



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ**  
**ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»**  
**(БГТУ)**

Политехнический колледж (ПК БГТУ)

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ПК БГТУ  
*Ма* В.М. Малашенко  
« 30 » 08 2019 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
по изучению учебной дисциплины  
**ОП.01 Технологии автоматизированного машиностроения**

Специальность:	<b>15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям)</b>
Уровень образования выпускника:	среднее профессиональное образование (СПО)
Присваиваемая квалификация:	техник
Форма обучения:	очная
Срок получения СПО по ППССЗ:	2 года 10 месяцев
Уровень образования, необходимый для приема на обучение по ППССЗ:	среднее общее образование

Брянск 2019

**Методические рекомендации**  
по изучению учебной дисциплины  
ОП.01 Технологии автоматизированного машиностроения для специальности  
15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и  
производств (по отраслям) (далее — МР)

Разработал(и):

- преподаватель ПК БГТУ



Е. В. Симонян

Рассмотрены и одобрены на заседании  
предметно-цикловой комиссии «Автоматизация  
технологических процессов и производств»  
(далее — «АТПП») ПК БГТУ (далее — ПЦК)

от « 29 » 08 2019 г., протокол № 1

Председатель ПЦК



В. Н. Копелиович

Согласовано:

Заместитель директора ПК БГТУ  
по учебно-методической работе



Т.Е.Балашова

© Е.В. Симонян  
© ФГБОУ ВО «Брянский государственный  
технический университет»

## СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация	3
Общие указания к выполнению работ	4
Практическая работа №1	5
Расчет погрешностей при измерениях	
Практическая работа №2	7
Косвенные измерения и их погрешности	
Практическая работа №3	8
Изучение электромеханических амперметров различных систем	
Практическая работа №4	11
Изучение электромеханических вольтметров различных систем	
Практическая работа №5	13
Расчет шунтов и добавочных сопротивлений	
Практическая работа №6	16
Определение цены деления и показаний приборов расчетным путем	
Практическая работа №7 Измерение параметров полупроводниковых диодов и транзисторов.	19
Практическая работа №8 Расчет $h$ -параметров и характеристик транзистора	22
Литература	27
Приложения	28

## АННОТАЦИЯ

Для закрепления теоретических знаний и получения практических навыков предусматривается проведение практических работ.

Целью практических работ является прививание учащимся навыков самостоятельной работы с технической и справочной литературой, самостоятельного изучения некоторых несложных вопросов программы.

Автор цикла практических работ – Копелиович В.Н. - преподаватель Брянского политехнического колледжа.

Цикл практических работ разработан в соответствии с примерной программой для средних специальных учебных заведений, и предназначен для реализации государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальностям среднего профессионального образования базового уровня, и является единой для всех форм обучения.

Методические указания к циклу практических работ состоят из следующих частей:

- 1.Аннотация.
- 2 Содержание.
- 3.Общие указания к выполнению работ.
- 4.Лабораторные или практические работы.
- 5.Литература.
- 6.Приложения.

Практические работы выполняются учащимися в учебное время, отведенное для изучения предмета.

## **Общие указания к выполнению практических работ**

Перед началом выполнения практической работы внимательно ознакомьтесь с заданием.

Практическая работа выполняется на листах со штампом. Для первого листа практической работы предусмотрена основная надпись и дополнительные графы к ней по форме 2 ГОСТ 2.104-68 (см. приложение 1). Для последующих листов необходимо применять форму 2а (см. приложение 2).

Все практические работы оформляются в один журнал. На титульном листе журнала должны быть указаны: название предмета, группа и фамилия студента. Пример оформления титульного листа приведен в приложении (см. приложение 3).

Отчет по практической работе должен содержать по ГОСТу и вывод цель работы; исходные данные; решение; необходимые схемы, выполненные

## Лабораторная работа №1

Тема: Влияние условий закрепления тонкостенных деталей на точность обработки при точении

**Цель работы:** исследование влияния способа и условий закрепления нежестких деталей на точность их механической обработки.

### 1. Теоретические сведения

Токарная обработка является основным способом формообразования цилиндрических деталей в широком диапазоне точности размеров и шероховатости поверхности. Для большинства цилиндрических деталей, имеющих сплошное сечение, или трубчатых с большой толщиной стенок, которые условно считаются жесткими, высокий уровень точности и показателей качества поверхности обеспечивается за счет эксплуатационных возможностей оборудования и назначения соответствующих режимов обработки. Однако существует категория деталей, широко используемых в машиностроении, конфигурация которых характеризуется критичным соотношением формообразующих размеров, вследствие чего их высокопроизводительная обработка затруднена из-за появления вибраций, а точность снижается от остаточных деформаций. Такие детали условно называют нежесткими.

Использование нежестких деталей определяется, во-первых, конструктивно заложенной в машинах необходимостью в упругих устройствах, где нежесткие элементы служат кинематическими и динамическими звеньями, а, во-вторых, постоянным стремлением к экономии материальных ресурсов и снижению массы изделий. Нежесткие детали первой группы обычно выполняют функции упруго-деформирующих, компенсационных, виброизолирующих, несущих элементов в разнообразных узлах и устройствах машин. Особенность их конструкции количественно может быть описана

соотношением основных размеров. Так, например, гладкие и ступенчатые валы, относящиеся к категории нежестких, характеризуются соотношением длины и диаметра  $L/D \geq 10$ , а детали трубчатой формы — соотношением толщины стенки и наружного диаметра  $h \leq 0,05D$ . Тонкостенные трубчатые детали в технике также классифицируются как гильзы при многократном превышении длины над диаметром  $L \gg D$  и кольца при соотношении длины и диаметра  $L \leq 2D$ .

Одной из причин технологических проблем при механической обработке тонкостенных колец являются упругие деформации сечений в местах действия сил закрепления, которые приводят к снижению точности, повышению трудоемкости при многопроходном снятии припуска. Поэтому при проектировании технологии токарной обработки тонкостенных колец приходится учитывать их конструктивные особенности путем эмпирического назначения режимов обработки и использования специальных способов закрепления. Интенсификация режимов обработки для повышения производительности приводит к возрастанию сил резания и требует более надежного закрепления заготовки для обеспечения ее неподвижности. Увеличение же сил закрепления приводит к большим деформациям заготовки в местах их приложения, которые снижают точность формы и размеров детали после снятия со станка вследствие упругого восстановления. Следовательно, условия закрепления и режимы токарной обработки должны увязываться с заданной точностью размеров и формы поверхности тонкостенных колец.

В качестве основных приспособлений для токарной обработки широко используются самоцентрирующие трехкулачковые патроны, обеспечивающие необходимую точность базирования и прочность закрепления заготовок. В общем случае силовая характеристика патрона и прочность крепления заготовок описывается уравнениями моментов, сил резания и трения, физическая сущность которых сводится к обоснованному назначению режимов резания и условий закрепления заготовки,

обе. Схема возникновения погрешности обработки, обусловленной деформацией кольца при закреплении тремя кулачками патрона, приведена на рис. 1. Тонкостенное кольцо закрепляется тремя радиальными силами  $P_3$ , проходящими через центры его поперечных сечений (рис. 1, а). В сжатом состоянии кольцо растачивается с целью получения цилиндрического отверстия определенного диаметра (рис. 1, б). Кольцо, снятое после обработки со станка, приобретает огранку с отклонением от круглости (рис. 1, в).

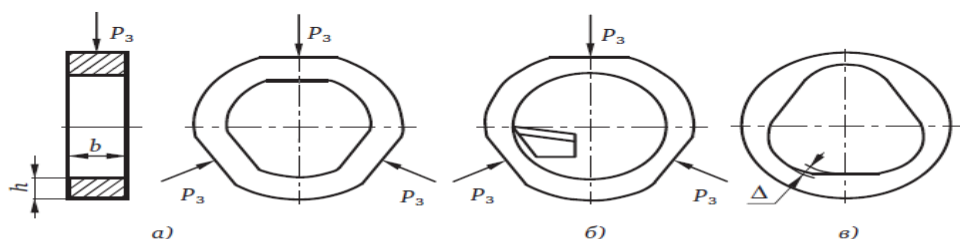


Рис. 1. Схема возникновения отклонения от круглости тонкостенного кольца из-за деформаций от закрепления:  
а — закрепление кольца до обработки; б — расточка внутренней поверхности; в — обработанное кольцо раскреплено

Величину отклонения от круглости внутренней поверхности кольца можно вычислить по формуле [1]

$$\Delta = CP_3 r^3 / (EI_x), \quad (2)$$

где  $C$  — коэффициент, зависящий от числа кулачков (для  $n = 3$  величина  $C = 0,03$ );  $P_3$  — сила закрепления в кулачке, Н;  $r$  — средний радиус кольца, мм,  $r = (D - h)/2$ ;  $E$  — модуль упругости материала кольца, для стали  $E = 2,1 \cdot 10^6$  Па;  $I_x$  — момент инерции поперечного сечения кольца, мм<sup>4</sup>, который определяется по формуле

$$I_x = bh^3/12, \quad (3)$$

где  $b$  — высота кольца,  $h$  — толщина кольца.



### 1. Характеристика трехкулачковых патронов

Диаметр патрона, мм	Максимальный крутящий момент на ключе, Н·м	Максимальное значение суммарной силы зажима на трех кулачках, Н
100	0,50	9000
125	0,75	17 000
160	1,25	25 000
200	1,60	30 000
250	1,80	45 000
315	2,00	55 000

### 2. Оборудование и материалы

1. Токарный станок.
2. Заготовка в виде кольца.
3. Динамометрический ключ.
4. Штангенциркуль с ценой деления 0,05 мм.
5. Расточной резец для расточки втулки.
6. Индикатор с ценой деления 0,01 мм, измерительная стойка.

### 3. Последовательность выполнения работы

1. Установить заготовку кольца в трехкулачковый патрон токарного станка и закрепить с помощью динамометрического ключа моментом  $M = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

2. Настроить положение расточного резца на минимальную глубину, обеспечивающую полную обработку внутренней поверхности заготовки, и расточить отверстие.

### 5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

3. С помощью динамометрического ключа увеличить крутящий момент до  $M = 30 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Измерить и записать в протокол:

- диаметр обработанной поверхности;

- биение внутренней поверхности.

4. Повторить эксперимент дважды с моментом закрепления заготовки 45 и 60 Н·м.

5. Рассчитать по формуле (2) теоретическую деформацию для всех вариантов закрепления заготовки в трехкулачковом

патроне, используя результаты измерения диаметра в каждом из опытов.

Нанести результаты измерения погрешности обработки и результаты теоретического расчета на график в координатах «сила закрепления»  $P_3$  — «погрешность обработки» □.

6. Снять заготовку. Установить в патрон станка разрезную втулку и закрепить с ее помощью заготовку. Повторить обработку внутренней поверхности и измерения в вышеперечисленной последовательности (п. 1—5).

7. Нанести на график результаты измерения погрешности обработки кольца в разрезной втулке.

#### **4. Содержание отчета**

Отчет должен быть выполнен в соответствии с требованиями по оформлению учебных работ и содержать:

- наименование и цель работы;
- эскиз обработки детали;
- расчеты деформации кольца для каждого варианта закрепления;
- график с расчетными и экспериментальными данными деформации кольца при различных условиях закрепления;
- предложения по применению способов закрепления заготовки в зависимости от необходимой точности ее обработки;
- выводы по работе.

#### **• Лабораторная работа №2**

**Цель работы:** Закрепление теоретических знаний в области влияния жесткости технологической системы СПИЗ на точность обработки.

#### **1. Основные сведения о жесткости технологической системы**

## станок — приспособление — инструмент — заготовка (СПИЗ)

При механической обработке станок, приспособление, обрабатываемая заготовка и режущий инструмент представляют собой замкнутую упругую систему, которую называют технологической системой.

В процессе обработки сила резания вызывает упругие отжатия элементов технологической системы. Величина отжатий зависит от силы резания и от способности технологической системы противостоять действующей силе, т.е. от жесткости технологической системы. Сила резания при выполнении операции изменяется в результате непостоянства снимаемого припуска, нестабильности механических характеристик материала заготовки и прогрессирующего затупления инструмента.

Нестабильность силы резания и жесткости элементов в их различных сечениях вызывает неравномерность упругих отжатий элементов системы, что приводит к появлению погрешностей формы обработанной поверхности у каждой детали и колебаний выполняемых размеров в партии деталей. Следовательно, точность обработки зависит от жесткости элементов технологической системы. Жесткость численно определяется отношением действующей силы к величине деформаций,

$$j = \frac{P_y}{y}.$$

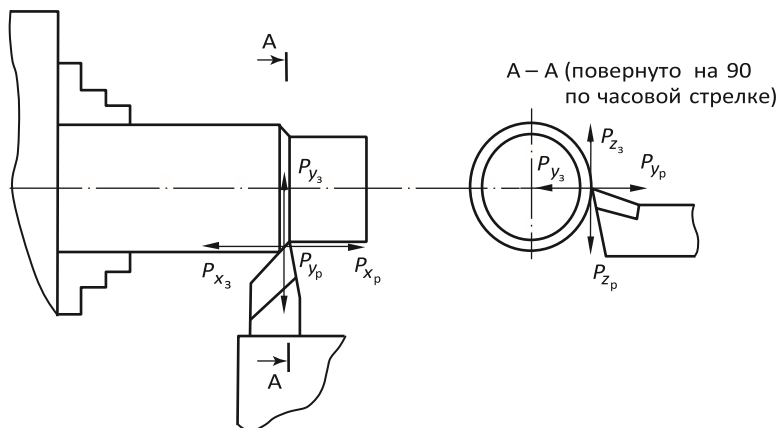
вызываемых этой силой.

Применительно к точности обработки наибольшее значение имеет составляющая силы резания, направленная по нормали к обрабатываемой поверхности. При принятых обозначениях составляющих силы резания это составляющая  $P_y$  (рис. 1).

Под жесткостью какого-либо элемента технологической системы (например шпиндельного узла станка) понимают отношение составляющей силы резания  $P_y$ , Н/м, к смещению данного элемента (шпинделя) в этом же направлении:

Упругие свойства характеризуются подталивостью системы

$$W = \frac{y}{P_y} = \frac{1}{j},$$



0

Рис. 1. Схема сил, действующих при точении на резец и заготовку:

$P_{y_з}$ ,  $P_{z_з}$ ,  $P_{x_з}$  — силы, действующие на заготовку;  $P_{y_p}$ ,  $P_{z_p}$ ,  $P_{x_p}$  — силы, действующие на резец

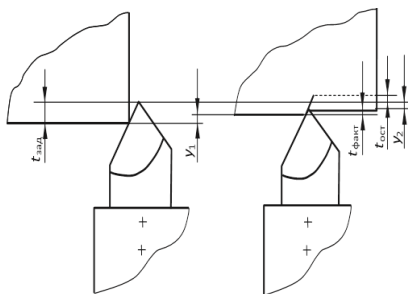


Рис. 4. Схема взаимного перемещения инструмента и заготовки при обработке: а — до начала обработки; б — в процессе обработки

## 2. Оборудование, приборы, инструменты, применяемые

### при выполнении работы

1. Токарно-винторезный станок.
2. Заготовка с размерами, указанными на рис. 5. 3. Микрометр.
4. Резец с пластинкой из твердого сплава и главным углом в плане 45°.

