканов, колонок, валов, осей, штоков, шпинделей и др.

Класс 72: детали – тела вращения с элементами зубчатого зацепления; трубы, шланги, проволочки, разрезные секторы, сегменты; изогнутые из листов, полос и лент; аэрогидродинамические; корпусные, опорные; емкостные; подшипников.

Класс 73: детали – не тела вращения: корпусные, опорные, емкостные.

Класс 74: детали – не тела вращения: плоскостные, рычажные, грузовые, тяговые; аэрогидродинамические, изогнутые из листов, полос, лент; профильные; трубы.

Класс 75: детали – тела вращения и (или) детали – не тела вращения, кулачковые, карданные, с элементами зацепления, арматуры, санитарно-технические, разветвленные, пружинные, ручки, уплотнительные, отсчетные, пояснительные, маркировочные, защитные, посуды, оптические, электрорадиоэлектронные, крепежные.

Класс 76: детали технологической оснастки и инструмента.

В классах 71–75 в качестве основного признака деления использована геометрическая форма, к классу 76 относятся детали, выполняющие самостоятельные функции (однодетальные изделия), а также специфические детали технологической оснастки и инструмента, являющиеся составными частями изделия (пуансоны, матрицы и т. п.), не выполняющие самостоятельные функции.

Для анализа и группирования деталей по конструктивно-технологическим признакам, разработки типовых и групповых технологических процессов и операций с применением компьютерной техники при проведении технологической подготовки производства используется конструкторско-технологическая классификация деталей.

В технологическом классификаторе деталей установлены следующие признаки классификации деталей:

1. Размерная характеристика.
2. Группа материала.
3. Вид детали по технологическому методу изготовления.
4. Вид исходной заготовки.
5. Качество точности.
6. Параметр шероховатости.
7. Характеристика технологических требований.
8. Характеристика термообработки.
9. Толщина покрытия.
10. Поверхность покрытия.
11. Площадь формования.
12. Дополнительная характеристика.
13. Характеристика массы и т. д.

Процесс кодирования деталей заключается в присвоении детали кода классификационных группировок конструктивных признаков по классификатору ЕСКД (если в основной надписи чертежа детали обозначение проставлено не в соответствии с ГОСТ 2.201–80). Затем этот код дополняется кодами основных технологических признаков и признаков, определяющих вид детали по технологическому методу.

Детали кодируют буквенно-цифровым алфавитом кода. В структуре технологического кода деталей за каждым признаком закрепляют определенный разряд (позицию) и количество знаков.

Код детали состоит из классификационных группировок конструктивных признаков по классификатору ЕСКД (шесть знаков) и технологических признаков по технологическому классификатору (14 знаков).

### Структура кода деталей, обрабатываемых резанием

Конструктивные признаки						Технологические признаки															
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		

1, 2 – класс детали; 3 – подкласс; 4 – группа; 5 – подгруппа; 6 – вид; 7–9 – размерная характеристика; 10, 11 – группа материалов; 12 – вид детали по технологическому методу изготовления; 13, 14 – вид исходной заготовки; 15, 16 – качество точности наружных и внутренних поверхностей; 17 – шероховатость или отклонения формы и расположения поверхностей (по важности признака); 18 – степень точности; 19 – вид дополнительной обработки.

### Порядок присвоения кодов

1–6 – знаки присваиваются по классификатору ЕСКД; 7–20 – знаки присваиваются по технологическому классификатору или по табл. 6.1–6.14.

Табл. 6.1 предназначена для кодирования размерных характеристик деталей, являющихся телами вращения (кроме гнутых из листов, полос, лент), например: кольца, диски, валы, шпиндели и др. (класс 71); детали с элементами зубчатого зацепления, разрезные втулки и кольца, цанги, секторы и др. (класс 72); прямые детали из

прутков и проволоки (класс 74); валы карданные, болты, фрезы, калибры и т. д. (классы 75, 76).

По табл. 6.2 кодируются размерные характеристики деталей, не являющихся телом вращения (кроме гнутых из листов, полос, лент), например: корпусные, опорные (класс 73); плоскостные, рычажные, ша-  
тунные, кулачковые и др. (класс 74); кулачки, копиры (классы 75, 76).

Таблица 6.1

Информация по присвоению знаков 10–20

Знаки в конструкторско-технологическом коде	Номер таблицы
10,11	3
12	4
13,14	5
15,16	6
17	7 или 8
18	9
19	10
20	11

Таблица 6.2

Кодирование размерной характеристики тела вращения

Код	Наибольший наружный диаметр, мм	Длина, мм	Диаметр центрального отверстия, мм
1	2	3	4
1	До 4	До 0,2	До 3
2	Св. 4 до 6	Св. 0,2 до 0,5	Св. 3 до 10
3	Св. 6 до 10	Св. 0,5 до 0,8	Св. 10 до 16
4	Св. 10 до 16	Св. 0,8 до 1,6	Св. 16 до 20
5	Св. 16 до 25	Св. 1,6 до 2,5	Св. 20 до 25
6	Св. 25 до 32	Св. 2,5 до 6	Св. 25 до 35
7	Св. 32 до 40	Св. 6 до 10	Св. 35 до 50
8	Св. 40 до 60	Св. 10 до 25	Св. 50 до 60
9	Св. 60 до 80	Св. 25 до 45	Св. 60 до 80
A	Св. 80 до 100	Св. 45 до 56	Св. 80 до 100

1	2	3	4
Б	Св. 100 до 120	Св. 56 до 75	Св. 100 до 125
В	Св. 120 до 150	Св. 75 до 95	Св. 125 до 160
Г	Св. 150 до 180	Св. 95 до 120	Св. 160 до 200
Д	Св. 180 до 200	Св. 120 до 150	Св. 200 до 250
Е	Св. 200 до 220	Св. 150 до 200	Св. 250 до 320
Ж	Св. 220 до 320	Св. 200 до 250	Св. 320 до 400
И	Св. 320 до 400	Св. 250 до 300	Св. 400 до 500
К	Св. 400 до 630	Св. 300 до 350	Св. 500 до 800
Л	Св. 630 до 800	Св. 350 до 500	Св. 800 до 1000

Таблица 6.3

Кодирование размерной характеристики детали,  
не являющейся телом вращения

Код	Ширина, мм	Длина, мм	Высота, мм
1	До 16	До 25	До 16
2	Св. 16 до 40	Св. 25 до 45	Св. 16 до 40
3	Св. 40 до 75	Св. 45 до 75	Св. 40 до 75
4	Св. 75 до 95	Св. 75 до 120	Св. 75 до 110
5	Св. 95 до 120	Св. 120 до 180	Св. 110 до 140
6	Св. 120 до 150	Св. 180 до 300	Св. 140 до 200
7	Св. 150 до 180	Св. 300 до 360	Св. 200 до 250
8	Св. 180 до 220	Св. 360 до 450	Св. 250 до 300
9	Св. 220 до 300	Св. 450 до 600	Св. 300 до 340
А	Св. 300 до 380	Св. 600 до 750	Св. 340 до 400
Б	Св. 380 до 480	Св. 750 до 850	Св. 400 до 480
В	Св. 480 до 560	Св. 850 до 950	Св. 480 до 560
Г	Св. 560 до 750	Св. 950 до 1180	Св. 560 до 670
Д	Св. 750 до 950	Св. 1180 до 1500	Св. 670 до 750
Е	Св. 950 до 1180	Св. 1500 до 1900	Св. 750 до 950

## Кодирование группы материала

Код	Группа материала		
01	Стали углеродистые		
02	Стали углеродистые конструкционные с предельным содержанием углерода, %	Св. 0,1 до 0,24	
03		Св. 0,24 до 0,35	
04		Св. 0,35	
08	Стали инструментальные углеродистые		
10	Стали легированные (кроме сталей с особыми физическими свойствами)		
11	Стали конструкционные	Низколегированные	
12		Легированные	
18	Стали инструментальные	Легированные	
19		Быстрорежущие	
20	Стали и сплавы легированные с особыми физическими свойствами		
21	Высоколегированные стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные, кавитационно-стойкие, износостойкие, высокопрочные, сверхвысокопрочные, а также низко-, средне- и высоколегированные теплоустойчивые		
23	Сплавы с высоким электрическим сопротивлением		
25	Прецизионные сплавы с заданными свойствами упругости, заданным коэффициентом линейного расширения и сверхпроводящие прецизионные сплавы		
27	Стали и сплавы магнитомягкие (электротехнические) и магнитотвердые		
30	Чугуны		
31	Чугуны	Серые	Простые
32			Модифицированные
33		Ковкие	
34		Высокопрочные	
35		С особыми свойствами (кроме соответствующих кодам 31–34)	
40	Медь, алюминий и сплавы на их основе (сплавы на основе магния)		
41	Медь		
42	Сплавы на основе меди	Латунь	
43		Бронза	
44		Медно-никелевые	
45	Алюминий		
46	Сплавы на основе алюминия		
48	Сплавы на основе магния		
50	Титан, хром, тугоплавкие металлы, цинк, свинец, олово и сплавы на их основе, благородные металлы и их сплавы, биметаллы		

## Кодирование технологического метода изготовления

Код	Вид детали по технологическому методу изготовления
1	Изготавливаемая литьем
2	Изготавливаемая ковкой и объемной штамповкой
3	Изготавливаемая чистовой штамповкой
4	Обрабатываемая резанием
5	Термически обрабатываемая
6	Изготавливаемая формообразованием из полимерных материалов, керамики, стекла и резины
7	С покрытием
8	Обрабатываемая электрофизическими и электрохимическими методами
9	Изготавливаемая порошковой металлургией

Таблица 6.6

## Кодирование вида исходной заготовки

Код	Вид заготовки		
1	2		
10	Заготовка, полученная литьем		
11	Литье	в песчаную форму	
12		в форму из жидких самотвердеющих смесей	
13		в песчаную форму, изготовленную под высоким удельным давлением	
14		в металлическую форму	
15		полученное центробежным методом	
16		в оболочковую форму	
17		по выплавляемым моделям	
18		штамповкой жидкого металла	
19		под давлением	
20	Заготовка, полученная обработкой давлением		
21	Ковка	на молоте	
22		на прессе	
23		радиальным обжатием	
24	Штамповка	Объемная	Некалиброванная
25			Калиброванная
26		Листовая	

1	2		
28	Прессованная штучная заготовка		
29	Заготовка, полученная специальными методами давления (взрывом, в вакууме и др.)		
30	Пруток, проволока		
31	Прокат	Круглый	Некалиброванный
32			Калиброванный
33		Квадратный и шестигранный	Некалиброванный
34			Калиброванный

Таблица 6.7

## Кодирование качества точности

Код	Квалитет	Код	Квалитет
1	17; 16; 15; 14	4	8; 7; 6; 5
2	13; 12	5	4; 3; 2
3	11; 10; 9	6	1; 0; 01