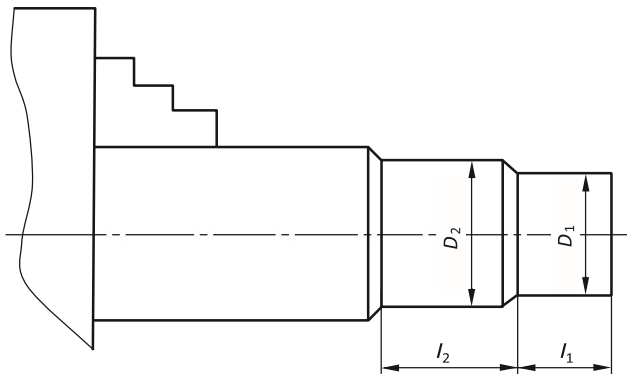


Рис. 5. Эскиз заготовки до обработки

### 3. Последовательность выполнения работы

Микрометром производится замер размеров диаметров  $D_1$  и  $D_2$  и определяется величина погрешности заготовки

$$\Delta_{\text{заг}} = \frac{D_2 - D_1}{2}.$$

Заготовка за один проход протачивается на участках  $l_1$  и  $l_2$  (при постоянной подаче и скорости резания (рис. 6). Поскольку на участках  $l_1$  и  $l_2$  удаляются различные припуски, силы резания на этих участках  $P_{y1}$  и  $P_{y2}$  будут различными, что приводит к появлению погрешности окончательно выполненного размера заготовки детали  $\Delta_{\text{дет}}$ :

$$\Delta_{\text{дет}} = \frac{d_2 - d_1}{2} = y_{\text{max}} - y_{\text{min}},$$

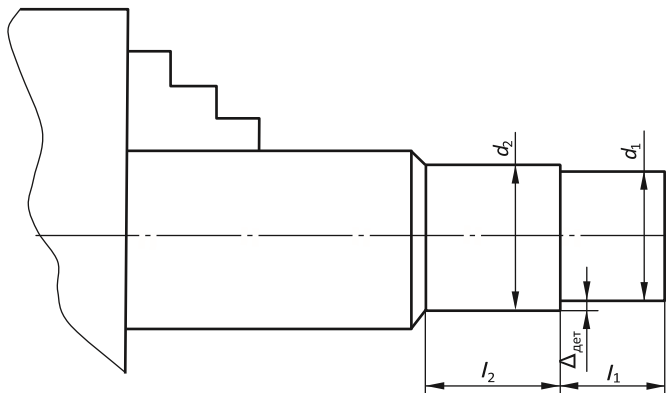


Рис. 6. Эскиз детали после окончательной обработки

где  $d_1$  и  $d_2$  — размеры, полученные после обработки соответственно на участках обработки  $l_1$  и  $l_2$ ;  $y_{\text{max}}$  и  $y_{\text{min}}$  — взаимное отжатие детали и инструмента на участках  $l_1$  и  $l_2$ .

Величина уступа  $\Delta_{\text{дет}}$  представляет собой погрешность обработки, вызванную дополнительным смещением заготовки относительно инструмента. Она возрастает с увеличением погрешности заготовки  $\Delta_{\text{заг}}$  и уменьшается с повышением жесткости станка (при постоянной погрешности заготовки  $\Delta_{\text{заг}}$ ).

Определение жесткости станка производственным методом производится по формуле (1), но вместо силы резания и смещения принимаются их изменения при различной глубине резания.

Нормальная составляющая силы резания  $P_y$  определяется по формулам, приведенным в справочниках технолога машиностроителя.

При обработке ступенчатой заготовки глубина резания изменяется от минимальной  $t_{\text{min}} = (D_1 - d_1)/2$  на участке  $l_1$  до максимальной  $t_{\text{max}} = (D_2 - d_2)/2$  на участке  $l_2$ . Соответственно меняется сила резания, в том числе ее составляющая  $P_y$ : от  $P_y$

$\min$  до  $P_y \max$ . Возникновение уступа на обработанной поверхности связано с увеличением  $P_y$ :

$$P_y = P_y \max - P_y \min .$$

Разность между  $u_{\max}$  и  $u_{\min}$  будет представлять собой погрешность где  $d_1$  и  $d_2$  — размеры, полученные после обработки соответственно на участках обработки I1 и I2;  $u_{\max}$  и  $u_{\min}$  — взаимное отжатие детали и инструмента на участках I1 и I2.

Величина уступа  $\Delta_{\text{дет}}$  представляет собой погрешность обработки, вызванную дополнительным смещением заготовки относительно инструмента. Она возрастает с увеличением погрешности заготовки  $\Delta_{\text{заг}}$  и уменьшается с повышением жесткости станка (при постоянной погрешности заготовки  $\Delta_{\text{заг}}$ ).

Определение жесткости станка производственным методом производится по формуле (1), но вместо силы резания и смещения принимаются их изменения при различной глубине резания.

Нормальная составляющая силы резания  $P_y$  определяется по формулам, приведенным в справочниках технолога машиностроителя.

При обработке ступенчатой заготовки глубина резания изменяется от минимальной  $t_{\min}=(D_1 - d_1)/2$  на участке I1 до максимальной  $t_{\max}=(D_2 - d_2)/2$  на участке I2. Соответственно меняется сила резания, в том числе ее составляющая  $P_y$ : от  $P_y \min$  до  $P_y \max$ . Возникновение уступа на обработанной поверхности связано с увеличением  $P_y$ :

$$\Delta P_y = P_y \max - P_y \min .$$

Разность между  $u_{\max}$  и  $u_{\min}$  будет представлять собой погрешность детали  $\Delta_{\text{дет}}$ . Жесткость станка определяется по формуле

$$j_{\text{ст}} = \frac{\Delta P_y}{y_{\text{max}} - y_{\text{min}}} = \frac{P_{y\text{max}} - P_{y\text{min}}}{\Delta_{\text{дет}}}.$$

#### 4. Содержание отчета

Отчет должен быть выполнен в соответствии с требованиями по оформлению учебных работ и содержать:

- наименование работы и ее цель;
- эскизы заготовки и детали после обработки с указанием размеров;
- наименование материала обрабатываемой заготовки и режущей части инструмента. Геометрические параметры резца;
- результаты замеров заготовки, детали и расчет по формуле (12);
- выводы по работе, содержащие сведения о жесткости техноло-гической системы СПИЗ.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Перечислите факторы, которые влияют на точность обработки деталей.
2. Что называется жесткостью технологической системы?
3. У какого станка жесткость больше, и почему:
  - а) нового;
  - б) изношенного.
4. Что называется податливостью технологической системы?
5. Назовите два метода определения жесткости системы СПИЗ.
6. Преимущества и недостатки каждого из методов определения жесткости?
7. Чем объясняется наличие гистерезиса при статическом нагружении и разгрузке?
8. Приведите примеры известных технологических решений по повышению жесткости оборудования.



### **Лабораторная работа № 3**

**Тема :** Исследование технологической наследственности при механической обработке деталей

Цель работы: ознакомление с понятием технологической наследственности и применением современного оборудования для исследования параметров состояния поверхностного слоя деталей машин после обработки.

#### **1. Основные теоретические сведения**

В процессе изготовления детали заготовки проходят несколько этапов: получение исходной заготовки, механическая, термическая, отделочно-упрочняющая обработка.

Каждый вид обработки обладает определенными способностями изменять не только форму и размеры заготовки, но и свойства металла, из которого она изготовлена. Так, при получении исходной заготовки (литьем, штамповкой, сваркой и т.д.) в ней возникают внутренние остаточные напряжения, которые не исчезают («наследуются») в ходе дальнейшей обработки.

В результате происходит наложение напряжений, получаемых на всех этапах технологического процесса, и готовая деталь может иметь совершенно не то состояние поверхностного слоя, которое должна была бы обеспечить финишная обработка. Такое явление принято называть технологической наследственностью

свойств и погрешностей, сформировавшихся у заготовки на отдельных операциях изготовления изделия.

Например, если в качестве исходной заготовки лопатки авиадвигателя используется штамповка, то дальнейшая электрохимическая обработка (сама по себе не вызывающая появления остаточных напряжений) не обеспечит получения наиболее работоспособной готовой лопатки без остаточных напряжений из-за явления технологической наследственности. В готовой лопатке сохранятся остаточные напряжения, возникшие при штамповке исходной заготовки.

При шлифовании грубо обточенной и закаленной до высокой твердости стальной заготовки шлифовальный круг создает на участках выступов микронеровностей поверхности тепловые удары, вызывающие мгновенный нагрев и структурные изменения металла поверхностного слоя.

При этом во время чистовых режимов шлифования на участках обработанной поверхности, расположенных под выступами неровностей токарной обработки, возникают зоны отпущенного металла пониженной твердости (рис. 1, а), а при напряженных режимах шлифования — зоны твердого металла, претерпевшего вторичную закалку (рис. 1, б).

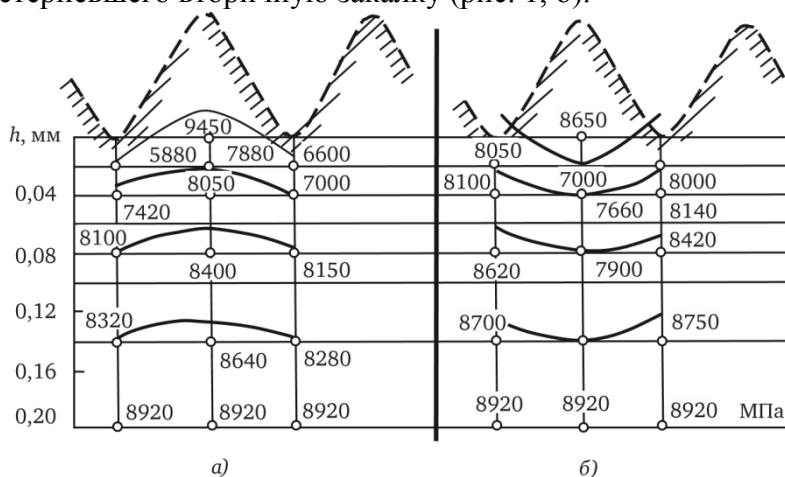


Рис. 1. Колебания микротвердости поверхности закаленной детали после чернового точения и шлифования:  $h$  — расстояние от поверхности

Исследованиями А.П. Дальского и А.С. Васильева установлено распределение микротвердости по поверхности образцов из коррозионно-стойкой стали X18H9T после лезвийной обработки. На рис. 2 представлены результаты измерений микротвердости малых площадок профиля, из которых видно, что микротвердость существенно изменяется, причем эти изменения носят периодический характер. Подобный характер распределения сохраняется и в глубь детали, но амплитуда колебаний постепенно уменьшается.

В обоих случаях на границах разных структур развиваются значительные остаточные напряжения, снижающие долговечность деталей. Обычные методы контроля, применяемые в механических цехах, не позволяют установить наличие таких дефектов, а растянутость во времени процесса разрушения детали позволяет ей благополучно пройти заводские испытания в изделии. Однако в процессе эксплуатации ее разрушение наступит значительно раньше расчетного срока службы.

При изготовлении длинных малоожестких валов возникает сложная проблема обеспечения прямолинейности оси вала. Обычно она решается с помощью рихтовки (правки). Однако из-за релаксации имеющихся в детали остаточных напряжений после рихтовки происходит ее постепенная деформация. В результате вал, полностью соответствующий чертежам и техническим требованиям и принятый контролером механического цеха сразу после его изготовления, поступив через некоторое время на сборку, оказывается вновь деформированным, причем величина деформации может превысить допустимую в десятки раз. Если такой вал снова отрихтовать и установить в изделие, то релаксация остаточных напряжений может вызвать увеличение нагрузок на опоры и их быстрый износ, снижение точности изделия и т.д. Причем все эти дефекты проявятся уже после испытания и сдачи собранного изделия.

Проявление технологической наследственности может привести как к улучшению (например, прочность накатанных зубьев выше, чем фрезерованных, так как при накатке формируется зуб с наиболее благоприятной структурой волокон металла, «наследуемой» готовой деталью после чистовой и окончательной обработки), так и к ухудшению эксплуатационных свойств деталей машин.

Наличие этого явления заставляет применять дополнительные меры (например, старение для снятия остаточных напряжений,

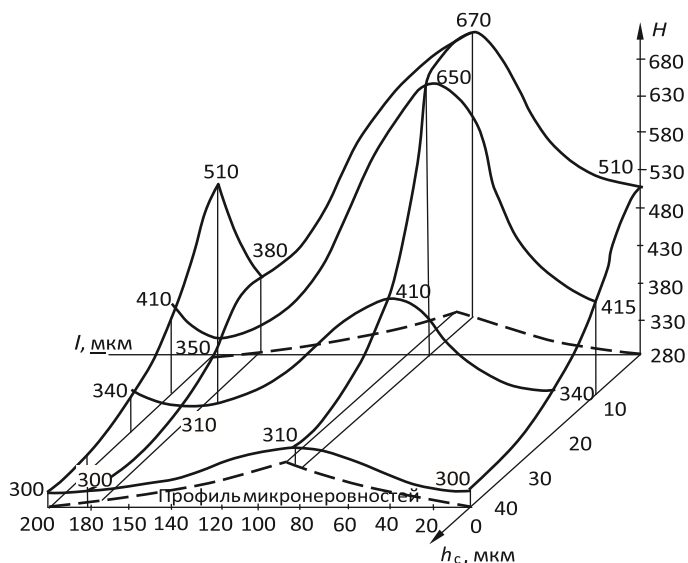


Рис. 2. Характерное распределение микротвердости вдоль профиля поверхности детали из стали X18H9T после лезвийной обработки:

$H_1$  — микротвердость поврежденного слоя;  $h_c$  — глубина наклепа;  $l$  — длина профиля

разделение технологического процесса на этапы) для обеспечения требуемых состояний поверхностного слоя, размеров и эксплуатационных свойств готовой детали и всего изделия. Припуски на обработку, последовательность выполнения операций устанавливают с учетом технологической наследственности так, чтобы сохранить у детали положительные качества или, наоборот, устранить отрицательные.

## 2. Оборудование и материалы

1. Прибор для измерения микротвердости ПМТ-3М.
2. Маркированные образцы из конструкционной стали с различными технологическими процессами обработки. Параметры шероховатости всех образцов идентичны.

3. Маршрутные описания технологических процессов изготовления каждого образца:

образец № 1: чистовое точение полирование; образец №2: чистовое точение упрочнение полирование; образец №3: чистовое точение шлифование полирование.

### **3. Последовательность выполнения работы**

Рабочая поверхность образцов была сошлифована под определенным углом и обработана притиркой. На каждом образце с помощью прибора ПМТ-3М необходимо провести измерения микротвердости по схеме, представленной на рис. 3. Результаты измерения диагоналей отпечатков по глубине поверхностного слоя всех имеющихся образцов свести в табл. 1.

1. Требуется рассчитать значения микротвердости HV по следующей формуле для каждого образца:

$HV = 0,1891mg/d^2$ , (1) где  $m$  — масса груза на инденторе;  $m = 0,050$  кг;  $g$  — ускорение свободного падения;  $d$  — средняя диагональ отпечатка индентора, мм.

2. Построить графики зависимости микротвердости от глубины слоя материала, определить глубину и степень наклепа (упрочнения) для каждого из образцов.

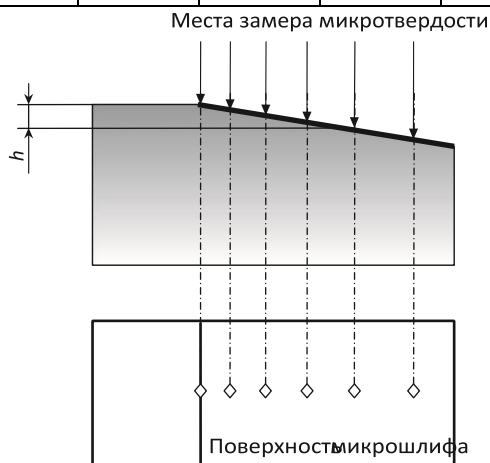
3. Объяснить полученные результаты, используя имеющиеся данные по технологическим процессам обработки каждого образца.

4. Сделать выводы о влиянии технологии предшествующей обработки заготовки на состояние поверхностного слоя готовой детали.

5. Ответить на контрольные вопросы.

#### **1. Исходные данные и результаты расчета микротвердости**

Глубина $h$ , мкм	Средняя диагональ отпечатка $d$ образца			Микротвердость HV образца		
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3
0						
50						
100						
150						
300						



**Рис. 3.** Схема замеров микротвердости на приборе ПМТ-3М

#### 4. Содержание отчета

Отчет должен быть выполнен в соответствии с требованиями по оформлению учебных работ и содержать:

- название и цель работы;
- эскизы образцов для исследования;
- схему замера микротвердости в соответствии с табл. 1;
- расчет микротвердости по формуле (1);
- графики зависимости микротвердости поверхностей образцов по глубине для каждого образца;
- сделать выводы по работе.

## 5. Контрольные вопросы

1. Что такое технологическая наследственность?
2. Почему при релаксации остаточных напряжений в детали происходит ее деформация?
3. Что дает разделение технологического процесса изготовления детали на черновой, чистовой и окончательный этапы?
4. Почему обычно применяемыми методами контроля нельзя обнаружить зоны пониженной твердости на поверхности детали?
5. Приведите примеры, когда явление технологической наследственности играет положительную роль.
6. Приведите примеры, когда явление технологической наследственности играет отрицательную роль.
7. Приведите примеры, когда в ходе технологического процесса стараются сохранить какие-либо свойства заготовки.
8. Приведите примеры, когда в ходе технологического процесса стараются устранить какие-либо свойства заготовки.

## Практическая работа 1.

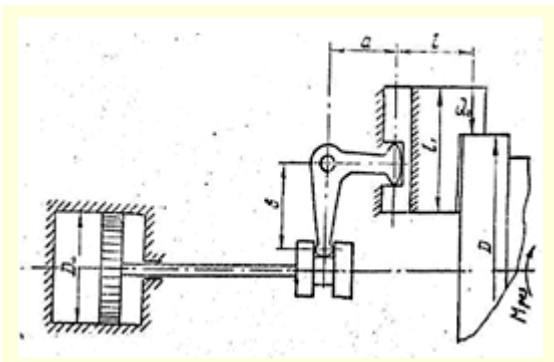
### Тема : Установка детали

Цель: Определение потребной силы тяги и основные размеры пневматического двигателя для закрепления детали при токарной обработке в самоцентрирующем патроне

Задание: определить потребную силу тяги и основные размеры пневматического двигателя для закрепления детали при токарной обработке в самоцентрирующем патроне. Коэффициент трения между кулачками патрона и заготовкой  $f = 0,25$ . Коэффициент трения в трущихся парах патрона  $f_i = 0,15$ . Коэффициент запаса закрепления  $K = 2,5$ .

Тип патрона и его параметры: с рычажным приводом,  $l = 70$  мм;  $l_1 = 90$  мм;  $a/b = 1/3,5$ ;  $D = 120$  мм;  $D_1 = 100$  мм;  $P_z = 200$  кгс;  $P_x = 75$  кгс

Тип пневмодвигателя - пневмоцилиндр.



Решение:

Сила зажима детали одним кулачком патрона:



$$Q^I_0 = K \cdot P_z \frac{D_1}{n \cdot f \cdot D} = 2,5 \cdot 200 \frac{100}{3 \cdot 0,25 \cdot 120} = 555 \text{ кгс}$$

$n=3$  - число кулачков патрона.

Определение потребной силы тяги и размеров пневматического двигателя при токарной обработке в самоцентрирующем патроне.

$$Q_0 = Q^I_0 \cdot n = 3 \cdot 555 = 1665 \text{ кгс}$$

Определяем потребную силу на штоке механизированного привода патрона

$$P_u = k^I \cdot \left(1 + \frac{3l}{l_1} f_1\right) \frac{a}{b} \cdot Q_0 = 1,05 \left(1 + \frac{3 \cdot 70}{90} 0,15\right) \frac{1}{3,5} 1665 = 674 \text{ кгс}$$

Диаметр цилиндра двухстороннего действия (при давлении в штоковой полости) определяем из формулы:

$$P_u = \frac{\pi(D_u^2 - d_{шт}^2)}{4} p_\varepsilon \eta, \quad d_{шт} = 0,15 D_u$$

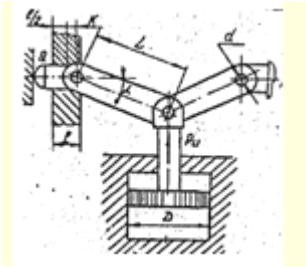
$$D_u = \sqrt{\frac{4P_u}{\pi \cdot p_\varepsilon \cdot (1 - 0,15^2) \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 674}{\pi \cdot 4 \cdot (1 - 0,15^2) 0,95}} = 231 \text{ мм}$$

Принимаем по ГОСТ 21821-76  $D_u = 230$  мм,  $d_{шт} = 34,5$  мм

Длина хода штока  $l_{штока} = S \cdot b/a = 3 \cdot 3,5 = 17,5$  мм.

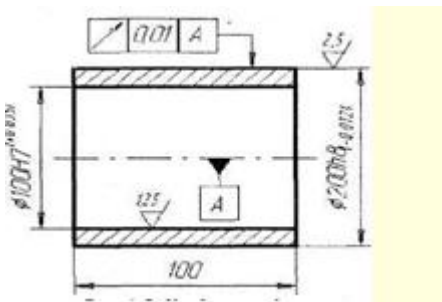
**Задание по варианта: 1,3,5;7**

Задание: для заданной на схеме конструкции с пневмоприводом определить диаметр пневмоцилиндра, который обеспечит необходимую силу зажима  $Q$  заготовки в приспособлении



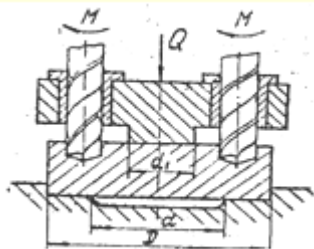
### Задание по варианта:2,4,6;8

Задание: разработать конструкцию и произвести расчет патрона с гидروпластмассовым зажимом для чистовой обработки наружного диаметра втулки на токарном станке. Материал тонкостенной втулки сталь 30ХГС ( $\sigma_T = 85 \text{ кгс/мм}^2$  ;  $E = 2,1 \cdot 10^4 \text{ кгс/мм}^2$  ).



### Задание по варианта:2,4,6;9

Задание: определить необходимую силу зажима для заданных на схеме условий закрепления.  $M = 200 \text{ кгс} \cdot \text{мм}$ ,  $D_1 = 150 \text{ мм}$ ,  $d = 100 \text{ мм}$ ,  $d_1 = 60 \text{ мм}$ ,  $f_1 = f_2 = 0,16$



## Практическая работа 2

### Тема :Базирование и базы в машиностроении

**Цель работы:** ознакомление с правилами выбора базирующих поверхностей при механической обработке, условным обозначением опорных точек, правилами определения погрешностей базирования и закрепления.

#### 1. Основные теоретические сведения

Определение относительного положения детали в машине в процессе ее работы и изготовления является важнейшей задачей, решение которой влияет на качество деталей и машины в целом. Для ее решения существует *теория базирования*, исходные принципы и теоретические положения которой основаны на законах теоретической механики и регламентированы ГОСТ 21495—93 «Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения».

Теоретическая механика рассматривает два состояния твердого тела: «покоя» и «движения». Эти понятия относительны, поэтому необходимо указывать систему отсчета. Если положение тела относительно выбранной системы отсчета со временем не изменяется, то считается, что это тело покоится относительно данной системы отсчета. Если же тело изменяет свое положение относительно выбранной системы отсчета, то тело находится в движении. Требуемое положение или движение тела достигается наложением геометрических или кинематических связей.

*Связями* в теоретической механике называют условия, которые налагают ограничения либо только на положение, либо также и на скорость перемещения

Независимые перемещения, которые может иметь тело, называют *степенями свободы*. Абсолютно твердое тело имеет шесть степеней свободы: 3 линейных перемещения относительно трех взаимно-перпендикулярных координатных осей и 3 вращательных перемещения вокруг этих осей (рис. 1). Для того чтобы определить положение любого твердого тела в пространстве, необходимо и достаточно в выбранной системе координат наличие 6 геометрических связей, которые при соединении деталей превращаются в 6 опорных точек. Данное положение получило название «правило шести точек».

Исходя из служебного назначения, отдельным деталям оставляют одну или более степеней свободы. Например, шпиндель токарного станка имеет одну степень свободы — вращение вокруг собственной оси. При обработке детали рассматривается положение детали в приспособлении, и деталь, как правило, лишается всех шести степеней свободы.

*Базирование* — придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

*Опорная точка* — точка, символизирующая одну из связей заготовки или изделия с выбранной системой координат.

*Базой* называется поверхность или выполняющее эту функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или изделию и используемая для базирования.

*Комплект баз* — совокупность трех баз, образующих систему координат заготовки или изделия.

Понимание геометрических связей 1—6 (рис. 2—4), каждая из которых определяет одну из координат, а следовательно, лишает одной степени свободы, имеет принципиальное значение для успешного решения вопросов базирования. Таким образом, положение детали определяется при помощи шести координат. Теоретически базирование детали (изделия и т.п.) связано с лишением ее шести степеней свободы при помощи шести геометрических связей, которые при соединении деталей превращаются в шесть опорных точек.

*Схема базирования* — схема расположения опорных точек на базах заготовки или изделия.

При составлении схем базирования необходимо соблюдать следующие правила:

1. Все опорные точки на схеме базирования изображают условными обозначениями (рис. 7 и 8) и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек. В качестве примера на рис. 8 представлена схема базирования призматической детали.

2. При наложении в какой-либо проекции одной опорной точки на другую изображается одна точка и около нее проставляются номера совмещенных или совпавших точек (например, на рис. 8 точки 1 и 3, 4 и 5 на виде слева).

3. Число проекций заготовки или изделия на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о расположении опорных точек.

4. Если опорная точка невидима, условное обозначение ее представляется пунктирной линией (точки 1, 2, 3 на рис. 8).

Базы классифицируют по назначению, лишаемым степеням свободы и характеру проявления (рис. 9).

*Конструкторская база* — база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

*Основная база* — конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии.

*Технологическая база* — база, используемая для определения относительного положения заготовки (изделия) в процессе изготовления или ремонта.

*Измерительная база* — база, используемая для определения относительного положения заготовки или детали и средств измерения.

Основными и вспомогательными могут быть только конструкторские базы. В то же время основная конструкторская база может являться измерительной или технологической.

*Установочная база* — база, лишающая заготовку (изделие) трех степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей. Например, на рис. 6 опорные точки 1, 2, 3 образуют установочную базирующую поверхность (установочную базу).

*Направляющая база* — база, лишающая заготовку (изделие) двух степеней свободы: перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой. Например, опорные точки 4 и 5 на рис. 6 образуют направляющую базирующую поверхность (направляющую базу).

*Опорная база* — база, лишающая заготовку (изделие) одной степени свободы: перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг этой оси. Например, опорная точка 6 на рис. 8 образует опорную базирующую поверхность (опорную базу).

*Двойная направляющая база* — база, лишающая заготовку (изделие) четырех степеней свободы: перемещения вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей. Например, на рис. 3 опорные точки 1, 2, 3, 4

образуют двойную направляющую базирующую поверхность (двойную направляющую базу).

*Двойная опорная база* — база, лишаящая заготовку (изделие) двух степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей. Например, на рис. 4 опорные точки 4 и 5 образуют двойную опорную базирующую поверхность (двойную опорную базу).

*Явная база* — база заготовки (изделия) в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисков.

*Скрытая база* — база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

Полное и краткое наименование баз по нескольким классификационным признакам ведется в следующем порядке: по назначению, по лишаемым степеням свободы, по характеру проявления. Например, «технологическая направляющая скрытая база», «измерительная опорная явная база», «конструкторская основная установочная явная база» и т.д.

При выборе технологических баз необходимо руководствоваться следующими правилами:

1. В качестве технологической базы желательно выбирать конструкторскую базу.
2. На первой операции технологическую базу следует выбирать с учетом решения одной из двух задач: равномерного распределения припуска между обрабатываемыми поверхностями детали или обеспечения размерной связи между поверхностями, подлежащими обработке и поверхностями необрабатываемыми.
3. В качестве установочной технологической базы следует выбирать поверхность, имеющую наибольшую протяженность в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.
4. В качестве направляющей технологической базы необходимо выбирать поверхность, имеющую наибольшую протяженность в одном направлении.
5. В качестве опорной технологической базы необходимо выбирать поверхность, имеющую наименьшие габариты.
6. Поверхности, которые будут использованы в качестве технологической базы в дальнейшем, должны быть обработаны на первой операции, желательно за один установ детали.

Под *принципом единства баз* понимается использование одних и тех же поверхностей в качестве базирующих на подавляющем большинстве операций технологического процесса. Классическим примером использования принципа единства баз является обработка детали в

центрах, при которой на всех операциях, кроме первой, используются одни и те же базы.