Таблица 6.8

## Кодирование параметра шероховатости

Код	$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм
1	Св. 80	Св. 320
2	Св. 10 до 80	Св. 40 до 320
3	Св. 2,5 до 10	Св. 10 до 40
4	Св. 0,32 до 2,5	Св. 1,6 до 10
5	Св. 0,02 до 0,32	Св. 0,1 до 1,6
6	Св. 0,008 до 0,02	Св. 0,032 до 0,1

Таблица 6.9

## Кодирование степени точности формы и расположения поверхностей

Код	Степени точности формы и расположения поверхностей	Код	Степени точности формы и расположения поверхностей
1	17	4	8; 7; 6
2	16; 15; 14; 13	5	5; 4; 3; 2
3	12; 11; 10; 9	6	До 1

## Кодирование отклонения формы и расположения поверхностей

Код	Отклонения			
	плоскостности и прямолинейности	цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения	параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового биения и полного торцового биения	соосности, симметричности и пересечения осей, радиального биения и полного радиального биения
0	—	—	—	—
1	+	—	—	—
2	—	+	—	—
3	+	+	—	—
4	—	—	+	+
5	+	—	+	—
7	+	+	+	—
8	—	—	—	+
9	+	—	—	+
А	—	+	—	+
Б	+	+	—	+
В	—	—	+	+
Г	+	—	+	+

Таблица 6.11

## Кодирование вида дополнительной обработки

Код	Термическая обработка		Наличие покрытия
0	Без термической обработки		Без покрытия
1			С покрытием
2	С термической обработкой до или между операциями обработки резанием при HRC	До 40	Без покрытия
3			С покрытием
4		40–53,5	Без покрытия
5			С покрытием
6			Свыше 53,5
7		С покрытием	
8		С термической обработкой после обработки резанием	
9			С покрытием

## Кодирование характеристики массы

Код	Масса, кг	Код	Масса, кг
1	До 0,003	Д	Св. 10 до 16
2	Св. 0,003 до 0,006	Е	Св. 16 до 25
3	Св. 0,006 до 0,012	Ж	Св. 25 до 40
4	Св. 0,012 до 0,025	И	Св. 40 до 63
5	Св. 0,025 до 0,05	К	Св. 63 до 100
6	Св. 0,05 до 0,1	Л	Св. 100 до 160
7	Св. 0,1 до 0,2	М	Св. 160 до 250
8	Св. 0,2 до 0,5	Н	Св. 250 до 400
9	Св. 0,5 до 1,0	П	Св. 400 до 630
А	Св. 1,0 до 1,6	Р	Св. 630 до 1000
Б	Св. 1,6 до 2,5	С	Св. 1000 до 1600
В	Св. 2,5 до 4,0	Т	Св. 1600 до 2500
Г	Св. 4,0 до 10	У	Св. 2500 до 5000

Пример 6.1. Сформировать конструкторско-технологический код обрабатываемого резанием шлицевого вала, представленного на рис. 6.1.

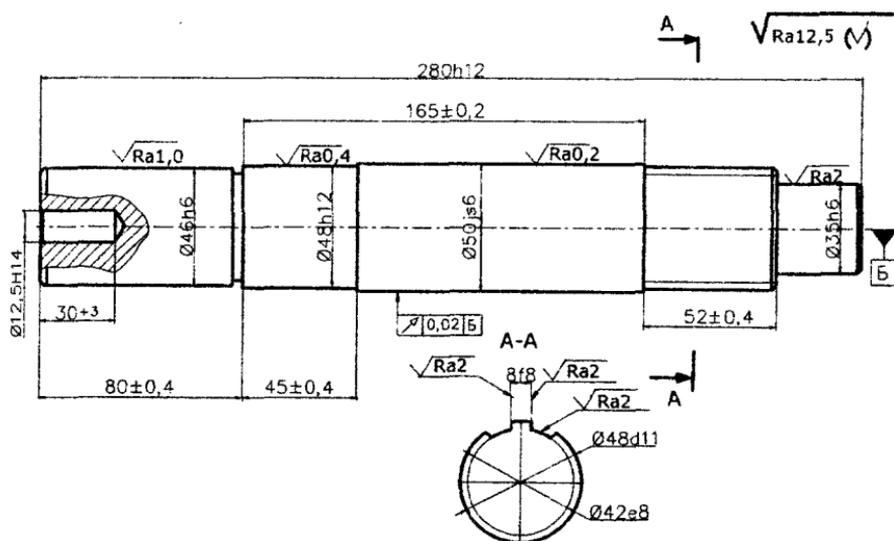


Рис. 6.1. Шлицевый вал для формирования конструкторско-технологического кода детали

Р е ш е н и е. Для формирования конструкторско-технологического кода детали должна быть составлена табл. 6.13.

Таблица 6.13

Расшифровка конструкторско-технологического кода детали

Номер знака	Признак	Содержание признака	Код
1, 2	Класс	Деталь – тело вращения	71
3	Подкласс	Наружная цилиндрическая поверхность, $L/D$ свыше 2	5
4	Группа	Без закрытых уступов, ступенчатая, двусторонняя, без наружной резьбы	4
5	Подгруппа	С центральным глухим отверстием	2
6	Вид	Со шлицами, без отверстий вне оси детали	3
7, 8, 9	Размерная характеристика	Наибольший наружный диаметр 50, длина 280, диаметр отверстия 12,5	ВИЗ
10, 11	Группа материала	Сталь 45, углеродистая, конструкционная	04
12	Вид детали по технологическому методу	Деталь, обрабатываемая резанием	4
13, 14	Вид исходной заготовки	Пруток круглый, некалиброванный	31
15, 16	Квалитет точности	Наружных поверхностей 6, внутренних 14	41
17	Отклонения формы и расположения поверхностей	Радиальное биение (при отсутствии требований по этому параметру кодируется минимальный параметр шероховатости $Ra$ )	8
18	Степень точности	Допуск радиального биения 0,02 мм на диаметре 50 мм относится к 6-й степени точности	4
19	Вид дополнительной обработки	Термообработка 42–48 HRC	4
20	Характеристика массы	Масса детали 4,3 кг	Г

В соответствии с табл. 6.13 код детали – 715423.ВИ3044.3141844Г, по нему определяется возможный типовой или групповой техпроцесс механической обработки.

*Пример 6.2.* Описать конструктивно-технологические признаки детали по конструктивно-технологическому коду – 721325 ВЖО 124.244446Г.

Решение задачи удобнее представлять в виде табл. 6.14.

Таблица 6.14

Пример описания конструктивно-технологических признаков детали по ее коду

Признак	Код признака	Содержание признака
Класс	72	Деталь – тело вращения
Подкласс	1	С элементами зубчатого зацепления
Группа	3	Цилиндрическая, одновенцовая, с модулем свыше 1 мм
Подгруппа	2	С неконсольным зубчатым венцом
Вид	5	Без центрального отверстия, с модулем свыше 4 до 10 мм включительно, со шлицами на наружной поверхности
Размерная характеристика	ВЖО	Наибольший наружный диаметр 120–150, длина 200–250 мм, диаметр центрального отверстия –0
Группа материала	12	Сталь конструкционная легированная
Технологический метод изготовления	4	Деталь, обрабатываемая резанием
Вид исходной заготовки	24	Штамповка объемная, некалиброванная
Квалитет точности	4	Точность поверхностей <i>IT8–IT5</i>
Параметр шероховатости	4	Параметр шероховатости поверхности: свыше 0,32 до 2,5
Степень точности	4	Степень точности формы и расположения поверхностей – 8–6
Вид дополнительной обработки	6	С термической обработкой свыше 54 HRC
Характеристика массы	Г	Масса детали: свыше 4,0 до 10 кг

## Порядок выполнения работы

1. Вычертить эскиз детали (деталь принимается та же, для которой определялась шероховатость или волнистость в работе № 4, но с назначенными параметрами шероховатости или волнистости в результате выполнения работы № 4).

2. По классификатору ЕСКД (классы 71–76) определить конструкторский код детали.

3. В соответствии с табл. 6.2 и 6.3 определить код размерной характеристики детали.

4. По табл. 6.4 определить код группы материала.

5. По табл. 6.5 определить код технологического метода изготовления.

6. В соответствии с табл. 6.6 определить код вида исходной заготовки.

7. По табл. 6.7 определить код качества точности.

8. По табл. 6.8 определить код параметра шероховатости.

9. По табл. 6.9 и 6.10 определить код степени точности формы и расположения поверхностей и код отклонений формы и расположения поверхностей.

10. В соответствии с табл. 6.11 определяется код вида дополнительной обработки.

11. По табл. 6.12 определить код характеристики массы.

12. Записать общий конструкторско-технологический код детали.

13. По полученному КТКД выбрать типовой (групповой) технологический процесс и подобрать металлорежущее оборудование (с. 160–205 технологического классификатора деталей приборостроения и машиностроения 1 85 142).

14. Расшифровать предложенный КТКД (табл. 6.15) детали и выполнить ее эскиз.

Таблица 6.15

Заданные конструкторско-технологические коды деталей

Вариант	КТКД	Вариант	КТКД
1	711428.ДБ7124.3124220 В	7	731143.Б98314.1424Г40 Ж
2	712556.986084.2433431 В	8	732115.АБ9024.1124530 Е
3	716463.АЕ8434.1542842 Г	9	734521.ВДЕ324.1214Е40Р
4	716672.ЕЛ9124.2443530 Г	10	743413.894124.2524742 Г
5	721655.АА6124.2434846 Г	11	753433.542124.28418459
6	722365.БД204.3124557 В	12	761512.896194.3134Б59А

## Содержание отчета

1. Эскиз детали по заданию к практической работе № 4 с размерными характеристиками и с параметрами шероховатости (волнистости).
2. Конструкторский код детали в соответствии с классификатором ЕСКД с краткими пояснениями.
3. Технологический код детали в соответствии с технологическим классификатором деталей приборостроения и машиностроения с краткими пояснениями.
4. По предложенному КТКД определить ее характеристики (аналогично табл. 6.14).
5. По описанию детали выполнить ее эскиз.
6. Заключение по работе.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие задачи решаются с помощью КТКД?
2. В чем заключается процесс кодирования?
3. Какие детали объединяются в классах 71, 72 и т. п. классификатора ЕСКД?
4. Какие признаки детали учитываются при кодировании ее размерной характеристики?
5. Как кодируется группа материала?
6. Как кодируются параметры качества деталей?
7. Каким образом кодируются отклонения формы и расположения поверхностей?

## Литература

1. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Классы 71, 72, 73, 74, 75, 76. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 438 с.
2. Технологический классификатор деталей приборостроения и машиностроения 1 85 142.
3. Технология машиностроения: Сборник задач и упражнений: учебное пособие / В.И. Аверченков [и др.]; под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 288 с. – (Высшее образование).

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ ОТ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ОТЖАТИЙ В СИСТЕМЕ СПИД И РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА**

**Цель работы:** получить практические навыки расчета погрешностей обработки, вызываемых деформацией элементов системы СПИД под воздействием нестабильной силы резания и размерного износа инструмента.

### **Основные положения**

Точность обработки детали во многом зависит от условий обработки, состояния оборудования и оснастки, режимов обработки и т. д. Погрешность обработки вызывается смещением элементов технологической системы из заданного положения в рабочее, отсчитываемое от определенной базы. В качестве последней для тел вращения чаще всего принимают ось вращения детали или инструмента, иногда – номинально расположенную измерительную поверхность.

Суммарная погрешность  $\Delta$ , возникающая от совокупного действия всех элементарных погрешностей обработки, должна в первую очередь учитывать следующие первичные (основные) погрешности:

$\Delta_y$  – погрешность, вызванную упругими отжатыми в технологической системе;

$\varepsilon$  – погрешность установки заготовки в приспособление;

$\Delta_n$  – погрешность настройки инструмента на размер при работе на настроенных станках;

$\Delta_{и}$  – погрешность, вызванную размерным износом инструмента;

$\Delta_T$  – погрешность, связанную с тепловыми деформациями системы. Наиболее полно проявляет себя в период разогрева технологической системы;

$\Delta_{\phi}$  – погрешность формы данного элемента детали, вызываемую геометрическими неточностями станка, деформациями заготовки при закреплении, неравномерными отжатыми технологической системы по пути резания (в разных сечениях заготовки). В процессе выполнения технологической операции над партией заготовок  $\Delta_{\phi}$  практиче-

ски не меняется, т. е. остается постоянной для всех обработанных заготовок.

Задача определения суммарной погрешности обработки подобна задаче нахождения допуска замыкающего звена в размерном анализе. При решении ее методом максимума-минимума

$$\Delta = \Delta_y + \varepsilon + \Delta_n + \Delta_T + \Delta_\phi + \Delta_n.$$

Расчет суммарной погрешности методом максимума и минимума прост, но значения  $\Delta$  всегда получаются завышенными, так как даже при очень большой партии обрабатываемых заготовок предельные значения (максимальные и минимальные) слагаемых погрешностей встречаются редко. Это приводит к необоснованному увеличению припусков на обработку и ее удорожанию. По этой причине в технологии машиностроения принято рассматривать первые пять погрешностей как случайные величины и суммировать их по законам математической статистики:

$$\Delta = k_p \sqrt{\lambda_1 \Delta_y^2 + \lambda_2 \Delta_n^2 + \lambda_3 \varepsilon^2 + \lambda_4 \Delta_n^2 + \lambda_5 \Delta_T^2 + \Delta_\phi},$$

где  $k_p$  – коэффициент, определяющий процент риска  $P_p$  получения брака при обработке; при  $k_p = 1$  вероятность возникновения брака составляет 32 %, при  $k_p = 2$  она снижается до 4,5 %, при  $k_p = 2,57$   $P_p = 1$  %, при  $k_p = 3$   $P_p = 0,27$  %.  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5$  – коэффициенты, зависящие от формы кривых распределения элементарных погрешностей. Для закона Гаусса  $\lambda = 1/9$ ; для закона равной вероятности, а также в том случае, когда о форме кривой распределения данных нет,  $\lambda = 1/3$ ; для закона равнобедренного треугольника (Симпсона)  $\lambda = 1/6$ .

Распределение величин  $\Delta_y, \varepsilon$  и  $\Delta_n$  близко к нормальному, распределение  $\Delta_n$  соответствует закону равной вероятности, а распределение  $\Delta_T$  изучено недостаточно. Поэтому  $\lambda_4$  и  $\lambda_5$  принимаются равными  $1/3$ . Тогда при  $k_p = 3$

$$\Delta = \sqrt{\Delta_y^2 + \varepsilon^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_n^2 + 3\Delta_T^2 + \Delta_\phi}.$$

Если партия деталей обрабатывается на нескольких станках, суммарная погрешность формы  $\Delta_\phi$  также принимает вид случайной величины и вводится под знак радикала.

В данной работе ставится задача получить навыки ориентировочного расчета точности обработки с учетом погрешностей, вызванных размерным износом инструмента, упругих деформаций технологической системы и геометрических неточностей станка. Погрешности установки заготовок, настройки и температурных деформаций не рассматриваются.

Смещение элемента технологической системы в направлении выдерживаемого размера под воздействием силы резания  $P_y$  определяется по формуле

$$J = P_y / y = 1/W,$$

где  $J$  – жесткость данного элемента системы, Н/мкм;

$P_y$  – составляющая силы резания, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности, Н;

$y$  – величина смещения (отжатия) в направлении действия силы, мкм;

$W$  – податливость системы, мкм/Н.

Из последнего выражения можно определить величину деформации элемента технологической системы

$$y = W \cdot P_y.$$

При переменной силе резания или податливости (жесткости) величину деформации определяют по формуле

$$\Delta y = W_{\max} \cdot P_{y \max} - W_{\min} P_{y \min},$$

при постоянной жесткости (податливости), но разных значениях  $P_y$

$$\Delta y = W \cdot (P_{y \max} - P_{y \min}).$$

Величины статической податливости узлов станка и суммарной податливости токарных станков оговариваются стандартами и приведены в табл. 7.1. Причем при расчете деформаций деталей, обрабатываемых на токарных станках, необходимо рассматривать:

- установку вала в центрах – как балку на двух опорах;
- установку в патроне – как консольно закрепленную балку;

– установку в патроне с поджимом задним центром – как балку с заземленным одним концом и подпертым вторым концом.

Таблица 7.1

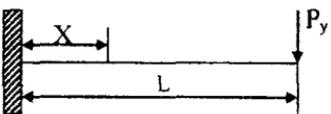
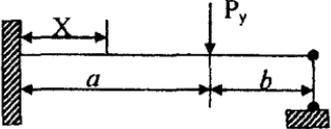
Податливость токарных станков общего назначения  
при установке вала в жестких центрах

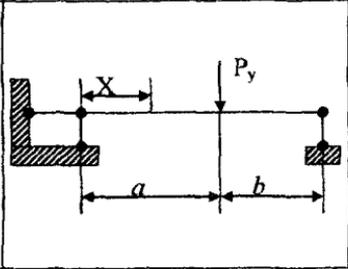
Наибольший диаметр обработки над станиной, мм	Податливость узлов станка, мкм/Н		
	Передней бабки	Задней бабки	Суппорта
100	0,0508	0,0794	0,0635
125	0,0445	0,0845	0,0555
160	0,0445	0,0823	0,0555
200	0,0445	0,0745	0,0555
250	0,0413	0,0627	0,0516
320	0,0378	0,0578	0,0472
400	0,0334	0,0549	0,0416
500	0,0312	0,0487	0,0388

Формулы для расчета деформации заготовки приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Формулы для расчета деформации вала

Тип установки	Схема установки	Формула для расчета величины деформации
1	2	3
Установка в патроне		$y = \frac{M_a \cdot X^2}{2EJ_x}$
Установка в патроне с опорой на задний центр		$y = \frac{1}{E \cdot J_x} \left[ A \frac{X^3}{6} - M_a \frac{X^2}{2} - P \frac{(X-a)^3}{6} \right]$

1	2	3
Установка в центрах		$y = \frac{P}{6EJ_x} \left[ \frac{L-a}{L} X^2 - (X-a)^3 + \frac{(L-a)^3 X}{L} - (L-a) \cdot L \cdot X \right];$ $y_{\max} = \frac{P \cdot L^3}{48EJ_x}$

**Примечание:**  $X$  – текущая координата, мм;  $A$  – сила реакции опоры, Н;  $M_a$  – реактивный момент в опоре, Н·м;  $E$  – модуль упругости, Н/м<sup>2</sup>;  $J_x$  – осевой момент инерции поперечного сечения относительно оси  $X$ ; для балки круглого сечения диаметром  $d$

$$J_x \approx 0,05d^4.$$

Размерный износ инструмента обычно измеряют по нормали к обработанной поверхности и полученные значения суммируют с другими погрешностями.

Как видно из рис. 7.1, типичный график износа состоит из трех участков: 1, 2 и 3.

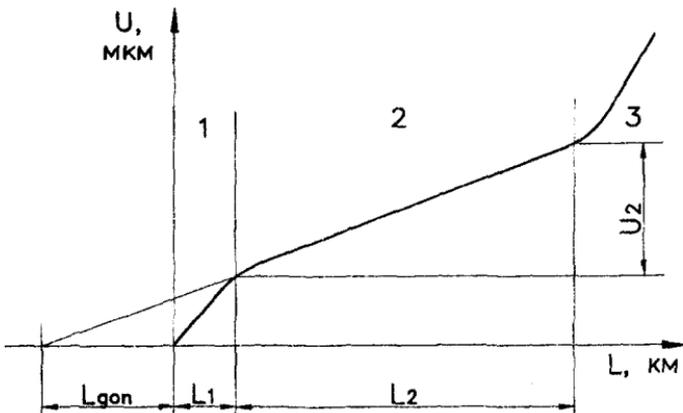


Рис. 7.1. Типичный график зависимости износа от пути резания

Участок 1 соответствует периоду приработки инструмента, сопровождающегося повышенной интенсивностью изнашивания. Износ инструмента за этот сравнительно непродолжительный период может достигать до 70 % от допустимого.

Участок 2 – зона установившегося износа, в пределах этой зоны величина износа  $U_2$  прямо пропорциональна длине резания  $L_2$ .

Участок 3 – зона катастрофического износа, к этому времени на режущей кромке инструмента накопилось такое количество дефектов, что дальнейшая эксплуатация его становится невозможной.

Обычно расчет износа ведут только для второй зоны, тогда

$$U = \frac{L}{10^6} U_0,$$

где  $L$  – длина пути резания, мм;

$U_0$  – относительный размерный износ инструмента, мкм/км, зависит от материалов режущей части инструмента и детали, их физико-механических свойств и условий обработки, определяется по табл. 7.3 и 7.4.

Длина пути резания при точении цилиндрических поверхностей определяется по формуле

$$L_2 = \frac{\pi D L_d}{s},$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности, мм;

$L_d$  – длина обрабатываемого участка заготовки, мм;

$s$  – подача, мм/об.

Величина износа во время приработки учитывается величиной дополнительного пути резания  $L_{\text{доп}}$ , обычно принимается  $L_{\text{доп}} = 1000$  м. Тогда общая длина пути резания  $L = L_2 + L_{\text{доп}}$ .