*Правила выбора баз и принцип единства баз часто противоречат друг другу.* Например, при обработке детали в центрах выполняется принцип единства баз, но не соблюдается правило выбора баз (конструкторская база не совпадает с технологической). В результате вместо одного размера (диаметра) необходимо выдерживать два размера (два радиуса). В зависимости от конкретных условий выполняются соответствующие требования теории базирования.

*Смена баз* — это преднамеренная или случайная замена одних баз другими с сохранением их принадлежности к конструкторским, технологическим или измерительным базам. Различают организованную и неорганизованную смену баз.

Под *организованной (преднамеренной) сменой баз* понимается такая смена, при которой соблюдаются определенные правила (пересчет размеров, увязка старой и новой базы, и т.д.). *Организованная смена баз является управляемой.*

Под *неорганизованной (случайной) сменой баз* понимается смена баз без соблюдения вышеперечисленных правил. *Неорганизованная схема баз является неуправляемой.*

Каждая смена баз сопровождается появлением дополнительной погрешности, так как увеличивается число звеньев в размерной цепи, появляется звено, которое «связывает» вновь избранную базу с предыдущей. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы все поверхности заготовки обрабатывались от одних и тех же технологических баз, то есть соблюдался принцип единства баз.

*Погрешность базирования* — отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого.

Погрешность

Погрешность базирования можно представить как разность между предельными положениями проекций измерительной базы на направление выполняемого размера. Так, для схемы на рис. 10, а при установке

для размера  $A$   $\Delta\epsilon_{6A}=0$ , так как поверхность 1 является базой размера одновременно и установочной, и измерительной. Аналогично для размера  $E$  погрешность базирования  $\Delta\epsilon_{6E}$  размера  $B$  установочной базой является поверхность 1, а измерительной — поверхность 2. Погрешность базирования  $\Delta\epsilon_{6B}$  в случае равна  $2TC$ , т.е. полу допуска на размер  $C$ .

При установке на охватываемый или охватывающий элемент к погрешности базирования, определяемой указанным способом, следует прибавить проекцию смещения измерительной базы на направление выполняемого размера в результате зазора между установочной базой и установочными элементами приспособления (рис. 10, б). При установке детали без зазора погрешность базирования для размера  $A$  равна половине диаметра зазора, т.е.  $\Delta\epsilon_{6A}=TD$ , а для размера  $B$   $\Delta\epsilon_{6B}=0$ . При наличии зазора между отверстием заготовочного элемента и установочным элементом, равного  $\Delta/2$ , погрешность базирования для размера  $A$   $\Delta\epsilon_{6A}=TD+\Delta$ , а для размера  $B$  погрешность базирования  $\Delta\epsilon_{6B}=\Delta$ . Для уменьшения погрешности базирования следует стремиться к совмещению установочных и измерительных баз.

Погрешность базирования определяется расчетом, а также в зависимости от схемы базирования может быть определена по табл. 1.

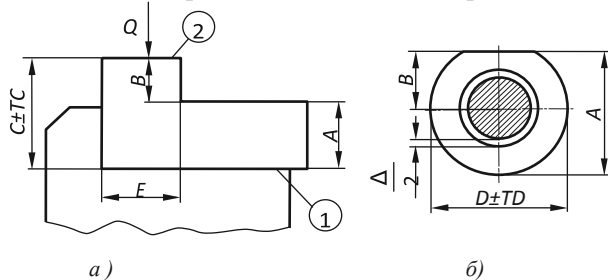


Рис. 10. Схемы к определению погрешности базирования:  $Q$  — сила зажима

Двойная опорная база — база, лишаящая заготовку (изделие) двух степеней свободы: перемещений вдоль двух координатных осей. Например, на рис. 4 опорные точки 4 и 5 образуют двойную опорную базирующую поверхность (двойную опорную базу).



*Явная база* — база заготовки (изделия) в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

*Скрытая база* — база заготовки или изделия в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

Полное и краткое наименование баз по нескольким классификационным признакам ведется в следующем порядке: по назначению, по лишаемым степеням свободы, по характеру проявления. Например, «технологическая направляющая скрытая база», «измерительная опорная явная база», «конструкторская основная установочная явная база» и т.д.

При выборе технологических баз необходимо руководствоваться следующими правилами:

7. В качестве технологической базы желательно выбирать конструкторскую базу.

8. На первой операции технологическую базу следует выбирать с учетом решения одной из двух задач: равномерного распределения припуска между обрабатываемыми поверхностями детали или обеспечения размерной связи между поверхностями, подлежащими обработке и поверхностями необрабатываемыми.

9. В качестве установочной технологической базы следует выбирать поверхность, имеющую наибольшую протяженность в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.

10. В качестве направляющей технологической базы необходимо выбирать поверхность, имеющую наибольшую протяженность в одном направлении.

11. В качестве опорной технологической базы необходимо выбирать поверхность, имеющую наименьшие габариты.

12. Поверхности, которые будут использованы в качестве технологической базы в дальнейшем, должны быть обработаны на первой операции, желательно за один установ детали.

Под *принципом единства баз* понимается использование одних и тех же поверхностей в качестве базирующих на подавляющем большинстве операций технологического процесса. Классическим примером использования принципа единства баз является обработка детали в центрах, при которой на всех операциях, кроме первой, используются одни и те же базы.

*Правила выбора баз и принцип единства баз часто противоречат друг другу.* Например, при обработке детали в центрах выполняется принцип единства баз, но не соблюдается правило выбора баз (конструкторская база не совпадает с технологической). В результате вместо одного размера (диаметра) необходимо выдерживать два размера (два радиуса). В

зависимости от конкретных условий выполняются соответствующие требования теории базирования.

*Смена баз* — это преднамеренная или случайная замена одних баз другими с сохранением их принадлежности к конструкторским, технологическим или измерительным базам. Различают организованную и неорганизованную смену баз.

Под *организованной (преднамеренной) сменой баз* понимается такая смена, при которой соблюдаются определенные правила (пересчет размеров, увязка старой и новой базы, и т.д.). *Организованная смена баз является управляемой.*

Под *неорганизованной (случайной) сменой баз* понимается смена баз без соблюдения вышеперечисленных правил. *Неорганизованная схема баз является неуправляемой.*

Каждая смена баз сопровождается появлением дополнительной погрешности, так как увеличивается число звеньев в размерной цепи, появляется звено, которое «связывает» вновь избранную базу с предыдущей. Поэтому необходимо стремиться к тому, чтобы все поверхности заготовки обрабатывались от одних и тех же технологических баз, то есть соблюдался принцип единства баз.

*Погрешность базирования* — отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого.

Погрешность

Погрешность базирования можно представить как разность между предельными положениями проекций измерительной базы на направление выполняемого размера. Так, для схемы на рис. 10, а при установке

для размера  $A$   $\Delta\epsilon_{6A}=0$ , так как поверхность  $1$  является базой для размера одновременно и установочной, и измерительной. Аналогично для размера  $E$  погрешность базирования  $\Delta\epsilon_{6E}=0$ . Для размера  $B$  установочной базой является поверхность  $1$ , а измерительной — поверхность  $2$ . Погрешность базирования  $\Delta\epsilon_{6B}$  в этом случае равна  $2TC$ , т.е. полу допуску на размер  $C$ .

При установке на охватываемый или охватывающий элемент элемент к погрешности базирования, определяемой этим способом, следует прибавить проекцию смещения установочной базы на направление выполняемого размера в результате зазора между установочной базой и установочными элементами приспособления (рис. 10, б). При установке детали без зазора погрешность базирования для размера  $A$  равна половине диаметра отверстия, т.е.  $\Delta\epsilon_{6A}=TD$ , а для размера  $B$   $\Delta\epsilon_{6B}=0$ . При наличии зазора между отверстием заготовки и установочным элементом, равного  $\Delta/2$ , погрешность базирования для размера  $A$   $\Delta\epsilon_{6A}=TD+\Delta$ , а для размера  $B$  погрешность базирования  $\Delta\epsilon_{6B}=\Delta$ . Для уменьшения погрешности базирования следует стремиться к совмещению установочных и измерительных баз.

Погрешность базирования определяется расчетом, а также в зависимости от схемы базирования может быть определена по табл. 1.

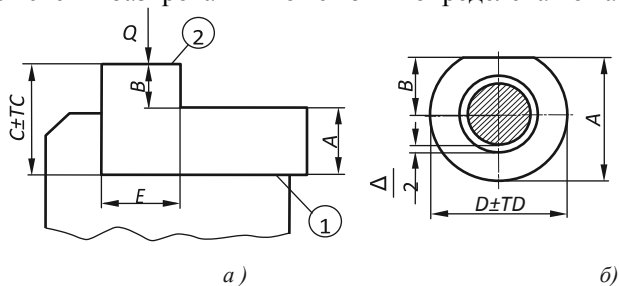

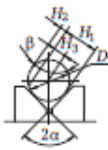
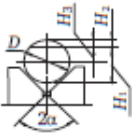



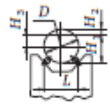
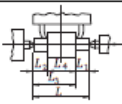
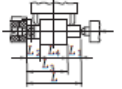
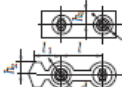


Рис. 10. Схемы к определению погрешности базирования:  $Q$  — сила зажима

1. Погрешность базирования при установке заготовок в приспособлениях [2]

Схема	Базирование	Схема установки	Выдерживаемый размер	Погрешность базирования $\Delta_{\epsilon_j}$
1	По двум плоским поверхностям Обработка уступа		A	0
			B	$Th \times \operatorname{tg} \alpha$ при $\alpha \neq 90^\circ$ 0 при $\alpha = 90^\circ$
			C	TH
			K	TE
2	По наружной цилиндрической поверхности В призме при обработке плоской поверхности паза		$H_1$	$0,5TD\left(\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} - 1\right)$ при $\beta = \alpha \dots 90^\circ$ $0,5TD\left(1 - \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}\right)$ при $\beta = 0 \dots \alpha$
			$H_2$	$0,5TD\left(\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} + 1\right)$
			$H_3$	$0,5TD\left(\frac{\sin \beta}{\sin \alpha}\right)$
3	То же, при $\beta = 90^\circ$		$H_1$	$0,5TD\left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1\right)$
			$H_2$	$0,5TD\left(\frac{1}{\sin \alpha} + 1\right)$
			$H_3$	$0,5TD \frac{1}{\sin \alpha}$

4	То же, при $\beta = 0$		$H_1$	$0,5TD$
			$H_2$	$0,5TD$
			$H_3$	0
5	В призме при обработке плоской поверхности изгиб паза		$l$	$0,5TD$
			$H_1$	0
			$H_2$	$TD$
6	То же, при $2\alpha = 180^\circ$ и зажиме призмой		$H_1$	0
			$H_2$	$TD$
			$H_3$	$0,5TD$
7	То же, но призма выполнена со сфериче-скими опорами		$H_1$	$A - 0,5TD$
			$H_2$	$A + 0,5TD$
			$H_3$	$A$
			$A = \sqrt{(r + 0,5D_{\text{min}} + 0,5TD)^2 - 0,5L^2} - \sqrt{(r + 0,5D_{\text{min}})^2 - 0,25L^2},$ <p>где <math>L</math> — расстояние между центрами опор; <math>r</math> — радиус сферической опоры; <math>D_{\text{min}}</math> — линейный размер заточивки</p>	

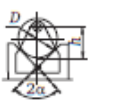
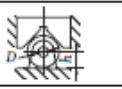


17	По центровым гнездам На жесткой передний центр		$L_1$	$TL + \Delta_n$
			$L_2; L_3$	$\Delta_n = Td/\operatorname{tg} \alpha$
			$L_4$	0
18	То же, но с использованием плавающего переднего центра		$L_1$	TL
			$L_2; L_3; L_4$	0
19	По двум отвер- стиям На пальцах при обработке верх- ней поверхности		$h_1$	$2\Delta + TD + Td$
			$h_2$	$2\Delta + TD + Td \left( \frac{2h_1 + l}{l} \right)$

Примечания: 1. На схемах 11—19:  $H_2$  — размер от обрабатываемой поверхности до оси наружной поверхности;  $H_4$  — то же, до оси отверстия;  $e$  — эксцентриситет наружной поверхности относительно отверстия;  $TD$  — допуск на диаметр отверстия;  $Td$  — допуск на диаметр пальца;  $\Delta$  — минимальный радиальный зазор посадки заготовки на палец;  $TL$  — допуск на длину заготовки.

2. Погрешность базирования в схемах 11—16 включает погрешность приспособления  $\Delta e_{\text{пр}}$ .

3. На схеме 17:  $Td$  — допуск на диаметр центрального отверстия;  $\alpha$  — половина угла центрального отверстия;  $\Delta_n$  — погрешность глубины центрального отверстия (просадка центра). При угле центра  $2\alpha = 60^\circ$  просадку центров  $\Delta_n$  можно принимать следующим образом:



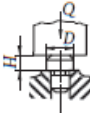
Наибольший диаметр центрального отверстия, мм	1; 2; 2,5	4; 5; 6	7; 5; 10	12,5; 15	20; 30
$\Delta_n$ , мм	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25

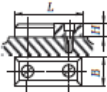
8	В призмах при сверлении отвер- стий по кондук- тору		$h$	$0,5TD \left( \frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right)$ при $h > 0,5D$
				$0,5TD \frac{1}{\sin \alpha}$ при $h = 0,5D$
				$0,5TD \left( \frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right)$ при $h < 0,5D$
9	То же, при $2\alpha = 180^\circ$ и зази- ме призм		$h$	$0,5TD$ при любом $h$
10	То же, но при использовании самоцентрирую- щего призма		$X$	0
11	По отверстию На палец уста- новочный цилиндрический (оправку) с зазо- ром при обра- ботке плоской поверхности или шка		$H_1; H_2$	$0,5TD + 2e + TD + Td + 2\Delta$
			$H_3$	$2e + TD + Td + 2\Delta$
			$H_4$	$TD + Td + 2\Delta$

## 2. Погрешность закрепления при установке заготовки в приспособление

Установка на постоянные опоры и опорные пластины


$$\Delta \varepsilon_x = [(K_{Rz} R_z + K_{HB} HB) + C_1] \left( \frac{Q}{19,8} \right)^n \frac{1}{F^m}$$

Типы опоры	Эскиз	Материал заготовки	$K_{Rz}$	$K_{HB}$	$C_1$	$n$	$m$
Опора со сферической головкой по ГОСТ 13440—68		Сталь	0	-0,003	$0,67 + 6,23/r$	0,8	0
		Чугун	0	-0,008	$2,70 + 9,23/r$	0,6	0
Опора с насеченной головкой по ГОСТ 13440—68		Сталь	0	-0,004	$0,38 + 0,034D$	0,6	0
		Чугун	0	-0,0008	$1,76 - 0,03D$	0,6	0
Опора с плоской головкой по ГОСТ 13440—68		Сталь	0,004	-0,0016	$0,40 + 0,012F$	0,7	0,7

Типы опоры	Эскиз	Материал заготовки	$K_{Rz}$	$K_{HB}$	$C_1$	$n$	$m$
Пластины опорные по ГОСТ 4743—68		Чугун	0,016	-0,0045	$0,776 + 0,053F$	0,6	0,6


Установка на призму

$$\Delta s_z = \left[ \left( K_{Rz} R_z + \frac{K_{HB}}{HB} \right) + C_1 \right] \left( \frac{Q}{19,6l} \right)^n$$

Призма с углом $2\alpha = 90^\circ$		—	0,005	15	$0,086 + 8,4/D_{\text{нпг}}$	0,7	—
-------------------------------------	---	---	-------	----	------------------------------	-----	---

Установка заготовки из стали 45 на центры при давлении в месте контакта не более 8000 кПа

$$\Delta s_z = C(P/9,8)^{0,5}$$

Эскиз стыка	Направление смещения	Коэффициент C при диаметре центрowego гнезда, мм											
		1	2	2,5	4	5	6	7,5	10	12,5	15	20	30
	Радиальное	15,7	11,8	8,6	5,8	3,8	3,2	2,9	2,1	1,7	1,4	1,0	0,7
	Осевое	12,1	8,6	6,6	4,1	2,9	2,5	2,2	1,6	1,3	1,1	0,8	0,55

Обозначения: HB — твердость материала заготовки по Бринеллю; Q — сила, действующая по нормали к опоре; H; F — площадь контакта опоры с заготовкой, см<sup>2</sup>; l — длина образующей, по которой происходит контакт, см; Rz — параметр шероховатости поверхности заготовки, мкм; P — составляющая силы резания, в направлении которой определяют смещение; H; r — радиус сферической головки, мм; L — длина пластины.