Относительный износ  $U_0$  резцов и режимы чистового точения и растачивания с глубиной резания  $t = 0,1-0,3$  мм при достижении шероховатости  $Rz = 10$  мкм

Обрабатываемый материал и его структура	Материал и марка инструмента	Режимы резания		Стойкость по шероховатости, выраженная в метрах пути резания	Относительный износ $U_0$ , мкм/км
		Скорость резания $V$ , м/мин	Подача $s$ , мм/об		
1	2	3	4	5	6
Сталь углеродистая конструкционная качественная	Т30К4	100-180	0,04-0,08	12500	6,5
	Эльбор	500-600	0,04-0,08	25000	3,0
Стали конструкционные легированные	Т30К4	120-180	0,04-0,08	20000	4,7
	Эльбор	450-500	0,04-0,06		
Стали высоколегированные коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные	Т30К4	80-120	0,02-0,04	11000	6,5
	Эльбор	200-220		15000	3,0
Стальное литье	Т30К4	100-160	0,04-0,06	7000	8,5
	Эльбор	200-230		12500	7,0
Стали конструкционные улучшенные (28-31,5 HRC)	Т30К4	120-180	0,04-0,08	8000	8,5
	Эльбор	350-400	0,04-0,06	15000	4,5
Стали конструкционные закаленные (41,5-46,5 HRC)	Т30К4	70-150	0,02-0,05	7000	10
	Эльбор	300-350	0,02-0,04	21000	5,0
Чугун серый СЧ 15 и СЧ 18 П+Ф+Г средний	ВКЗМ	100-160	0,04-0,08	21000	6,0
	ЦМ332	220-300	0,03-0,06	22000	3,5
	Эльбор	300-350	0,04-0,06	30000	2,5
Чугун серый СЧ 21 и СЧ 28 П + Ф + Г пластинчатый	ВКЗМ	120-160	0,04-0,08	23000	6,5
	ЦМ332	300-350	0,03-0,06	22000	4,3
	Эльбор	500-550	0,04-0,06	40000	3,0
Чугун ковкий КЧ 30 и КЧ 37 Ф + Г округлый	ВКЗМ	80-140	0,03-0,06	19000	6,0
	ЦМ332	200-250	0,03-0,05	18000	3,5
	Эльбор	300-350	0,03-0,06	2000	3,0

1	2	3	4	5	6
Чугун ковкий КЧ 45 и КЧ 63 П + Ф + Г округлый	ВКЗМ	120–160	0,03–0,06	17000	8,0
	ЦМ332	200–250	0,03–0,05	15000	5,5
	Эльбор	500–550	0,03–0,06	24000	4,0
Чугуны модифици- рованные СМ	ВКЗМ	120–160	0,04–0,08	18000	5,0
	ЦМ332	300–350	0,03–0,06	19000	3,5
	Эльбор	300–350	0,04–0,06	20000	3,0
Чугуны высоко- прочные ВЧ	ВКЗМ	120–160	0,04–0,08	21000	7,0
	ЦМ332	300–350	0,03–0,06	24000	4,5
	Эльбор	500–550	0,04–0,06	35000	3,5

**Примечание.** Обозначение структурных составляющих чугуна:  
Ф – феррит; П – перлит; Г – графит.

Для черновой обработки можно пользоваться табл. 7.4.

Таблица 7.4

Значения относительного размерного износа при точении

Материал режущего инструмента	Относительный износ, мкм/км			
	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Чугун серый	Чугун 375–400 НВ
T15K6	5–7	9–10	–	–
T5K10	8	12–13	–	–
ВК8	–	17–25	13–14	–
ВК6	–	–	14	–
ВК2	–	–	4–26	12
ЦМ–332	0,5–1,0	1–6	–	9

В результате отжатий вал при консольном закреплении приобретает коническую форму или близкую к ней, рис. 7.2.

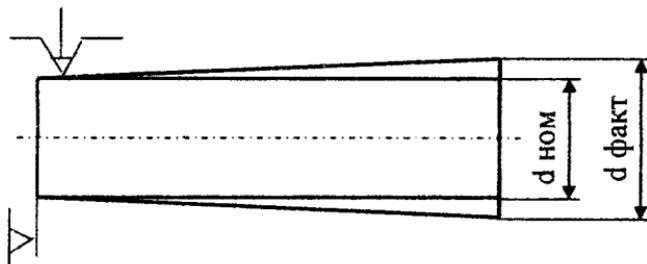


Рис. 7.2. Форма вала при консольном закреплении

При обработке гладкого нежесткого вала последний приобретает бочкообразную форму, рис. 7.3. При обработке же жесткого вала в центрах при недостаточной жесткости передней и задней бабок деталь может получить корсетную форму, рис. 7.4.

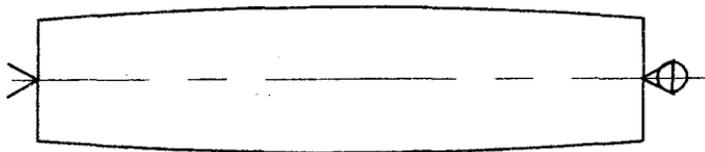


Рис. 7.3. Форма нежесткой детали после обработки при закреплении в центрах

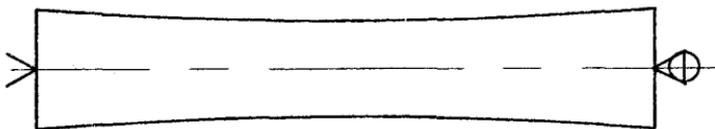


Рис. 7.4. Форма жесткой детали после обработки в центрах с нежесткими передней и задней бабками

*Пример расчета погрешности обработки от совместного действия деформации и размерного износа*

Необходимо обработать вал диаметром  $D = 40$  мм, длиной  $L_{\text{дет}} = 400$  мм, материал детали – сталь 45, точность обработки –  $h10$ . Обработка производится на станке с высотой центров 215 мм с установкой в центрах.

Назначить режимы резания с учетом того, что погрешность обработки от совместного воздействия размерного износа и упругих деформаций технологической системы не должна превышать 30 % от допуска на размер, т. е. не более 30 мкм.

**Решение**

По табл. 7.3 и 7.4 принимаем  $s = 0,1$  мм/об;  $t = 0,5$  мм;  $v = 50$  м/мин, резец Т15К6. Определяем погрешность обработки от размерного износа режущего инструмента:

$$U = \frac{L}{10^6} U_0 = 6 \cdot \left( \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 400}{10^6 \cdot 0,1} + 1 \right) = 6 \cdot 1,5 = 9 \text{ мкм.}$$

Из допустимой величины суммарной погрешности, равной 30 мкм, на долю погрешности от упругих деформаций остается 21 мкм. Эта величина погрешности порождается деформацией элементов станка (передняя и задняя бабки, суппорт) и детали. Определяем составляющую силы резания  $P_y$ :

$$P_y = 9,8 \cdot \lambda \cdot C_{py} \cdot t^x \cdot s^y, \text{ Н,}$$

где  $\lambda = P_y / P_z = 0,5$ ;  $C_{py} = 19$ ;  $t = 0,5$  мм;  $s = 0,1$  мм/об;  $x = 1,0$ ;  $y = 0,75$ . Тогда

$$P_y = 9,8 \cdot 19 \cdot 0,5 \cdot 18 \approx 170 \text{ Н.}$$

Максимальная деформация детали будет при расположении реза в среднем сечении

$$y_{\max} = \frac{P_y L^3}{48 E J_x} = \frac{170 \cdot 40^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot 0,05 \cdot 4^4} = 2 \text{ мкм.}$$

В соответствии с табл. 7.1 для токарно-винторезного станка с высотой центров 215 мм, наибольшим диаметром обработки над станиной 400 мм [1] принимаем  $W_{п.б} = 0,0334$  мкм/Н;  $W_{з.б} = 0,0549$  мкм/Н;  $W_{суп.} = 0,0416$  мкм/Н. Тогда

$$Y_{суп} = W_{суп} \cdot P_y = 0,0416 \cdot 170 = 7,1 \text{ мкм; } y_{п.б} = W_{п.б} \cdot P_y = 0,0334 \text{ мкм;}$$

$$y_{з.б} = W_{з.б} \cdot P_y = 0,0549 \cdot 170 = 4,67 \text{ мкм.}$$

Суммарная погрешность от воздействия деформации и размерного износа

$$Y = 2(7,1 + 2,44 + 4,67 + 2) = 32,42 \text{ мкм.}$$

Как видно, условия обработки не будут выдержаны, так как суммарная погрешность превысила допустимую. Возможны три варианта обеспечения заданной точности обработки:

1. Взять более износостойкий инструмент (ЦМ-332 или эльбор).
2. Применить резцы с более тщательной обработкой режущих поверхностей (уменьшится  $L_{\text{доп}}$ ).
3. Использовать резцы, позволяющие производить обработку с большими подачами (например, резец Колесова В.М., возможная подача – до 3 мм/об). Это позволит значительно уменьшить длину пути резания.

### Варианты заданий

1. Определить погрешность формы обрабатываемой поверхности при точении вала диаметром 150 мм, длиной 400 мм на токарном станке при установке в центрах (высота центров 250 мм, наибольший диаметр обработки над станиной 500 мм). Режимы резания:  $t = 2,5$  мм;  $s = 0,25$  мм/об;  $v = 55$  м/мин,  $E = 2,1 \cdot 10^6$  кг/мм<sup>2</sup>. Материал режущей части инструмента выбрать самим.

2. Определить величину погрешности при обработке вала, консольно закрепленного в трехкулачковом патроне, в радиальном направлении на расстоянии 200 мм от кулачков ( $J_{200} = 20\,000$  Н/мм), сила резания  $P_z = 1600$  Н,  $P_z : P_y : P_x = 1 : 0,4 : 0,25$ . Длина консоли 120 мм, диаметр вала 150 мм, материал детали – сталь 30ХГСА,  $E = 2,1 \cdot 10^6$  кг/мм<sup>2</sup>. Наибольший диаметр обработки над станиной 400 мм. Режимы обработки и материал режущей части подобрать самостоятельно.

3. Определить, через сколько времени необходимо делать подналадку режущего инструмента при обработке партии деталей из 200 штук, диаметр вала 100 мм, длина обработки 80 мм, допуск на размер 120 мкм. Режимы обработки:  $n = 400$  мин<sup>-1</sup>;  $s = 0,16$  мм/об;  $U_0 = 10$  мкм/км; начальный износ  $U_1 = 10$  мкм. Наибольший диаметр обработки над станиной 320 мм.

4. Определить утолщение свободного конца прутка, закрепленного в трехкулачковом патроне, как следствие прогиба под воздействием силы резания. Длина вылета прутка 150 мм, диаметр 30 мм, глубина резания  $t = 2,0$  мм; подача  $s = 0,34$  мм/об; скорость резания 70 м/мин.; материал прутка – сталь 45, соотношение составляющих  $P_z : P_y : P_x = 1 : 0,4 : 0,25$ .

5. Определить наибольшее отношение длины к диаметру обрабатываемого в центрах вала, если допускаемая бочкообразность под

влиянием радиальной составляющей силы резания, равной 1200 Н, не должна превышать 0,15 мм. Материал вала сталь 65Г,  $E = 2,2 \cdot 10^6$  кг/мм<sup>2</sup>; диаметр вала 60 мм, резец Т15К6, подача  $s = 0,34$  мм/об. Наибольший диаметр обработки над станиной 280 мм.