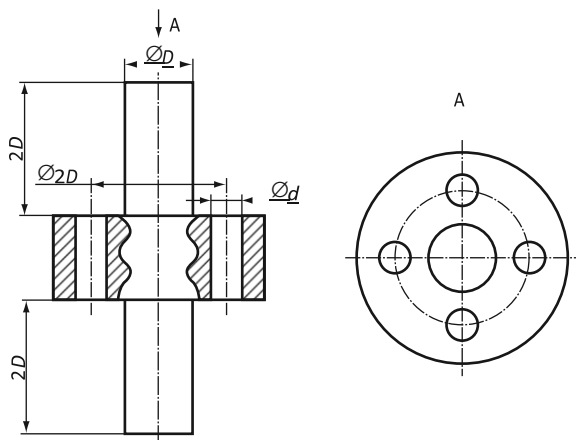
## Содержание работы

По заданному варианту задания предложить схему базирования и закрепления заготовки, а также определить погрешность базирования и закрепления при обеспечении размера, используя теоретические положения и формулы табл. 1 и 2.

### 3. Варианты задач для выполнения практической работы

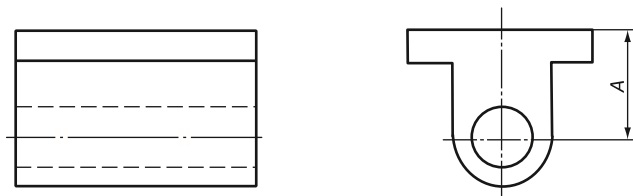
**Задача 1.** Предложить схему базирования и закрепления при одновременном сверлении четырех отверстий в заготовке, расположенных друг к другу под углом  $90^\circ$ , определить погрешность



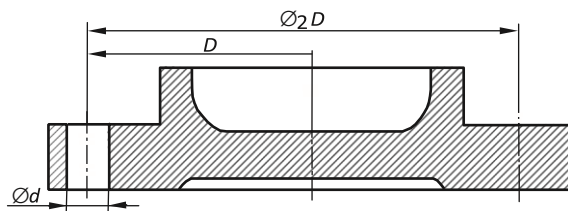


базирования и закрепления при обеспечении размера. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.

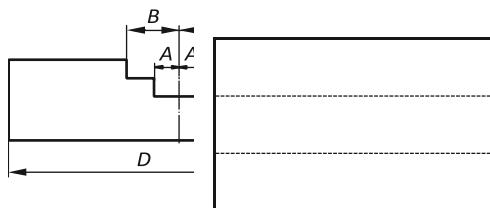
**Задача 2.** В заготовке корпусной детали обрабатывается плоскость основания с обеспечением размера  $A$ . Требуется предложить схему базирования и закрепления при обработке указанной поверхности и рассчитать погрешность базирования и закрепления. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



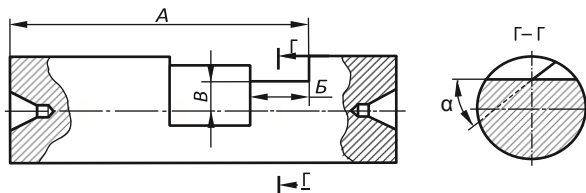
**Задача 3.** Предложить схему базирования и закрепления при последовательной обработке семи отверстий, равномерно расположенных в заготовке типа крышки, и рассчитать погрешность базирования и закрепления при обеспечении размера  $D$ . Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



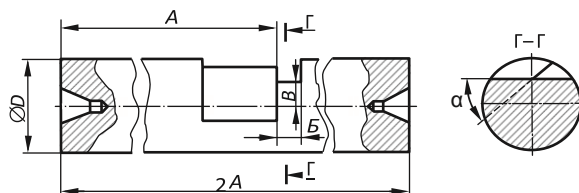
**Задача 4.** Предложить схему базирования и закрепления при фрезеровании в заготовке паза с обеспечением размеров  $A$ ,  $B$  и рассчитать погрешность базирования и закрепления. Пазы шириной  $2A$  и  $2B$  имеют одну и ту же плоскость симметрии. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



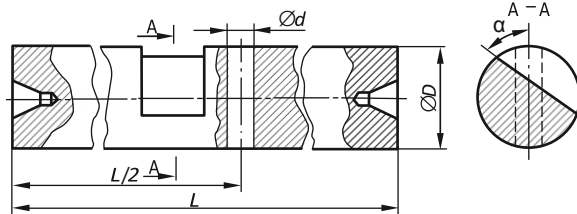
**Задача 5.** Предложить схему базирования и закрепления при выполнении операции фрезерования лыски с обеспечением размеров  $A$ ,  $B$ ,  $B$  и угла  $\square$ . Определить погрешность базирования и закрепления заготовки. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



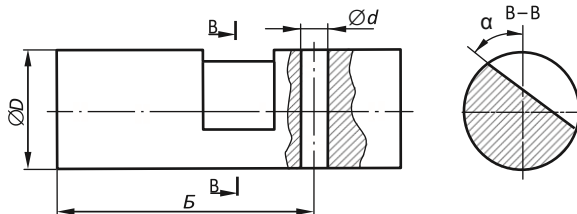
**Задача 6.** Предложить схему базирования и закрепления при выполнении фрезерной операции с обеспечением размеров  $A$ ,  $B$ ,  $B$  и угла  $\square$ . Известно соотношение  $2A/D = 16$ . Определить погрешность базирования и закрепления заготовки. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



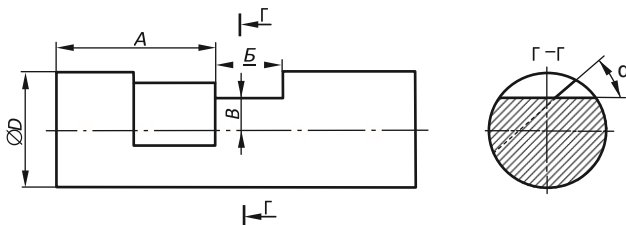
**Задача 7.** Предложить схему базирования и закрепления при обработке отверстия  $\square d$  в заготовке с обеспечением координаты  $L/2$  и угла  $\square$ . Отношение  $L/D = 13$ . Определить погрешности базирования и закрепления. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



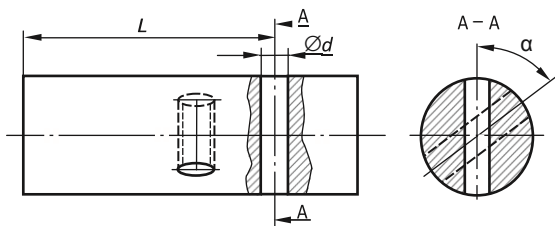
**Задача 8.** Предложить схему базирования и закрепления при обработке отверстия  $\varnothing d$ , расположенного на расстоянии  $B$  от торца под углом к лыске  $\Pi$ . Определить погрешность базирования и закрепления при обеспечении размера  $B$ . Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



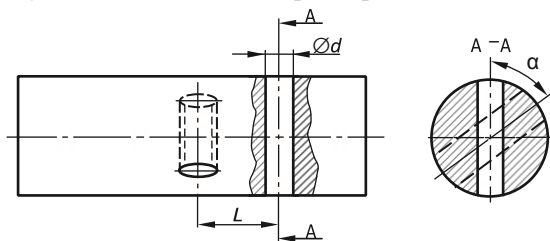
**Задача 9.** Предложить схему базирования и закрепления при выполнении операции фрезерования лыски с обеспечением размеров  $A$ ,  $B$ ,  $B$  и угла  $\Pi$ . Определить погрешность базирования и закрепления обеспечиваемых размеров. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



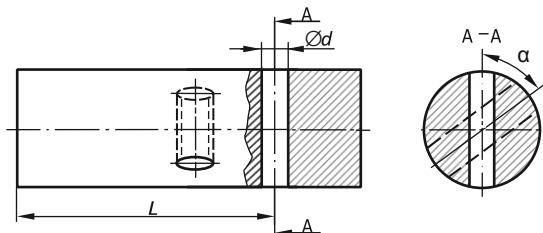
**Задача 10.** В заготовке детали типа вал обрабатывается отверстие  $\varnothing d$ , расположенное на расстоянии  $L$  от торца и под углом  $\Pi$  к оси отверстия, ранее обработанного. Предложить схему базирования и закрепления. Определить погрешность базирования и закрепления при обработке отверстия. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



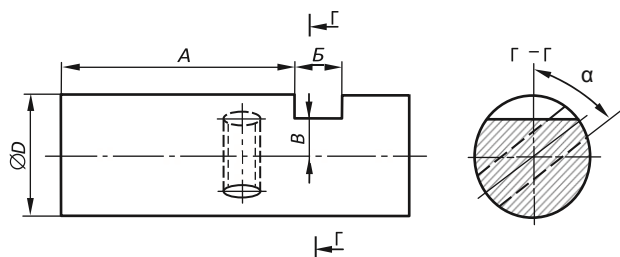
**Задача 11.** В заготовке детали типа вал обрабатывается отверстие  $\varnothing d$ , которое должно быть расположено на расстоянии  $L$  от другого отверстия и под углом  $\alpha$  к нему. Предложить схему базирования и закрепления. Определить погрешность базирования и закрепления при обработке отверстия. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



**Задача 12.** В заготовке обрабатывается отверстие  $\varnothing d$  с координатой  $L$  и углом  $\alpha$  по отношению к другому отверстию. Предложить схему базирования и закрепления. Определить погрешность базирования и закрепления. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.

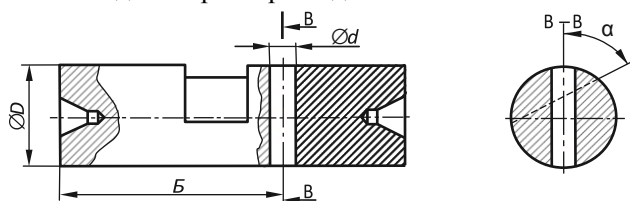


**Задача 13.** Предложить схему базирования и закрепления при обработке паза с обеспечением размеров  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и угла  $\alpha$ . Опреде-

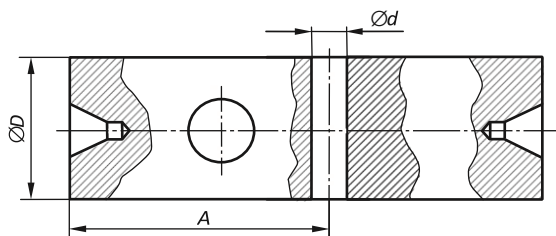


лить погрешность базирования заготовки и закрепления. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.

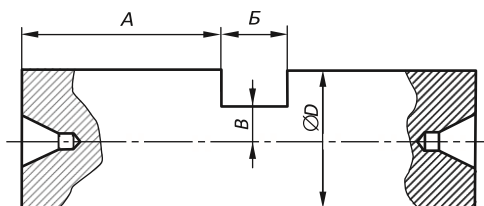
**Задача 14.** Предложить схему базирования и закрепления при обработке отверстия  $\varnothing d$ , расположенного на расстоянии  $B$  от торца под углом к лыске П. Определить погрешность базирования и закрепления заготовки. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



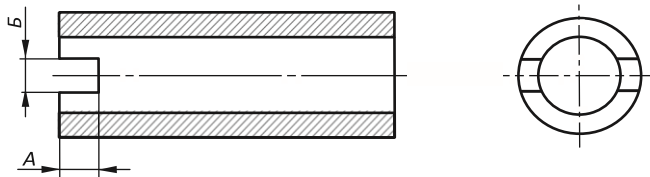
**Задача 15.** Предложить схему базирования и закрепления при обработке отверстия  $\varnothing d$  с обеспечением размера  $A$ . Определить погрешность базирования и закрепления заготовки. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



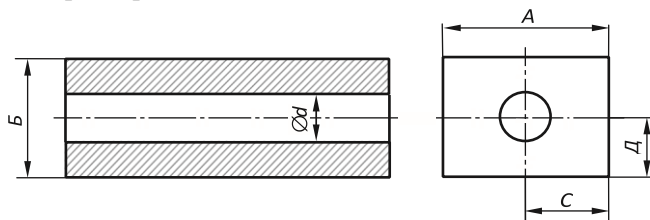
**Задача 16.** Предложить схемы базирования и закрепления при выполнении операции фрезерования паза в заготовке с обеспечением размеров  $A$ ,  $B$ ,  $B$ . Определить погрешность базирования и закрепления заготовки. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



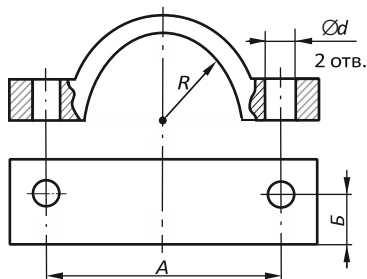
**Задача 17.** В заготовке типа трубы необходимо фрезерованием получить паз с обеспечением размеров  $A$  и  $B$ . Предложить схемы базирования и закрепления. Определить погрешность базирования и закрепления при обеспечении указанных размеров. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



**Задача 18.** Предложить схему базирования и закрепления при обработке отверстия  $\square d$  в заготовке корпусной детали. Определить погрешность базирования и закрепления при обеспечении размеров  $C$  и  $D$ . Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



**Задача 19.** В заготовке типа крышки с помощью кондуктора должны быть обработаны 2 отверстия  $\square d$  и выдержаны координаты  $A$  и  $B$ . Предложить схемы базирования и закрепления детали при обработке отверстий и определить погрешность базирования и закрепления. Допуски на необходимые размеры задать самостоятельно.