6–11. Определить погрешность формы обрабатываемой поверхности при обработке вала диаметром 75 мм, длина обрабатываемого участка заготовки 600 мм. Обработка ведется на токарном станке в центрах резцом Т15К6. Наибольший диаметр обработки над станиной 400 мм. Режимы обработки:  $t = 2,5$  мм;  $s = 0,2$  мм/об;  $v = 80$  м/мин.  $E = 2,1 \cdot 10^6$  кг/мм<sup>2</sup>. Материал заготовки и значение коэффициента  $C_p$  приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Значения коэффициента  $C_p$   
при обработке конструкционной стали

Марка стали	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Твердость, НВ	$C_p$
Сталь 15	350	103	144
Сталь 25	450	133	155
Сталь 35	550	163	165
Сталь 45	650	190	180
Сталь 55	750	220	193
Сталь 65	850	250	205

12. Определить суммарную погрешность обработки, вызванную размерным износом инструмента и упругими деформациями системы СПИД, если известно, что обработка производится на станке с максимальным диаметром обработки над станиной 320 мм при консольном закреплении заготовки в патроне резцом Т15К6 с режимами  $t = 1,5$  мм;  $s = 0,2$  мм/об;  $v = 60$  м/мин. Материал детали – сталь 40Х, диаметр заготовки 60 мм, длина детали 200 мм, длина обрабатываемого участка 150 мм.

13. Определить суммарную погрешность обработки, вызванную размерным износом инструмента и упругими деформациями системы СПИД, если известно, что обработка производится на станке с максимальным диаметром обработки над станиной 400 мм при за-

креплении заготовки в центрах резцом Т5К10 с режимами  $t = 1,2$  мм;  $s = 0,3$  мм/об;  $v = 100$  м/мин. Материал детали – сталь 45, диаметр заготовки 40 мм, длина детали 100 мм, длина обрабатываемого участка 100 мм.

14. Определить суммарную погрешность обработки, вызванную размерным износом инструмента и упругими деформациями системы СПИД, если известно, что обработка производится на станке с максимальным диаметром обработки над станиной 500 мм при консольном креплении заготовки в патроне резцом Т15К6 с режимами  $t = 1,5$  мм;  $s = 0,2$  мм/об;  $v = 80$  м/мин. Материал детали – сталь 45, диаметр заготовки 40 мм, длина детали 160 мм, длина обрабатываемого участка 150 мм.

15. Определить суммарную погрешность обработки, вызванную размерным износом инструмента и упругими деформациями системы СПИД, если известно, что обработка производится на станке с максимальным диаметром обработки над станиной 280 мм при креплении заготовки в патроне с поджатием задним центром резцом Т15К6 с режимами  $t = 1,5$  мм;  $s = 0,2$  мм/об;  $v = 80$  м/мин. Материал детали – сталь 45, диаметр заготовки 50 мм, длина детали 200 мм, длина обрабатываемого участка 150 мм.

16. Определить погрешность обработки и максимальное число деталей в партии, которые могут быть обработаны при одной настройке станка с точностью 11-го качества, при условии, что погрешность обработки, обусловленная размерным износом инструмента не должна превышать 50 % от допуска на выполняемый размер. Заготовка закреплена в центрах. Материал детали – сталь 40Х, диаметр заготовки 60 мм, длина детали 200 мм, длина обрабатываемого участка 150 мм, резец Т30К4. Режимы обработки:  $t = 1,5$  мм;  $s = 0,2$  мм/об;  $v = 70$  м/мин. Максимальный диаметр обработки над станиной 320 мм.

17. Определить суммарную погрешность обработки, вызванную размерным износом инструмента и упругими деформациями системы СПИД, если известно, что обработка производится на станке с максимальным диаметром обработки над станиной 500 мм при консольном креплении заготовки в патроне резцом ЦМ-332 с режимами  $t = 1,5$  мм;  $s = 0,2$  мм/об;  $v = 120$  м/мин. Материал детали – сталь ШХ 15, диаметр заготовки 80 мм, длина детали 120 мм, длина обрабатываемого участка 100 мм.

## Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями.
2. Вычертить расчетную схему для определения деформации заготовки под воздействием силы резания.
3. Определить реакции и изгибающий момент в опорах.
4. Рассчитать деформацию детали.
5. Определить силу  $P_y$ .
6. Рассчитать деформации передней, задней бабок и суппорта станка.
7. Определить размерный износ инструмента.
8. Определить суммарную погрешность обработки.
9. Сделать выводы по работе.

## Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Расчетная схема для определения реакций и моментов в опорах.
3. Расчет силы резания и определение деформаций элементов станка.
4. Расчет реакций, изгибающих моментов и деформации детали в указанном заданием сечении.
5. Расчет размерного износа инструмента.
6. Рассчитать суммарную погрешность обработки и оценить возможность обеспечения заданной точности обработки.
7. Выводы.

## Вопросы для самоконтроля

1. Что такое жесткость и податливость элемента технологической системы и как они влияют на точность обработки?
2. Какие первичные погрешности должны учитываться при расчетах точности обработки?
3. Каким образом суммируются первичные погрешности обработки?
4. Чем характерен график износа?
5. Как определяется размерный износ инструмента?

6. Каким образом при расчетах учитывается величина износа на этапе приработки?

7. От чего зависит величина относительного износа?

8. Каким образом деформации элементов СПИД влияют на точность формы обрабатываемых поверхностей?

### Литература

1. Технология машиностроения : учебник для студентов высших учебных заведений / Л.В. Лебедев [и др.]. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 528 с.

2. Маталин, А.А. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 496 с., ил.

3. Обработка металлов резанием: справочник технолога / А.А. Панов [и др.]; под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.: ил.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

## Параметры шероховатости при различных методах обработки

Вид обработки	Формула	Условия обработки
1	2	3
<b>Наружные поверхности</b>		
Точение получистовое, чистовое	$Ra = k_0 \frac{s^{k_1} \cdot (90^\circ + \gamma)^{k_4}}{\rho^{k_2} \cdot v^{k_3}}$	$s = 0,05-0,43$ мм/об; $v = 71-282$ м/мин; $\rho = 0,5-2$ мм; $\gamma = +4^\circ-(-40^\circ)$ ; коэффициенты $k_0-k_4$ приведены в табл. П2 ниже
Точение тонкое (алмазное)	$Ra = k_0 \frac{s^{k_1} \cdot (90^\circ + \gamma)^{k_4}}{\rho^{k_2} \cdot v^{k_3}};$ $R_p = k_0 \frac{s^{k_1} \cdot (90^\circ + \gamma)^{k_4}}{\rho^{k_2} \cdot v^{k_3}};$ $S_m = k_0 \frac{s^{k_1} \cdot (90^\circ + \gamma)^{k_4}}{\rho^{k_2} \cdot v^{k_3}};$ $t_p = 50 \left( \frac{0,055 \cdot Ra \cdot p}{R_p} \right)^{\left( \frac{R_p}{Ra} - 1 \right)}$	$s = 0,05-0,5$ мм/об; $v = 50-150$ м/мин; $\rho = 0,5-2$ мм; $\gamma = +4^\circ-(-40^\circ)$ ; коэффициенты $k_0-k_4$ приведены в табл. П3 ниже
Шлифование круглое предварительное и получистовое	$Ra = 0,47 \frac{s_{np}^{0,35} t^{0,29} k^{0,08} j_{ст}^{0,34}}{v_d^{0,22} s_{рад}^{0,003} i^{0,024}};$ $R_p = 1,08 \frac{s_{np}^{0,16} s_{рад}^{0,03} t^{0,008} H^{0,7} K^{0,03}}{v_d^{0,018}} \times$ $\times (0,1 j_{ст})^{0,24};$ $S_m = 0,017 \frac{S_{np}^{0,34} i^{0,04} H^{0,25} K^{0,055}}{v_d^{0,22} s_{рад}^{0,15}} \times$ $\times (0,1 j_{ст})^{0,13}$	Обрабатываемый материал – сталь 40Х, 30–35 HRC; $v_d = 20-50$ м/мин; $s_{np} = (0,5-1)$ В; $s_{рад} =$ $= 0,05-0,1$ мм/дв. ход; $i = 1-5$ ; $K = 16-40$ ; для связи С2 $H = 2$ ; для СМ1 $H = 1$ ; $j_{ст} = 10000-$ $-30000$ Н/мм

1	2	3
Шлифование тонкое (торцом чашечного алмазного круга)	$Ra = 0,003s_{\text{нр}}^{0,45} K^{0,85} (0,1j_{\text{ст}})^{0,27};$ $R_p = 0,02s_{\text{нр}} K^{0,6} (0,1j_{\text{ст}})^{0,2}$	$s_{\text{нр}} = 0,15-1,5 \text{ мм/об};$ $K = 28/20-125/100;$ $P = 20-140 \text{ Н}$
Суперфиниширование (алмазными брусками)	$Ra = 0,0003 \left( \frac{P}{10^5} \right)^{0,15} \frac{K^{1,7}}{v_d^{0,2} \tau^{0,35}};$ $R_p = 0,0006 \left( \frac{P}{10^5} \right)^{0,17} \frac{K^{1,8}}{v_d^{0,2} \tau^{0,35}}$	$P = (3-13)10^5 \text{ Па};$ $v_d = 10-50 \text{ м/мин};$ $\tau = 10-80 \text{ с.}$ Параметры шероховатости приведены в табл. П4
Полирование лентами конечной длины	$Ra(R_z, R_p) = k_0 \frac{Ra_{\text{исх}}^k K^{k_2} (10^5)^{k_3}}{p^{k_3} v_d^{k_4} \tau^{k_5}};$ $S_m = \frac{1}{k_0 + k_1 Ra_{\text{исх}} + k_2 K + k_3 \frac{P}{10^5} + k_4 v_d + k_5 \tau}$	$Ra_{\text{исх}} = 0,32-0,80 \text{ мкм};$ $K = 63/50-80/63;$ $p = (1-6)10^5 \text{ Па};$ $v_d = 9,4-36,4 \text{ м/мин};$ $\tau = 25-60 \text{ с},$ коэффициенты $k_0-k_5$ приведены в табл. П5
Полирование лентами бесконечной длины	$Ra = 0,004 \left( \frac{P}{10} \right)^{0,46} \frac{K^{1,26}}{\tau^{0,61}};$ $R_p = 0,013 \left( \frac{P}{10} \right)^{0,25} \frac{K^{1,15}}{\tau^{0,47}};$ $R_{\text{max}} = 0,026(0,1P)^{0,34} \frac{K^{1,33}}{\tau^{0,62}}$	$K = 40/28-125/100;$ $P = 20-70 \text{ Н};$ $\tau = 10-70 \text{ с.}$ Параметры шероховатости приведены в табл. П6
Притирка	$Ra = 0,4 \frac{Ra_{\text{исх}}^{0,36} K^{0,79} v_d^{0,1}}{\alpha^{0,3} \tau^{0,37}};$ $R_z = 1,13 \frac{Ra_{\text{исх}}^{0,32} K^{0,74} v_d^{0,06}}{\alpha^{0,11} \tau^{0,15}};$ $R_p = 0,08 \frac{Ra_{\text{исх}}^{0,32} v_d^{0,15} K^{0,72} \alpha^{0,06}}{\tau^{0,15}};$ $S = 0,069 \frac{v_d^{0,19}}{K^{0,42} \alpha^{0,07} \tau^{0,2}}$	Обрабатываемый материал – сталь У10А, 60–65 HRC; $Ra_{\text{исх}} = 0,17-0,89 \text{ мкм};$ $v_d = 40-150 \text{ м/мин};$ $K = \text{АСМ } 2/3;$ $\text{АСМ } 10/7;$ $\tau = 120-300 \text{ с};$ $\alpha = 10-25^\circ$