## Контрольные вопросы

1. Дайте определение понятиям «базирование» и «базы».
2. Приведите классификацию баз.
3. Какими положениями следует руководствоваться при выборе баз?
4. В чем заключается принцип единства баз?
5. Дайте определение понятию «погрешность базирования».
6. Дайте определение понятию «погрешность закрепления».
7. Приведите пример расчетного определения погрешности базирования.

### Список литературы

1. ГОСТ 21495–93. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения.
2. Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т.2 / А.М. Дальский, А.Г. Сулов, А.Г. Косилова и др.; под. ред. А. М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. М.: Машиностроение, 2001. 912 с.
3. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Машиностроение, 1961. 380 с.
4. Нестеренко Л.М., Аверьянов М.Н. Технологическая оснастка. Учебное пособие. Рыбинск: РГАТА, 2004. 68 с.

## Практическая работа3

### Тема : Технологические размерные цепи

**Цель работы:** изучение основных понятий о технологических размерных цепях, правил расчета операционных и настроечных размеров.

## 1. Основные теоретические сведения

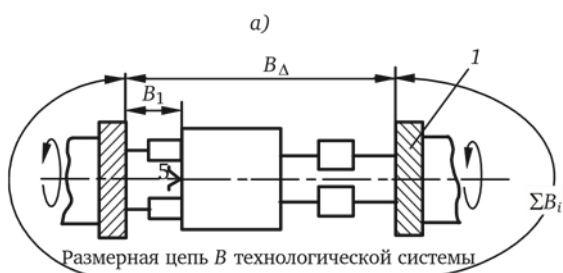
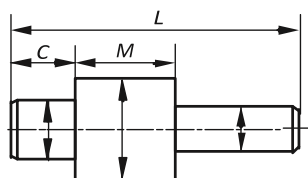
Процесс первоначального установления требуемой точности относительного движения и положения исполнительных поверхностей инструмента и оборудования или приспособления с целью получения требуемой точности обрабатываемых деталей называется *настройкой* (наладкой) технологической системы.

Задачами настройки являются получение требуемой точности обрабатываемых деталей и получение возможно большего количества годных деталей, обработанных с одной настройки. При настройке может применяться любой из пяти методов достижения заданной точности замыкающего звена размерной цепи, которая формируется между элементами технологической системы.

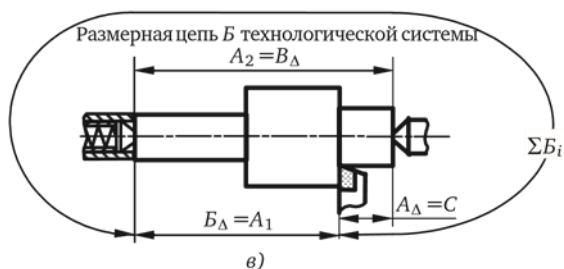
К пяти методам достижения заданной точности замыкающих звеньев относятся: метод полной взаимозаменяемости, метод неполной взаимозаменяемости, метод групповой взаимозаменяемости, метод пригонки, метод регулирования. В данной практической работе будет использоваться метод полной взаимозаменяемости [1].

На рис. 1, *a* представлен чертеж детали (ступенчатый вал), чертежные размеры которой ( $L$ ,  $M$ ,  $C$ ) проставлены в соответствии с ее

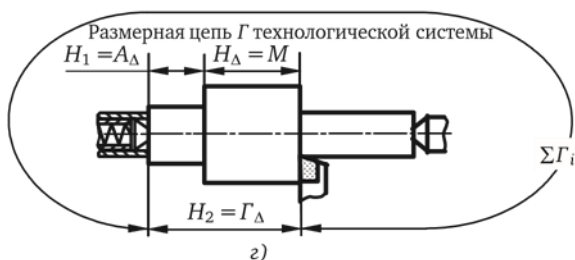




б)



в)



г)

**Рассмотрим технологический процесс изготовления вала.**

Операция I — подрезка торцов и зацентровка заготовки на фрезерно-центровальном станке (рис. 1, б). Заготовка базируется двумя парами самоцентрирующих призм. В результате подрезки торцов образуются размеры:  $B_1$  — от опорной базы 5 до левой фрезы и  $B_\Delta$  — размер между фрезами, который соответствует чертежному размеру  $L$ .

Операция II — токарная обработка заготовки с одной стороны (рис. 1, в).

Операция III — токарная обработка заготовки с другой стороны (рис. 1, г).

При токарной обработке заготовку базируют в центрах, причем передний центр — «плавающий», что исключает влияние глубины зацентровки на точность длинных размеров. Крутящий момент передается за счет рифленой опорной поверхности переднего центра.

На операции II получается размер  $B_\Delta$ , а на операции III — размер  $\Gamma_\Delta$ , которые являются замыкающими звеньями соответствующих размерных цепей технологической системы: станок — приспособление — инструмент — заготовка (деталь).

Для уточнения понятия «замыкающее звено» необходимо дать определение «размерная цепь». *Размерная цепь* представляет собой совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно используемых при решении поставленной задачи

[1]. При проектировании изделия назначаются размеры деталей, обеспечивающие их функционирование, которые образуют *конструкторские размерные цепи*.

При изготовлении деталей между элементами технологической системы возникают размерные связи, которые создают *технологические размерные цепи*.

С целью обеспечения заданной точности изделий или деталей выполняют расчет размерных цепей. Размеры, которые являются исходными при постановке задачи расчета и получаются последними в результате выполнения сборки или механической обработки, называются *замыкающими звеньями размерных цепей*.

Для обеспечения заданной точности деталей при изготовлении необходимо для каждой операции рассчитать технологические размеры, которые называются *операционными*.

При автоматическом получении размеров, что достигается с помощью предварительной настройки оборудования, операционные размеры будут являться замыкающими звеньями или технологических, или конструкторских размерных цепей. Последние возникают в том случае, если операционные и чертежные размеры детали совпадают.

Например, на операции I замыкающий размер технологической системы  $B_{\square}$  (размерная цепь  $B$ ) равен чертежному размеру  $L$ .

На операции II чертежный размер  $C$ , равный  $A_{\square}$ , получается как разница между  $A_2$  и  $A_1$ .

На операции III чертежный размер  $M$  получается в результате вычитания из операционного размера  $\Gamma_{\square}$  размера  $H_1$ . На размер  $M$  влияют точность выполнения операционного размера  $\Gamma_{\square}$  и точность размера  $A_{\square}$  ( $H_1$ ) (операция II).

Настройка для автоматического получения размеров детали производится путем регламентации расстояния между технологическими базами и положением режущего инструмента. Операционные размеры, на основе которых определяют настроечные размеры, должны обеспечивать «автоматическое» получение всех чертежных размеров, несмотря на то, что из-за промежуточных операций и смены баз они непосредственно не участвуют в процессе настройки. Они являются исходными звеньями, по которым после пересчета размеров и допусков осуществляется настройка оборудования.

В операции III размером, регламентирующим расстояние между технологической базой и положением режущего инструмента, является размер  $\Gamma_{\square}$  технологической цепи  $\Gamma$ .

Поскольку данная операция является последней и окончательно формирует конструкторские размеры, то в ней появляется дополнительная размерная цепь  $H$ , являющаяся связующей между конструкторской и технологической размерными системами. В результате чертежный размер  $M = H_{\square}$  обеспечивает размерная цепь  $H$ :

$$\begin{array}{l} C = A_{\Delta} \\ A_{\Delta} = A_2 - A_1 \\ A_1 = B_{\Delta} \end{array} \left| \Rightarrow A_{\Delta} = A_2 - B_{\Delta}. \right. \quad (2)$$

$M = H_{\Delta}$  обеспечивает размерная цепь  $H$ :

$$\begin{array}{l} H_{\Delta} = H_2 - H_1 \\ H_2 = \Gamma_{\Delta} \end{array} \left| \Rightarrow H_{\Delta} = \Gamma_{\Delta} - H_1. \right. \quad (1)$$

Чертежный размер  $C$  обеспечивает размерная цепь  $A$  (операция II).

Размер  $L$  на операции I обеспечивается непосредственно, без использования промежуточных размерных цепей, поскольку отсутствуют составляющие звенья.

Таким образом, даже для решения вышеприведенной задачи необходимо настроить с заданной точностью технологическую систему станок — приспособление — инструмент — заготовка (СПИЗ) на автоматическое получение операционных размеров, что приведет, в конечном счете, к изготовлению детали по чертежу.

Другой, не менее важной, частью результата настройки технологического оборудования является возможность получения максимального количества годных деталей до следующей под наладки. Известно, что при обработке деталей методом автоматического получения размеров в пределах статистически значимого множества будет наблюдаться их рассеивание, которое обусловлено действием систематических (т.е. изменяющихся по определенному закону) и случайных факторов. Основную причину появления систематической погрешности будем считать известной — износ инструмента. Для компенсации этого фактора можно сместить центр поля рассеяния настроечного размера. Точечные диаграммы распределения размеров деталей при различных значениях настроечных размеров приведены на рис. 2, из которого видно, что отклонение размера детали от номинальной величины зависит от систематически действующего фактора  $\Delta \Delta_{\text{ср}}$ , изменяющегося по определенному закону. Настройка на размер  $A_{\text{рн}}$  позволяет полностью использовать поле допуска  $TA$  с учетом величины поля рассеяния  $\Delta \Delta_{\text{т}}$  и, следовательно, обработать максимальное число деталей до появления недопустимого износа инструмента. При действии неизвестных систематических погрешностей в качестве настроечного размера следует использовать его среднее значение  $A_{\text{ср}}$  (рис. 2, б, в).

$$A_{\text{рн}}^* = A_{\text{ср}} = \frac{A_{\text{нб}} + A_{\text{нм}}}{2}, \quad (3)$$

где  $A_{\text{нб}}$  и  $A_{\text{нм}}$  — наибольший и наименьший размеры деталей.

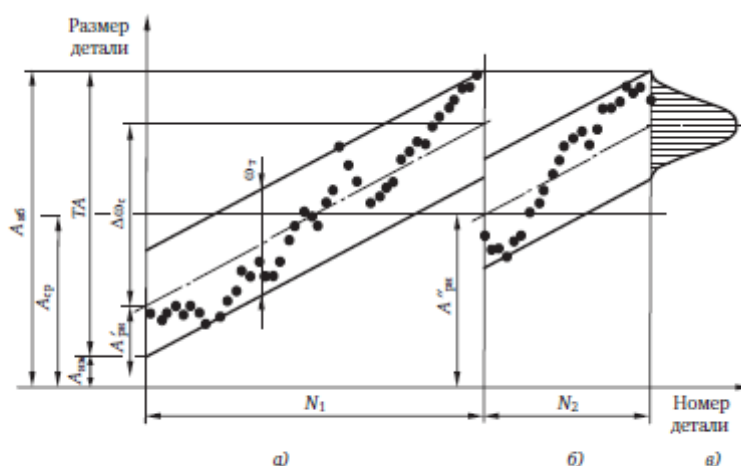


Рис. 2. Рассеивание фактических размеров деталей в процессе механической обработки

Такое решение уменьшает используемое поле допуска в два раза, увеличивает число поднастроек и снижает производительность обработки деталей.

Для повышения точности настройки и обработки деталей на настроечные размеры в производстве назначают технологический допуск, величина которого составляет 1/10 поля расчетного допуска на операционный размер и имеет симметричные отклонения. С целью укрепления теоретических знаний после выполнения первой части работы (расчета операционных размеров) следует определить настроечные размеры, условно считая, что закон действия систематических погрешностей неизвестен.

## 2. Последовательность выполнения работы

1. Получить от преподавателя индивидуальный вариант задания (табл. 1).
2. Построить операционные эскизы обработки детали с соблюдением пропорций между элементами детали и выявить размерные взаимосвязи для каждой схемы (рис. 1).

## 2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3. Выполнить расчет технологических размерных цепей с определением операционных размеров В, Б, Г и допустимых отклонений.
4. Осуществить проверку правильности расчета операционных размеров, т.е. решить обратную задачу: зная операционные размеры, определить чертежные и сделать соответствующий вывод о правильности расчетов.
5. Рассчитать настроечные размеры для каждой из трех операций.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Оформить отчет о проделанной работе.

1. Варианты заданий к рис. 1

Вариант данных	Чертежный размер		
	L	M	C
1	140–0,5	50–0,1	60+0,3
2	150–0,3	60–0,2	40+0,3
3	180–0,4	70–0,3	60+0,4
4	160–0,6	80–0,2	70+0,3
5	150–0,4	70–0,5	30+0,2
6	120–0,3	60–0,41	40+0,3
7	160–0,4	40–0,3	20+0,3
8	100–0,3	30–0,1	40+0,6
9	120–0,4	40–0,2	60+0,3
10	110–0,3	50–0,3	35+0,3
11	115–0,15	60–0,2	30+0,2
12	125–0,5	70–0,3	40+0,2
13	165–0,4	60–0,4	35+0,2
14	170–0,4	35–0,3	45+0,2
15	155–0,4	55–0,3	40+0,3
16	160–0,3	40–0,4	60+0,4
17	140–0,6	70–0,4	50+0,5
18	180–0,5	80–0,4	40+0,3
19	200–0,6	90–0,5	60+0,3
20	220–0,7	100–0,6	70+0,3
21	180–0,6	100–0,6	70+0,5
22	140–0,3	60–0,3	40+0,4
23	160–0,4	50–0,4	20+0,3
24	170–0,3	35–0,2	70+0,4
25	130–0,4	40–0,3	60+0,3

## 3. Содержание отчета

Отчет должен быть выполнен в соответствии с требованиями по оформлению учебных работ и содержать:

- наименование работы и ее цель;

- операционные эскизы обработки детали с размерными взаимосвязями;
- расчет технологических размерных цепей;
- проверку правильности расчета размерных цепей; • расчет настроечных размеров для каждой из трех операций;
- выводы по работе.

В процессе сдачи отчета студент должен дать ответы на заданные преподавателем вопросы по результатам работы и приведенным в разд. 1 теоретическим сведениям.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Зачем требуется определять операционные размеры?
2. Кто отвечает за выполнение (расчет) чертежных размеров?
3. Как разделить сферу ответственности технолога и рабочегостаночника при механической обработке деталей?
4. Почему возникает необходимость уменьшения поля допуска на чертежные размеры при определении настроечных размеров?
5. Назовите правила выбора баз и их влияние на технологические размерные цепи?
6. Что называется настройкой технологической системы?
7. Каковы основные задачи технологической настройки оборудования?
8. Как описать физический смысл схем настройки и образующихся технологических размерных цепей?
9. Как оценить влияние способа простановки размеров детали на формирование размерных взаимосвязей в технологической системе?
11. Какие примеры случайных и систематических погрешностей процесса механической обработки можно привести?