1	2	3
Обкатывание роликами	$Ra(v, b) = k_0 v^{k_1} s^{k_2} \rho^{k_3} \gamma^{k_4} \rho_p^{k_5} P^{k_6} D^{k_7} s_n^{k_8} v_d^{k_9}$	Коэффициенты $k_0-k_9$ приведены в табл. П7
Обкатывание шариками	$Ra = Rz_{исх}^{0,95} \sigma_{max}^{-0,34} v^{0,04} D^{-0,13} s^{0,14};$ $v = 0,21 v_{исх}^{4,8} \sigma_{max}^{-0,03} s^{0,03} v^{0,02};$ $b = 0,10 b_{исх}^{0,68} \sigma_{max}^{0,36} D^{0,32} s^{-0,16} v^{-0,02}$	Обрабатываемый материал – сталь ШХ15, 62–63 НРС; $D = 3-5$ мм; $s = 0,03-0,11$ мм/об; $v = 10-70$ м/мин; $\sigma_{max} = (5000-9000)$ МПа
Алмазное выглаживание	$Ra = 1,1 Rz_{исх}^{0,77} \sigma_{max}^{-0,27} D^{-0,3} s^{0,14} v^{0,05}$ $v = 0,58 v_{исх}^{2,6} \sigma_{max}^{-0,04} D^{-0,04} s^{0,04} v^{0,01}$ $b = 0,10 b_{исх}^{0,68} \sigma_{max}^{0,36} D^{0,32} s^{-0,16} v^{-0,02}$	
Электро-механическая для предварительно отточенных поверхностей ( $Ra_{исх} = 1,5-6,2$ мкм)	$Ra = 0,006 Ra_{исх}^{1,03} I^{-0,03} \left(\frac{P}{10}\right)^{-0,4} \times$ $\times v^{0,37} s^{0,35} \rho_p^{0,36} (tg\varphi)^{1,03};$ $R_p = 0,026 Ra_{исх}^{0,98} I^{-0,04} \left(\frac{P}{10}\right)^{-0,34} \times$ $\times v^{0,25} s^{0,41} \rho_p^{0,41} (tg\varphi)^{0,88}$	Обрабатываемый материал – сталь 45; $I = 1-500$ А; $\varphi = 0,3-0,7^\circ$ ; $P = 300-800$ Н; радиус скругления ролика $\rho_p = 0,5-1,5$ мм; $s = 0,07-0,15$ мм/об
Электро-механическая для предварительно шлиффонных поверхностей ( $Ra_{исх} = 0,35-0,16$ мкм)	$Ra = 0,026 Ra_{исх}^{0,96} I^{-0,04} \left(\frac{P}{10}\right)^{-0,27} \times$ $\times v^{0,36} s^{0,3} \rho_p^{0,3} (tg\varphi)^{-0,35};$ $R_p = 0,21 Ra_{исх}^{0,96} I^{-0,03} \left(\frac{P}{10}\right)^{-0,37} \times$ $\times v^{0,35} s^{0,41} \rho_p^{0,3} (tg\varphi)^{-0,35}$	То же
Магнитно-абразивная обработка	$Ra = 0,58 \frac{Ra_{исх}^{0,55} K^{0,15} \delta^{0,3}}{\tau^{0,52} B_1^{0,05} v^{0,08} v_0^{0,26}};$ $R_p = 0,21 \frac{Ra_{исх}^{0,55} K^{0,15} \delta^{0,3}}{\tau^{0,52} B_1^{0,05} v^{0,08} v_0^{0,13}}$	$\delta = 0,8-2$ мм; $B_1 = 0,3-1,1$ Тл; $v_0 = 3-9$ м/мин

1	2	3
<b>Внутренние поверхности вращения</b>		
Сверление	$Ra = 6,3d^{0,25}v^{0,17}s^{0,41};$ $R_p = 52,4 \frac{d^{0,17}s^{0,52}}{v^{0,14}};$ $R_z = 48,7 \frac{d^{0,17}s^{0,46}}{v^{0,04}};$ $R_{\max} = 61,3d^{0,17}v^{0,02}s^{0,46};$ $S_m = 233,9d^{0,23}v^{0,32}s^{0,62}$	<p>Обрабатываемый материал – сталь 40X;  <math>d = 12-25</math> мм;  <math>v = 12-20</math> м/мин;  <math>s = 0,06-0,14</math> мм/об</p>
Зенкерование	$Ra = 5,6 \frac{v^{0,16}s^{0,76}}{d^{0,23}};$ $R_p = 254,8 \frac{s^{0,53}}{d^{0,52}v^{0,51}};$ $R_z = 458 \frac{s^{0,41}}{d^{0,64}v^{0,5}};$ $R_{\max} = 98,4 \frac{s^{0,55}}{d^{0,47}v^{0,1}};$ $S_m = 1539 \frac{s^{0,85}}{d^{0,02}v^{0,22}}$	<p>Обрабатываемый материал – сталь 40X;  <math>d = 12-25</math> мм;  <math>v = 25-40</math> м/мин;  <math>s = 0,3-0,6</math> мм/об</p>
Развертывание	$Ra = 0,1 \frac{d^{0,26}v^{0,89}}{s^{0,27}};$ $R_p = 0,85 \frac{d^{0,19}v^{0,36}}{s^{0,18}};$ $R_z = 1,82 \frac{d^{0,04}v^{0,4}}{s^{0,1}};$ $R_{\max} = 2,5 \frac{d^{0,02}v^{0,35}}{s^{0,2}};$ $S_m = 403,5 \frac{v^{0,13}}{d^{0,02}s^{0,4}}$	<p>Обрабатываемый материал – сталь 40X;  <math>d = 12-25</math> мм;  <math>v = 5-10</math> м/мин;  <math>s = 0,6-1,6</math> мм/об</p>

1	2	3
Растачивание получистовое и чистовое	$Ra = 76,2 \frac{s^{0,57} v^{0,03} J_{\text{ст}}^{0,04}}{10^{0,04} t^{0,08} \rho^{0,2} \alpha^{0,34} (50 + \gamma)^{0,35}};$ $R_p = 22818 \frac{s^{0,65} J_{\text{ст}}^{0,05}}{10^{0,05} t^{0,08} \rho^{0,16} \alpha^{0,52} (50 + \gamma)^{0,23}};$ $S_m = 0,006 \frac{v^{0,03} s^{0,46} \rho^{0,12} (50 + \gamma)^{1,05}}{\alpha^{0,19}}$	Обрабатываемый материал – сталь 40X; $t = 0,15-1$ мм; $s = 0,05-0,5$ мм/об; $v = 50-150$ м/мин; $\rho = 0,5-2$ мм; $\gamma = (+4-(-40))^\circ$ $\alpha = 3-7^\circ$ ; $J_{\text{ст}} = 10000-40000$ Н/мм
Шлифование чистовое	$Ra = 92,5 \frac{s_{\text{пр}}^{0,39} s_{\text{рад}}^{0,05} i^{0,012} K^{0,06}}{v^{0,23} H^{0,04} J_{\text{ст}}^{0,98}};$ $R_p = 766 \frac{s_{\text{пр}}^{0,28} s_{\text{рад}}^{0,11}}{v^{0,16} i^{0,06} H^{0,53} J_{\text{ст}}^{1,16} K^{0,08}};$ $S_m = 0,002 \frac{v^{0,27} s_{\text{рад}}^{0,08} i^{0,29} H^{0,19} K^{0,62}}{s_{\text{пр}}^{0,02} J_{\text{ст}}^{0,33}}$	Обрабатываемый материал – сталь 40X; $v = 20-50$ м/с; $s_{\text{пр}} = (0,5-1)$ В; $s_{\text{рад}} = 0,05-0,1$ мм/дв. ход; $i = 1-5$ ; $H = \text{СТ}2-5, \text{М}3-3$ ; $K = 16-40$ ; $J_{\text{ст}} = 8000-30000$ Н/мм
Хонингование	$Ra = 0,028 \frac{\tau_1^{0,16} p_1^{0,03} p_2^{0,34} f^{0,4} A^{0,09}}{10^{1,35} v_1^{0,04} v_2^{0,33} v_2^{0,11}};$ $R_p = 0,024 \frac{\tau_1^{0,19} \tau_2^{0,04} p_1^{0,04} p_2^{0,34} f^{0,43} A^{0,08}}{10^{1,9} v_1^{0,05} v_2^{0,23}};$ $S_m = 0,017 \frac{\tau_1^{0,1} p_2^{0,16} f^{0,37} A^{0,3}}{v_2^{0,36} \tau_2^{0,17} 10^{0,8}}$	Обрабатываемый материал – сталь ШХ15; $Ra_{\text{исх}} = 0,5$ мкм; Обработка брусками из электрокорунда зернистостью 50/40 на керамической связке; СОЖ – на основе керосина; $v_1 = 26-75$ м/мин; $v_2 = 50-150$ м/мин; $p_1 = (5-15)10^5$ Па; $p_2 = (3-10) \cdot 10^5$ Па; $f = 1300-1900$ мин <sup>-1</sup> ; $A = 1-2$ мм; $\tau = 5-10$ с. Характеристики шероховатости поверхности деталей после алмазного хонингования чугуна и стали представлены в табл. П8