#### 5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

##### 5. Список литературы

1. ГОСТ 16319–80. Цепи размерные. Основные положения. Термины, обозначения и определения. М.: Изд-во стандартов, 1980. 29 с.
2. РД 50-635–87. Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. М.: Изд-во стандартов, 1987. 46 с.

#### Практическая работа4

##### Тема: определение последовательности методов обработки

**Цель работы:** приобретение практических знаний по методике проектирования технологического процесса изготовления детали на основе выбора методов обработки по каждой поверхности детали.

## 1. Основные теоретические сведения

*Производственный процесс* — процесс превращения сырья (предмета природы) в полезное для человека изделие. Под *производственным процессом* понимается *совокупность всех этапов*, которые проходит исходный продукт по пути превращения в готовую машину (получение заготовок, механическая обработка, термическая обработка, химико-термическая обработка, контроль, транспортировка, хранение, сборка и т.д.). Технологический процесс, осуществляемый на машиностроительном заводе, является частью общего производственного процесса.

*Технологический процесс* — часть производственного процесса, содержащая действия по изменению состояния предметов производства. *Технологическая операция (операция)* — законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте. *Переход* — законченная часть операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных режимах и установке заготовки.

Технологические процессы по уровню обобщения делятся на два вида: единичный и типовой.

*Единичный технологический процесс* применим только для изготовления одного конкретного изделия; процесс для изготовления или ремонта изделия (детали) одного наименования, типоразмера и исполнения. К преимуществам единичного технологического процесса относятся: возможность учета всех особенностей данного изделия и конкретных производственных условий, многовариантность принимаемых решений. Основным недостатком единичного технологического процесса являются большие затраты времени и труда.

*Типовой технологический процесс* применяется для изготовления группы схожих изделий. Типовой технологический процесс характеризуется единством содержания и последовательности большинства технологических операций для группы изделий (деталей) с общими конструктивными признаками. В основе типовой технологии лежит классификация изделий на классы — подклассы — группы — подгруппы — типы. Из группы конструктивно подобных изделий (деталей) выбирается типовой представитель, обладающий наибольшей совокупностью свойств изделий (деталей).

В данной работе будут рассматриваться основные правила, которым желательно следовать при разработке технологических процессов изготовления деталей, причем основной упор сделан на правила назначения набора методов обработки поверхностей и последовательности их выполнения.

Технологический процесс изготовления детали рекомендуется разрабатывать в следующей последовательности (возможны исключения).

1. Изучить по чертежу служебное назначение детали и проанализировать его соответствие техническим требованиям и нормам точности.
2. Выявить число деталей, подлежащих изготовлению в единицу времени по неизменяемому чертежу, наметить тип и форму организации производственного процесса изготовления деталей.
3. Выбрать полуфабрикат, из которого должна быть изготовлена деталь.
4. Выбрать метод получения заготовки, если неэкономично или физически невозможно изготавливать деталь непосредственно из полуфабриката.
5. Выбрать методы обработки поверхностей заготовки и установить число переходов по обработке каждой поверхности, исходя из требований к качеству детали.
6. Установить последовательность обработки поверхностей заготовки.
7. Обосновать выбор технологических баз.
8. Сформировать операции из методов обработки и выбрать оборудование для их осуществления.
9. Подобрать необходимую технологическую оснастку для выполнения каждой операции и разработать требования, которым должен отвечать каждый вид оснастки (приспособления для установки заготовки и режущего инструмента, режущий инструмент, измерительный инструмент и пр.).
10. Рассчитать припуски и установить межпереходные размеры и допуски на отклонения всех показателей точности детали.
11. Оформить чертеж заготовки.
12. Выбрать режимы обработки, обеспечивающие требуемое качество детали и производительность.
13. Выполнить нормирование технологического процесса изготовления детали.

14. Проработать другие варианты технологического процесса изготовления детали, рассчитать их себестоимость и выбрать наиболее экономичный вариант.

15. Оформить технологическую документацию.

16. Разработать технические задания на конструирование нестандартного оборудования, приспособлений, режущего и измерительного инструмента.

Подробнее остановимся на выборе методов обработки поверхностей детали и последующей компоновки из них технологических операций.

Задачей данной практической работы является создание плана обработки поверхностей детали и выбор таких методов и средств обработки ее поверхностей, которые позволили бы экономичным путем превратить заготовку в деталь и обеспечить при этом требуемое качество по всем показателям.

Выявление необходимого набора методов обработки по каждой поверхности детали относится к многовариантным задачам и предшествует этапу проектирования маршрутного технологического



Рис. 1. Схема определения необходимого числа переходов (методов обработки) по обработке поверхности А детали:

→ — процесс проектирования; --- → — процесс изготовления; А — обозначение поверхности;  $TA_{заг}$ ,  $TA_3$ ,  $TA_2$ ,  $TA_1$ ,  $TA_{дет}$  — допуски на поверхность заготовки после выполнения третьего, второго, первого переходов, допуск на поверхность детали соответственно;  $\omega_{A_{заг}}$ ,  $\omega_{A_1}$ ,  $\omega_{A_2}$ ,  $\omega_{A_3}$  — поля рассеяния погрешностей заготовки после первой, второй, третьей технологической операции соответственно

процесса изготовления детали. На выбор методов обработки и необходимого количества переходов влияют следующие факторы.

1. Требования к качеству, которым должна отвечать готовая деталь.
2. Качество заготовки.
3. Количество деталей, подлежащих изготовлению в единицу времени по неизменяемому чертежу.
4. Техничко-экономические показатели, характеризующие каждый метод обработки.

При выборе методов обработки и формировании технологических операций рекомендуется в основном придерживаться следующей последовательности (рис. 1).

1. Анализ служебного назначения поверхностей детали; выявление основных и вспомогательных базировочных поверхностей, свободных поверхностей.
2. Изучение технических требований к поверхностям детали: точность размера, точность относительного расположения поверхностей, макрогеометрия, микрогеометрия (шероховатость); требуемое состояние поверхностного слоя детали, твердость и др.
3. Выбор по таблицам экономической (статистической) точности по каждой поверхности метода обработки, который обеспечит требуемую точность детали по чертежу (окончательный метод обработки).
4. При заданных точностных характеристиках заготовки и выбранном финишном методе обработки в направлении от детали к заготовке назначение по каждой поверхности набора методов обработки, которые при реализации позволят получить из заготовки готовую деталь.
5. Выявление одноименных методов обработки по различным поверхностям деталей.
6. Группировка одноименных методов обработки с учетом стадий (этапов) обработки (черновой, чистовой, окончательный, отделочный).
7. Формирование технологических операций с целью разработки маршрутного и операционного технологических процессов на основе п. 5 и 6.

При реализации указанной выше последовательности проектирования технологических операций можно использовать наряду с таблицами экономической точности коэффициенты уточнения.

*Коэффициент уточнения* — отношение допуска на размер заготовки  $T_{\text{заг}}$  к допуску на соответствующий размер готовой детали  $T_{\text{дет}}$  (отношение допуска входного значения к допуску выходного параметра):

$$\xi = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}} \quad (1)$$

Этот коэффициент в большинстве случаев невозможно или невыгодно обеспечить на одной операции. Таким образом, возникает набор методов обработки, каждый из которых постепенно превращает заготовку в готовую деталь. Каждый последующий метод обработки имеет более высокую точность по сравнению с предыдущим, т.е. допуск на обработку меньше. Таким образом, каждая операция характеризуется коэффициентом уточнения операции:

$$\xi_k = \frac{T_{k-1}}{T_k}, \quad (2)$$

где  $k$  — порядковый номер операции;  $T_{k-1}$  — допуск на размер, полученный на предыдущей операции;  $T_k$  — допуск на соответствующий размер, полученный на данной операции

Произведение уточнений по операциям даст общее уточнение, которое необходимо обеспечить:

$$\xi = \xi_1 \xi_2 \dots \xi_k \dots \xi_n, \quad (3)$$

Чем больше разница между допуском на заготовку и допуском на готовую деталь, тем больше методов обработки участвуют в обеспечении заданной точности детали и тем длиннее технологический процесс.

Рассмотрим назначение методов обработки для обеспечения требуемой точности поверхности  $A$  детали. Пусть требуется изготовить партию валиков, погрешность наружных диаметров которых должна находиться в пределах допуска  $TA_{\text{дет}} = 2$  мкм. В качестве заготовки примем калиброванный прут с допуском на диаметральный размер  $TA_{\text{заг}} = 280$  мкм.

$$\xi = \frac{TA_{\text{заг}}}{TA_{\text{дет}}} = \frac{280}{2} = 140.$$

Технологические системы, способные обеспечить уточнения в 140 раз, отсутствуют, поэтому возникает необходимость в нескольких технологических переходах.

В качестве финишного метода обработки выбираем притирку, которая способна обеспечить погрешность обработки в пределах 2 мкм. Тогда, с учетом того что

$$\xi_1 = \frac{TA_2}{TA_1} = \frac{TA_2}{TA_{\text{дет}}} = \frac{15}{2} = 7,5.$$

Для поиска остальных методов находим их суммарное уточнение:

Аналогичным образом можно произвести расчет коэффициентов уточнения по величине шероховатости поверхности детали. При этом следует иметь в виду, что если коэффициент уточнения по шероховатости поверхности больше, чем коэффициент уточнения по точности размера, то набор необходимых методов обработки следует производить по шероховатости поверхности детали.

Направление расчета и нумерация переходов при составлении плана обработки идет от готовой детали к заготовке.



Значения коэффициентов уточнения должны быть больше единицы. Однако для термической обработки, операций нанесения гальванических покрытий и т.п. значения коэффициентов уточнения меньше единицы, так как эти виды обработки снижают точность детали.

Для того чтобы совместить выполнение переходов и уменьшить трудоемкость обработки, необходимо стремиться к тому, чтобы возможно большее количество поверхностей обрабатывалось одним методом и на одном оборудовании.

Возможна незначительная корректировка разработанного технологического процесса изготовления детали, вызванная выбранными технологическими базами, соблюдением принципа единства баз (если это эффективно), принципами концентрации или дифференциации переходов, необходимостью обработки с одной установки, обеспечением равномерности распределения припуска и др. Тем не менее обоснованный расчет или назначение набора методов обработки по каждой поверхности детали с использованием таблиц экономической точности позволит спроектировать технологический процесс изготовления детали с учетом экономической эффективности методов обработки.

Экономическая целесообразность заложена в виде допусков соответствующих методов обработки, обеспечение погрешностей в пределах которых на соответствующем металлообрабатывающем оборудовании на основании многочисленных статистических исследований можно считать эффективными с экономической точки зрения. Таким образом, технолог создает предпосылки для разработки технологического процесса изготовления деталей с минимальной себестоимостью.

Необходимо отметить, что проектирование плана обработки поверхностей имеет направленность от детали к заготовке. При изготовлении детали процесс обратный — от заготовки к детали.

После того как по каждой поверхности детали будет определен набор предполагаемых экономически целесообразных методов обработки, приступают к построению технологического процесса с учетом этапов (стадий) обработки и вида технологического процесса изготовления детали. Рассмотрим основное назначение каждого из этапов обработки детали.

*Черновой этап* — уменьшение и равномерное распределение припуска на последующую обработку; удаление поверхностных дефектов с заготовки; сравнительно невысокая точность обработки; высокопроизводительное оборудование.

*Чистовой этап* — обеспечение минимальных припусков под окончательные операции; режимы резания менее напряженные, чем при черновом этапе, оборудование более точное.

*Окончательный этап* — получение требуемой точности детали и качества поверхностного слоя; режимы резания, технологическое оборудование и оснастка назначаются с учетом обеспечения требований конструкторской документации.

*Отделочный этап* — обеспечение требуемого качества поверхностного слоя детали, если оно не было достигнуто на окончательном этапе из-за невозможности или экономической нецелесообразности; например, такие методы обработки, как суперфиниш, притирка, хонингование и т.п.

Виды этапов обработки и их совместное применение не является строго обязательным и определяется в каждом конкретном случае техническими требованиями к показателям качества изготавливаемой детали, способом получения заготовки, материалом детали, программой выпуска, типом производства.

При проектировании технологических процессов используют два взаимоисключающих принципа: принцип концентраций технологических переходов и принцип дифференциации переходов.

*Принцип концентрации технологических переходов* заключается в сосредоточении в одной операции выполнения большого числа технологических переходов по обработке разных поверхностей детали (единичное и серийное производство).

$$\xi_{2,3} = \frac{\xi_0}{\xi_1} = \frac{140}{7,5} = 18,6.$$

Бесцентровое шлифование по таблицам точности методов обработки обеспечивает точность диаметра в пределах 100 мкм. Отсюда получим

$$\xi_3 = \frac{280}{100} = 2,8.$$

Следовательно, между притиркой и бесцентровым шлифованием необходимо ввести еще один технологический переход — предварительную притирку с уточнением  $\xi_2$ :

$$\xi_2 = \frac{\xi_{2,3}}{\xi_3} = \frac{18,6}{2,8} = 6,8.$$

## 2. Содержание работы

Исходя из служебного назначения детали (рис. 2) в изделии, к последней предъявляются представленные в табл. 1 требования по точности размеров ( $\square D_1$ ,  $\square D_2$ ,  $\square D_3$ ,  $\square d_1$ ) и шероховатости поверхностей А, Б, В, Г. Заготовкой для данной детали является отливка (рис. 3), точность соответствующих размеров и шероховатость поверхностей которой представлена в табл. 2. Учитывая данные табл. 1 и 2 и основываясь на коэффициентах уточнения, в направлении от детали к заготовке по поверхностям А, Б, В, Г, необходимо назначить набор методов обработки, которые в своей совокупности обеспечат заданное качество обработанной поверхности.