1	2	3
Плоские поверхности		
Торцовое фрезерование чистовое	$Ra = 4,83 \frac{s_z^{1,69} t^{0,15}}{v^{1,23} \rho^{0,14} \gamma^{0,46}};$ $R_p = 87,3 \frac{s_z^{1,15}}{v^{1,27} \rho^{0,24} \gamma^{0,62}};$	Обрабатываемый материал – сталь ШХ15; $s_z = 0,08-0,5$ мм/зуб; $t = 0,3-1,8$ мм; $v = 18-44$ м/мин; $\rho = 0,5-2$ мм; $\gamma = (5-20)^\circ$
Строгание чистовое	$Ra = 37,3 \frac{s^{1,93} \gamma^{0,37}}{v^{0,11} t^{0,12} \rho^{0,8}};$ $R_p = 131,42 \frac{s^2 \gamma^{0,15}}{v^{0,13} t^{0,29} \rho^{0,8}}$	Обрабатываемый материал – сталь ШХ15; $s = 0,25-0,5$ мм/дв. ход; $v = 5,6-22$ м/мин; остальные параметры ( $t, \rho, \gamma$ ) – как и при фрезеровании
Точение торцовое	$Ra = 10,88 \frac{s^{1,69} \gamma^{0,59}}{\rho^{0,3}};$ $R_p = 58,8 \frac{s^{1,49} \gamma^{0,36}}{\rho^{0,35}}$	Обрабатываемый материал – сталь ШХ15; $s = 0,1-0,5$ мм/об; остальные параметры ( $\rho, \gamma$ ) – как и при фрезеровании
Шлифование чистовое	$Ra = 0,27 \frac{K^{0,48} v^{0,27} s^{0,8} t^{0,13}}{i^{0,11}};$ $R_p = 2,28 \frac{K^{0,29} v^{0,2} s^{0,32} t^{0,12}}{i^{0,13}}$	Обрабатываемый материал – сталь 12ХНЗА; $v = 0,21-0,37$ м/с; $s_{\text{ноп}} = 3-6$ мм/ход; $t = 0,01-0,04$ мм; $i = 1-5$ ; $K = 46-100$
Шлифование отделочное	$y_i = Ra(R_p, S_m) = H^c k_0 K^{k_1} v^{k_2} s^{k_3} t^{k_4}$	Обрабатываемый материал и значения коэффициентов $s, k_0-k_4$ для алмазных и абразивных кругов приведены в табл. П19. Для связки С2 $H = 2$ , для СМ2 $H = 1$

1	2	3
Накатывание шариковыми головками	$Ra = k_0 \frac{Ra_{исх}^{k_1} s_{пр}^{k_3} 10^{k_2}}{p^{k_2} i^{k_4} v^{k_5}};$ $R_p = k_0 \frac{R_{pисх}^{k_1} s_{пр}^{k_3} 10^{k_2}}{p^{k_2} i^{k_4} v^{k_5}}$	$s_{пр} = 13-42$ мм в минуту на один деформирующий элемент; $p = 200-600$ МПа; $i = 1-3$ ; $D = 90$ мм, $v = 14-70$ м/мин. Значения $k_0-k_5$ приведены в табл. П10
Вибронакатывание	$Ra = k_0 \frac{Ra_{исх}^{k_1} s_{пр}^{k_3}}{p^{k_2} i^{k_4}};$ $R_p = k_0 \frac{R_{pисх}^{k_1} s_{пр}^{k_3}}{p^{k_2} i^{k_4}}$	Значения коэффициентов $k_0-k_4$ при обработке различных материалов представлены в табл. П11

Обозначения:  $s$  – подача;  $v$  – скорость резания;  $\rho$  – радиус при вершине резца;  $\gamma$  – передний угол;  $B$  – ширина круга;  $s_{рад}$  – радиальная подача;  $i$  – число выхаживаний;  $K$  – зернистость круга;  $H$  – твердость круга;  $J_{ст}$  – жесткость станка;  $s_{пр}$  – продольная подача;  $P$  – сила прижима;  $p$  – давление бруска;  $v_d$  – скорость вращения детали;  $\tau$  – время обработки;  $Ra_{исх}$  – исходная шероховатость;  $\alpha_1$  – угол атаки;  $D$  – диаметр шарика;  $\sigma$  – давление в контакте;  $I$  – сила тока;  $\delta$  – зазор между полюсниками и деталью;  $B_1$  – магнитная индукция;  $\phi$  – задний угол вдавливания;  $\rho_p$  – радиус закругления ролика;  $t$  – глубина резания;  $\alpha$  – задний угол;  $v_1$  и  $v_2$  – скорости вращательного движения при черновом и чистовом хонинговании соответственно;  $f$  – частота колебаний;  $A$  – амплитуда колебаний;  $R_p$  – высота наибольшего профиля – расстояние от средней линии до высшей точки профиля в пределах базовой длины.

## Коэффициенты при полустачковом и чистовом точении

Сталь	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
Ст. 3	0,01	0,65	0,6	0,5	1,9
20	41,8	0,75	0,55	1,38	0,25
45	7,0	0,85	0,65	0,36	0,15
70	5,8	1,1	0,68	0,15	0,45

Таблица П3

## Коэффициенты при тонком точении

Марка обрабатываемого материала	Определяемый параметр	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
Сталь 45 (48 HRC)	$R_a$	0,16	0,59	0,29	0,19	0,66
	$R_p$	0,82	0,69	0,33	0,08	0,52
	$S_m$	0,81	1,34	-0,19	0	0,1
Сталь У10А (62 HRC)	$R_a$	0,68	0,77	0,28	0,24	0,56
	$R_p$	0,77	0,75	0,24	0,09	0,62
	$S_m$	0,74	1,2	0,12	0	0,08
Композиционные материалы						
СНГН	$R_a$	0,43	0,54	0,19	0,33	0,49
	$R_p$	0,65	0,69	0,29	0,07	0,47
	$S_m$	0,96	0,96	0,32	0	0,22
BK15	$R_a$	0,36	0,64	0,33	0,19	0,44
	$R_p$	0,59	0,78	0,31	0,14	0,76
	$S_m$	0,68	1,32	0,21	0	0,19
Высокопрочный чугун	$R_a$	6,0	0,28	0,2	0,21	0
	$R_p$	8,36	0,24	0,2	0,12	0
	$S_m$	0,063	0,01	0,03	-0,04	0

Параметры шероховатости поверхностей деталей  
при суперфинишировании

Материал брусков, связка, СОЖ	Зернистость брусков	Время обра- ботки, мин	$R_a$ , мкм	$R_{max}$ , мкм	$\delta$	$\nu$	$\rho$ , мкм
1	2	3	4	5	6	7	8
Сталь ШХ15							
Эльбор; связка метал- лическая; специаль- ная жидкость ПТОБ	50/40	5	0,32	2,2	3,7	2,4	34
	M28/20	2	0,057	0,32	4,2	3,1	90
	M28/20	5	0,025	0,12	4,8	1,72	180
Эльбор; связка метал- лическая; 80 % керо- сина и 20 % веретен- ного масла	50/40	5	0,22	1,4	3,6	1,81	22
	M28/20	2	0,062	0,48	7,1	2,16	17
	M28/20	5	0,043	0,33	5,0	1,64	34
Эльбор; связка бакели- товая; 80 % керосина и 20 % веретенного масла	50/40	5	0,057	0,42	3,5	1,78	30
	M28/20	5	0,05	0,33	1,41	0,9	38
Эльбор; связка метал- лическая; специаль- ная жидкость ПТОБ	50/40	5	0,05	0,26	5,4	1,98	40
	M28/20	2	0,04	0,17	4,24	1,52	188
	M28/20	5	0,032	0,11	1,64	1,64	237
Сталь 30X13							
Эльбор; связка метал- лическая; 80 % керо- сина и 20 % веретен- ного масла	50/40	5	0,31	1,5	2,0	1,55	18
	M28/20	2	0,072	0,52	2,7	1,5	28
	M28/20	6	0,067	0,3	5,0	1,64	130
Эльбор; связка бакели- товая; 80 % керосина и 20 % веретенного масла	50/40	5	0,064	0,39	2,4	1,53	40
	M28/20	5	0,061	0,4	2,82	1,44	56
Эльбор; связка метал- лическая; специаль- ная жидкость ПТОБ	50/40	5	0,34	3,3	3,6	1,97	30
	M28/20	2	0,063	0,49	4,7	1,7	77
	M28/20	5	0,03	0,3	5,1	1,55	162

1	2	3	4	5	6	7	8
Эльбор; связка бакелитовая; специальная жидкость ПТОБ	50/40	5	0,052	0,2	2,2	1,6	36
	M28/20	2	0,05	0,25	4,5	1,55	154
	M28/20	5	0,04	0,2	8,3	1,65	196

**Примечание.** Условия обработки: частота колебания брусков 2800 дв. ход/мин; амплитуда колебаний брусков – 3 мм; давление брусков – 0,2 МПа; скорость вращения детали – 35 м/мин; продольная подача – 0,7 м/мин.

Параметры  $b$  и  $v$  относительной опорной длины профиля  $t_p$  входят в зависимость  $t_p = b \left( \frac{P}{R_{\max}} \right)^v$  при  $0 \leq \frac{P}{R_{\max}} \leq 0,4$ .

Таблица П5

Коэффициенты в уравнениях при полировании лентами «конечной» длины

Марка обрабатываемого материала	Определяемый параметр	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
Сталь 45 (56–62 HRC)	$Ra$	1,01	0,81	-0,01	0,33	0,1	0,2
	$Rz$	1,07	0,75	0,37	0,41	-0,01	0,24
	$R_p$	0,45	0,52	0,34	0,33	0,11	0,2
	$S_m$	56,3	-41,3	-0,15	5,1	0	-0,17
Сталь 30ХГСА (30–35 HRC)	$Ra$	0,49	1,17	0,47	0	0,14	0,24
	$Rz$	3,4	1,8	0,12	0,46	0,35	0,27
	$R_p$	2,31	1,14	0,25	0,44	0,25	0,2
	$S_m$	34,8	-28,4	0	0,81	0	0,18

Параметры шероховатости при полировании лентами  
«бесконечной» длины

Характеристика лент	$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм	$R_p$ , мкм	$S_m$ , мкм	Характеристика лент	$R_a$ , мкм	$R_z$ , мкм	$R_p$ , мкм	$S_m$ , мкм
АС2 80/63-Р14	0,29	1,6	1,12	0,036	КО 80/63-Р9	0,46	1,80	1,26	0,032
АС2 80/63-Р9	0,27	1,20	0,90	0,036	КО 80/63-Р1	0,30	1,60	1,39	0,030
АС2 80/63-Р1	0,14	0,76	0,39	0,028	Э9 (водостойкая)	0,45	2,30	1,20	0,050
АС2 63/50-Р9	0,14	0,82	0,42	0,030	АС2 80/63-Р9	0,03	0,14	0,07	0,022
АСМ 40/28-Р9	0,09	0,48	0,21	0,025	АСМ 40/28-Р9				
КО 80/63-Р14	0,52	2,50	1,40	0,040	АСМ 10/7-Р9	0,012	—	—	—

**Примечание.** Условия обработки: обрабатываемый материал – сталь ШХ15, 58–62 HRC;  $R_{a_{исх}} = 0,8–1,0$  мкм; скорость ленты 34 м/с; скорость вращения детали 20 м/мин; давление  $2,4 \cdot 10^5$  Па; время обработки 50 с.

Таблица П7

Коэффициенты в формулах при обкатывании роликом

Сталь	Определяемый параметр	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20	$R_a$	139,4	-0,18	0,3	0,5	-0,28	-0,18	-1,15	0,97	0,33	0
	$v$	7,6	20,20	-0,28	0,32	-0,61	0,58	-0,55	0,46	0,60	0,40
	$b$	0,02	0,24	-0,08	1,13	0,19	0	0,46	-0,42	-0,19	-0,05

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
45	<i>Ra</i>	228,6	-0,11	0,47	-0,78	-0,22	-0,26	-1,15	0,86	0,27	0
	<i>v</i>	0,4	-0,07	-0,12	0,31	-0,3	0,27	-0,29	0,66	0,02	0,27
	<i>b</i>	0,04	0,16	-0,08	0,12	0,12	0	0,58	-0,62	-0,11	-0,04
70	<i>Ra</i>	287,0	0	0,5	-0,75	-0,38	-0,21	-1,27	1,05	0,39	0
	<i>v</i>	0,21	-0,08	-0,11	0,30	-0,11	0,75	-0,33	0,77	0,07	0,23
	<i>b</i>	0,08	0,06	-0,11	0,11	0,17	0	0,61	-0,72	-0,16	0,06

**Примечание:** *v* и *b* – параметры аппроксимации начального участка опорной кривой.

Таблица П8

## Характеристики шероховатости после алмазного хонингования

Характеристика бруска	Обрабатываемый материал	<i>Ra</i> , мкм	<i>v</i>	<i>b</i>
АС4 80/63 М1-100 %	Чугун СЧ 21	1,65	1,85	1,1
АС4 50/40 М1-100 %		1,55	1,1	1,65
АС4 28/20 М1-100 %		0,47	0,35	0,6
АС4 80/63 М1-100 %	Сталь 45	1,2	2,65	1,83
АС4 50/40 М1-100 %		0,35	1,48	1,88
АС4 50/40 М1-100 %		0,15	0,66	1,14

## Коэффициенты в формулах для шлифования

Сталь	Определяемый параметр	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$c$
20X, 54–60 HRC	$R_a$	$\frac{0,01}{0,007}$	$\frac{0,46}{1,08}$	$\frac{0,1}{0,21}$	$\frac{0,54}{0,4}$	$\frac{-0,07}{-0,15}$	$\frac{-0,42}{0}$
	$R_p$	$\frac{0,06}{0,008}$	$\frac{0,32}{1,16}$	$\frac{0,1}{0,42}$	$\frac{0,62}{0,36}$	$\frac{-0,11}{0,06}$	$\frac{0,08}{0}$
	$S_m$	$\frac{7 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-4}}$	$\frac{0,26}{0,73}$	$\frac{0,01}{0,01}$	$\frac{0,22}{0,27}$	$\frac{-0,12}{-0,01}$	$\frac{0,87}{0}$

**Примечание.** В числителе – при шлифовании абразивным кругом, в знаменателе – алмазным.

Таблица П10

## Коэффициенты в формулах при накатывании шариковыми головками

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$
Чугун СЧ 21	$R_a$	3,43	0,99	0,90	0,20	0,02	0
	$R_p$	3,14	0,93	0,96	0,26	0,03	-0,02
Сталь 40X (30–32 HRC)	$R_a$	8,07	0,77	0,65	0,10	0,21	0,09
	$R_p$	17,42	0,64	0,81	0,10	0,21	0,09
Сталь 40X (40–42 HRC)	$R_a$	12,15	0,80	0,75	0,03	0,03	0,02
	$R_p$	17,83	0,77	0,89	0,06	0,07	0,03

## Коэффициенты в формулах при вибронакатывании

Обрабатываемый материал	Определяемый параметр	$K_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$
Чугун СЧ 21	$Ra$	48,67	1,01	0,72	-0,29	0,19
	$R_p$	0,57	0,90	0,78	0,41	0,16
Сталь 40X (30–32 HRC)	$Ra$	6,58	0,87	0,99	0,23	0,09
	$R_p$	1,81	0,82	0,90	0,41	0,14
Сталь 40X (40–42 HRC)	$Ra$	7,0	0,90	0,82	0,17	0,09
	$R_p$	8,5	0,92	1,03	1,03	0,10

Таблица П12

## Параметры поперечной волнистости

Метод обработки	$W_z$ , мкм	$S_w$ , мкм	$\frac{S_w}{W_z}$	$\frac{S_n}{Rz}$	$r_{wn}$ , мм
1	2	3	4	5	6
Шлифование					
Внутреннее	$\frac{0,6 - 4,5}{1 - 3}$	$\frac{500 - 1400}{450 - 1400}$	$\frac{100 - 1350}{120 - 450}$	$\frac{3,4 - 2,4}{3,5 - 18}$	$\frac{10 - 80}{5 - 400}$
Круглое	$\frac{0,75 - 3}{0,5 - 7,5}$	$\frac{250 - 500}{550 - 1000}$	$\frac{165 - 400}{80 - 1850}$	$\frac{4,8 - 24}{6,5 - 22}$	$\frac{10 - 25}{10 - 100}$
Плоское	$\frac{1,25 - 13}{0,8 - 4}$	$\frac{750 - 1400}{500 - 900}$	$\frac{100 - 700}{200 - 800}$	$\frac{3 - 20}{4,5 - 35}$	$\frac{15 - 50}{20 - 80}$
Растачивание	$\frac{2,0 - 3,5}{0,5 - 10}$	$\frac{1000 - 1500}{400 - 1000}$	$\frac{300 - 750}{40 - 850}$	$\frac{15 - 55}{5 - 50}$	$\frac{15 - 55}{5 - 50}$
Строгание	$\frac{2 - 6}{0}$	$\frac{400 - 1700}{-}$	$\frac{200 - 350}{-}$	$\frac{5,7 - 25}{-}$	$\frac{10 - 30}{-}$
Хонингование	$\frac{0,1 - 0,8}{-}$	$\frac{150 - 700}{-}$	$\frac{200 - 7000}{-}$	$\frac{9 - 45}{-}$	$\frac{2,5 - 40}{-}$

1	2	3	4	5	6
Развертывание	$\frac{0,5-4}{-}$	$\frac{300-500}{-}$	$\frac{100-1000}{-}$	$\frac{6,5-90}{-}$	$\frac{5-50}{-}$
	-	-	-	-	-
Полирование	$\frac{0,3-1,5}{-}$	$\frac{150-350}{-}$	$\frac{200-500}{-}$	$\frac{60-220}{-}$	$\frac{10-25}{-}$
	-	-	-	-	-
Доводка поверхностей					
Плоских	$\frac{0,1-0,35}{-}$	$\frac{60-100}{-}$	$\frac{300-600}{-}$	$\frac{45-125}{-}$	$\frac{5-10}{-}$
	-	-	-	-	-
Цилиндрических	$\frac{0,05-0,15}{-}$	$\frac{35-120}{-}$	$\frac{400-700}{-}$	$\frac{25-200}{-}$	$\frac{2,5-10}{-}$
	-	-	-	-	-
Растачивание	$\frac{-}{0,5-10}$	$\frac{-}{400-1000}$	$\frac{-}{40-850}$	$\frac{-}{4-13}$	$\frac{-}{5-50}$
	-	-	-	-	-
Торцовое фрезерование	$\frac{-}{2,5}$	$\frac{-}{800}$	$\frac{-}{300}$	$\frac{-}{22}$	$\frac{-}{85}$
	-	-	-	-	-
Точение	$\frac{-}{1}$	$\frac{-}{1000}$	$\frac{-}{1000}$	$\frac{-}{30}$	$\frac{-}{50}$
	-	-	-	-	-

**Примечание.** В числителе приведены параметры, полученные при обработке стальных деталей, в знаменателе – чугунных.

Таблица П13

## Параметры продольной волнистости

Вид обработки	$W_z$ , мкм	$S_{Wz}$ , мкм	$\frac{S_w}{W_z}$	$\frac{S_n}{Rz}$	$r_{wn}$ , мм
1	2	3	4	5	6
Плоское шлифование	$\frac{1,2-12}{1,3-9}$	$\frac{2,4-3,5}{1,8-2,3}$	$\frac{280-2900}{200-1770}$	$\frac{60-800}{42-340}$	$\frac{30-350}{40-200}$
	-	-	-	-	-
Строгание	$\frac{1-12}{12}$	$\frac{1-5}{1,65}$	$\frac{320-1000}{140}$	$\frac{30-128}{9,5}$	$\frac{40-100}{20}$
	-	-	-	-	-
Цилиндрическое фрезерование	$\frac{7,5-40}{7,5-30}$	$\frac{1,7-3,4}{1,6-2,5}$	$\frac{60-270}{83-267}$	$\frac{14,5-20}{10,5-45}$	$\frac{5-45}{10-60}$
	-	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6
Протягивание	<u>0,4 – 3</u> –	<u>0,7 – 0,9</u> –	<u>300 – 1750</u> –	<u>12 – 50</u> –	<u>20 – 80</u> –
Доводка плоских поверхностей	<u>0,25 – 0,5</u> –	<u>1 – 1,5</u> –	<u>2000 – 6000</u> –	<u>750 – 1000</u> –	<u>150 – 850</u> –

**Примечание.** В числителе приведены параметры, полученные при обработке стальных деталей, в знаменателе – чугуновых.

Таблица П14

**Влияние вида обработки на физические свойства  
поверхностных слоев**

Вид обработки	Степень наклепа = Н поверхности / Н сердцевины	Глубина наклепа, мм
<b>Точение</b>		
Обычное и скоростное	120–150	30–50
Тонкое	140–180	20–60
<b>Фрезерование</b>		
Торцовое	140–160	40–100
Цилиндрическое	120–140	40–80
Сверление и зенкерование	160–170	180–200
Развертывание	–	150–200
Протягивание	150–200	20–75
Зубофрезерование и зубодолбление	160–200	120–150
Шевингование зубьев	–	До 100
<b>Шлифование</b>		
Круглое деталей из сталей:		
Незакаленной углеродистой	140–160	30–60
Низкоуглеродистой	160–200	30–60
Закаленной	125–130	20–40
Плоское	150	16–35

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Практическая работа № 1</i>	
Анализ теоретических схем базирования. . . . .	3
<i>Практическая работа № 2</i>	
Определение погрешности базирования при обработке заготовок методом автоматического получения размеров. . . . .	24
<i>Практическая работа № 3</i>	
Графоаналитический метод выбора схемы базирования. . . . .	54
<i>Практическая работа № 4</i>	
Выбор величины параметров шероховатости, методов обработки и режимов резания в зависимости от условий эксплуатации деталей. . . . .	77
<i>Практическая работа № 5</i>	
Расчет точности и жесткости вспомогательного инструмента. . . . .	126
<i>Практическая работа № 6</i>	
Формирование конструкторско-технологического кода деталей. . . . .	152
<i>Практическая работа № 7</i>	
Определение погрешности обработки от совместного влияния отжатый в системе СПИД и размерного износа инструмента. . . . .	166
ПРИЛОЖЕНИЕ. . . . .	181

Учебное издание

## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Сборник практических работ

В 4 частях

Часть 2

Составители:

БЕЛЯЕВ Геннадий Яковлевич

МОРГУН Юлия Владимировна

РОМАНОВСКИЙ Андриан Ольгердович и др.

Редактор Т.Н. Микулик

Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

---

Подписано в печать 11.11.2011.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 11,57. Уч.-изд. л. 9,04. Тираж 300. Заказ 45.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.