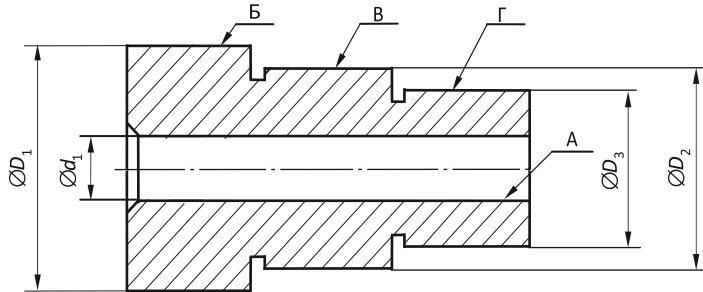


Рис. 2. Эскиз детали

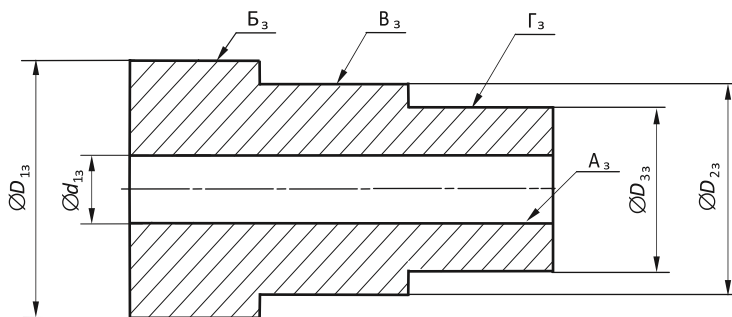


Рис. 3. Эскиз заготовки

**1. Требования по точности размеров и параметру шероховатости  $Ra$  поверхностей детали (рис. 2)**

Номер вари- анта	Точность размеров и шероховатость поверхностей детали							
	А		Б		В		Г	
	$\varnothing d_1$ , мм	$Ra_A$ , мкм	$\varnothing D_1$ , мм	$Ra_B$ , мкм	$\varnothing D_2$ , мм	$Ra_B$ , мкм	$\varnothing D_3$ , мм	$Ra_G$ , мкм
1	22H7	0,32	70h8	1,25	65h12	12,5	42h10	3,2
2	40H6	0,16	60h9	2,5	70h11	6,3	50h12	12,5
3	30H8	0,63	50h7	1,25	60h9	3,2	48h11	6,3
4	20H7	0,32	60h9	3,2	50h11	6,3	40h10	3,2
5	35H8	0,63	50h12	12,5	70h12	12,5	60h11	6,3
6	30H7	0,32	40h12	6,3	60h10	3,2	40h12	3,2
7	28H8	0,63	35h9	3,2	52h9	3,2	44h11	6,3
8	14H8	0,63	46h11	6,3	48h12	12,5	36h12	12,5
9	36H7	0,32	60h9	3,2	58h11	6,3	54h12	12,5
10	45H8	1,25	70h12	12,5	80h10	3,2	60h13	12,5
11	40H8	0,63	80h8	1,25	60h12	12,5	54h10	3,2
12	26H7	0,16	75h9	2,5	70h11	6,3	40h12	12,5
13	35H6	0,16	80h7	1,25	65h9	3,2	55h11	6,3
14	20H8	0,63	50h9	3,2	40h11	6,3	30h10	3,2
15	40H7	0,32	90h12	12,5	70h10	3,2	60h11	6,3
16	43H7	0,32	100h12	6,3	80h12	12,5	60h12	12,5
17	90H8	0,63	150h9	3,2	120h10	3,2	100h11	6,3
18	50H6	0,16	90h9	2,5	80h9	3,2	70h12	12,5
19	28H7	0,16	60h8	1,25	50h12	12,5	40h12	12,5
20	30H8	0,32	70h9	2,5	60h11	6,3	50h13	12,5
21	50H8	0,63	80h7	1,25	75h11	3,2	60h10	3,2
22	45H7	0,16	90h9	3,2	85h12	12,5	60h12	12,5
23	60H6	0,16	120h12	12,5	110h11	6,3	70h11	6,3
24	80H6	0,16	140h12	12,5	120h9	3,2	100h10	3,2
25	64H8	0,63	100h9	3,2	90h11	6,3	70h11	6,3
26	54H7	0,32	90h11	12,5	80h10	3,2	65h12	12,5
27	40H7	0,32	80h9	3,2	70h9	3,2	50h11	6,3
28	30H8	0,63	70h12	12,5	60h12	12,5	45h10	3,2
29	30H7	0,32	50h8	1,25	40h10	3,2	50h12	12,5
30	22H6	0,16	60h9	2,5	50h9	3,2	40h11	6,3

2. Точность размеров и параметр шероховатости  $Ra$  поверхностей заготовки (рис. 3)

Номер варианта	Точность размеров и шероховатость поверхностей заготовки							
	$A_3$		$B_3$		$B_3$		$\Gamma_3$	
	$\varnothing d_{13}$ мм	$Ra_{A3}$ мкм	$\varnothing D_{13}$ мм	$Ra_{B3}$ мкм	$\varnothing D_{23}$ мм	$Ra_{B3}$ мкм	$\varnothing D_{33}$ мм	$Ra_{\Gamma3}$ мкм
1	42±0,31	25	80±0,37	12,5	67±0,37	12,5	48±0,31	12,5
2	30±0,115	12,5	68±0,23	12,5	74±0,23	12,5	52±0,23	12,5
3	24±0,42	40	60±0,6	25	66±0,6	25	52±0,6	25
4	34±0,5	40	66±0,6	25	54±0,6	25	46±0,5	25
5	29±0,42	25	52±0,37	12,5	72±0,37	12,5	64±0,37	12,5
6	22±0,115	12,5	44±0,31	12,5	66±0,37	12,5	46±0,31	12,5
7	22±0,42	25	41±0,5	25	58±0,6	25	48±0,5	25
8	28±0,26	25	50±0,31	25	50±0,31	25	38±0,31	25
9	28±0,115	12,5	66±0,23	12,5	62±0,23	12,5	56±0,23	12,5
10	41±0,125	12,5	72±0,15	12,5	86±0,175	12,5	62±0,15	12,5
11	44±0,5	40	90±0,7	25	62±0,6	25	60±0,6	25
12	30±0,26	25	83±0,435	25	74±0,37	25	42h±0,31	25
13	25±0,42	40	90±0,7	25	71±0,6	25	59±0,6	25
14	19±0,42	40	56±0,6	25	44±0,5	25	36±0,5	25
15	52±0,37	25	92±0,435	12,5	76±0,37	12,5	64±0,6	12,5
16	35±0,125	12,5	104±0,175	12,5	82±0,175	12,5	62±0,15	12,5
17	84±0,7	40	156±0,8	25	126±0,8	25	104±0,7	25
18	40±0,31	25	98±0,435	12,5	86±0,435	12,5	72±0,37	12,5
19	30±0,115	12,5	70±0,23	12,5	52±0,23	12,5	42±0,195	12,5
20	22±0,115	12,5	78±0,23	12,5	64±0,23	12,5	52±0,23	12,5
21	44±0,5	40	90±0,7	25	81±0,7	25	66±0,6	25
22	50±0,195	12,5	96±0,27	12,5	87±0,27	12,5	62±0,23	12,5
23	50±0,125	12,5	122±0,2	12,5	114±0,435	12,5	74±0,15	12,5
24	90±0,7	40	142±0,8	25	126±0,7	25	106±0,7	25
25	59±0,23	12,5	106±0,27	12,5	94±0,27	12,5	74±0,23	12,5
26	52±0,6	40	92±0,7	25	86±0,7	25	67±0,6	25
27	32±0,31	25	86±0,435	12,5	76±0,37	12,5	54±0,37	12,5
28	24±0,115	12,5	72±0,23	12,5	62±0,23	12,5	51±0,23	12,5
29	22±0,42	12,5	60±0,6	25	46±0,5	25	52±0,6	25
30	30±0,26	25	68±0,37	12,5	56±0,37	12,5	44±0,31	12,5

3. Таблица допусков [2]

Номинальные размеры, мм	Допуски (мкм) для определения полей допусков									
	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15
	h6	h7	h8	h9	h10	h11	h12	h13	h14	h15
Св. 18 до 30	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840
Св. 30 до 50	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000
Св. 50 до 80	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200
Св. 80 до 120	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400
Св. 120 до 180	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600

4. Точность и параметры поверхностного слоя при обработке наружных цилиндрических поверхностей [2]

Метод обработки	Параметр шероховатости $Ra$ , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска	Технологические допуски, мкм, на размер при номинальных диаметрах поверхности, мм				
				Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
Точение: черновое	50 ... 6,3	120...60	14	—	620	740	870	1000
			13	330	390	460	540	630
			12	210	250	300	350	400
полу- чистовое или одно- кратное	25 ... 1,6	50...20	13	330	390	460	540	630
			12	210	250	300	350	400
чистовое	6,3...0,4	30...20	11	130	160	190	220	250
			10	84	100	120	140	160
			9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
тонкое	1,6...0,2	10...5	9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
			7	21	25	30	35	40
			6	13	16	19	22	25

Окончание табл. 5

Метод обработки	Параметр шероховатости $R_a$ , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска	Технологические допуски, мкм, на размер при номинальных диаметрах поверхности, мм				
				Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
чистовое после чернового или сверления	25...0,4	50...20	12	210	250	300	350	–
			11	130	160	190	220	–
			10	84	100	120	140	–
			9	52	62	74	87	–
			8	33	39	46	57	–
Развертывание:								
нормальное	12,5...0,8	25...15	11	130	160	190	220	250
			10	84	100	120	140	160
точное	6,3...0,4	15...5	9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
			7	21	25	30	35	40
тонкое	3,2...0,1	10...5	6	13	16	19	22	25
			5	9	11	13	15	18
Протягивание:								
черновое литого или прошитого отверстия	12,5...0,8	25...10	11	–	160	190	220	250
			10	–	100	120	140	160
чистовое после чернового или сверления	6,3...0,2	10...5	9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
			7	21	25	30	35	40
			6	13	16	19	22	25

Окончание табл. 4

Метод обработки	Параметр шероховатости $R_a$ , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска	Технологические допуски, мкм, на размер при номинальных диаметрах поверхности, мм				
				Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
Шлифование: предварительное	6,3...0,4	20	9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
чистовое	3,2...0,2	15...5	7	21	25	30	35	40
			6	13	16	19	22	25
тонкое	1,6...0,1	5	6	13	16	19	22	25
			5	9	11	13	15	18
Притирка, суперфиниширование	0,8...0,1	5...3	5	9	11	13	15	18
			4	6	7	8	10	12

**5. Точность и параметры поверхностного слоя при обработке внутренних цилиндрических поверхностей [2]**

Метод обработки	Параметр шероховатости $R_a$ , мкм	Глубина дефектного поверхностного слоя, мкм	Квалитет допуска	Технологические допуски, мкм, на размер при номинальных диаметрах поверхности, мм				
				Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
Сверление и рассверливание	25...0,8	70...15	13	330	390	460	—	—
			12	210	250	300	—	—
			11	130	160	190	—	—
			10	84	100	120	—	—
			9	52	62	74	—	—
Зенкерование:								
черновое	25...6,3	50...20	13	330	390	460	540	—
			12	210	250	300	350	—
однократное литого или прошитого отверстия	25...0,4	50...20	13	330	390	460	540	—
			12	210	250	300	350	—
			13	330	390	460	540	—

### 3. Порядок выполнения работы

1. Изучить общие сведения о видах технологических процессов.
2. Изучить последовательность разработки технологического процесса изготовления детали.
3. Изучить физическую сущность понятия уточнение при обработке различными методами.

4. По заданию преподавателя выбрать из табл. 1 и 2 вариант задания в соответствии с рис. 2 и 3.
5. Изобразить эскизы заготовки и детали.
6. Зная качество точности и шероховатость поверхностей по каждой поверхности, выбрать финишный метод обработки.
7. Определить набор методов обработки на каждой поверхности с использованием коэффициентов уточнения по точности размеров.
8. Оформить отчет по работе.
9. Ответить на контрольные вопросы

#### 4. Содержание отчета

Отчет должен быть выполнен в соответствии с требованиями по оформлению учебных работ и содержать:

- наименование и цель работы;
- эскизы заготовки и детали с указанием размеров и шероховатостей поверхностей в соответствии с номером варианта;
- необходимые расчеты и пояснения по выбору наборов методов обработки поверхностей;
- набор методов обработки по каждой поверхности детали; • выводы по работе.

В процессе сдачи отчета студент должен дать ответы на заданные преподавателем вопросы по результатам работы и приведенным в разд. 1 теоретическим сведениям.

#### 6. Контрольные вопросы

1. В чем отличие технологического процесса от производственного?
2. Что понимают под технологической операцией?
3. Какие известны виды технологических процессов с точки зрения уровня обобщения?
4. Чем обусловлена последовательность разработки технологического процесса изготовления деталей?
5. Как определяется число методов обработки поверхностей детали?
6. Что понимают под коэффициентом уточнения и для чего он необходим?
7. Названия и назначения этапов обработки деталей резанием?

### Практическая работа 5.

**Тема:** Исследования точности технологических операций механической операции

**Цель работы:** изучение этапов исследования точности технологических операций

#### 1. Основные теоретические сведения

Под *качеством* понимается совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности человека в соответствии с ее служебным назначением. Различают следующие три вида значения любого показателя качества.

1. *Расчетное* (теоретическое, номинальное) значение, определяемое в результате расчета. Такие показатели существуют в виде предельных размеров (допусков) в конструкторской документации.
2. *Действительное*, т.е. объективно существующее значение, определяется с помощью средств измерения с определенной погрешностью.
3. *Измеренное* — это действительное значение, познание с каким-то отклонением, вызванным погрешностью метода и средства измерения, и принимаемое за действительное.

Вероятностные явления, сопровождающие процесс изготовления машины и ее деталей, вызывают отклонения показателей качества изделий от своих расчетных (номинальных) значений. Более того, возникшие отклонения могут быть определены также

#### 1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

с какими-то ошибками, что приводит к искаженному представлению результата, достигнутого в действительности. Таким образом, между расчетными, действительными и измеренными значениями показателей качества, имеются различия. Оценка качества изделий может быть осуществлена посредством определения отклонений действительных значений показателей качества от расчетных.

Качество детали определяют, с одной стороны, по соответствию свойств материала, из которого она изготовлена, свойствам, предписанным ее служебным назначением, и с другой — по соответствию геометрического образа детали своему идеальному прототипу.

Состав показателей качества материала детали охватывает химические и физико-механические свойства как самого материала, так и его поверхностных слоев. К таким свойствам относятся химический состав, структурное состояние, тепло- и электропроводность, прочность, упругость, твердость, распределение и знак остаточных напряжений и др.

Представление о геометрическом образе детали дают форма и размеры поверхностей, расстояния между ними и их относительное угловое положение. В связи с этим различают четыре вида показателей, отображающих качество детали с геометрической стороны:

- 1) точность размеров;
- 2) точность относительного положения поверхностей;
- 3) точность формы поверхностей (макрогеометрия);
- 4) шероховатость поверхностей (микрогеометрия).

По четырем вышеперечисленным показателям геометрической точности оценивают реальную поверхность (рис. 1).

Под *точностью показателя* понимают степень приближения действительного значения показателя к его расчетному значению. Под *точностью оценки или измерения показателя* понимают степень приближения измеренного значения показателя к его действительному значению.

*Погрешность* определяется как разность между расчетной величиной показателя качества и реальной (измеренной) величиной. Погрешность должна находиться в пределах поля допуска, в противном случае, возникает понятие брака исправимого или неисправимого.

Погрешности разделяют на следующие виды:



Рис. 1. Геометрическая точность реальной поверхности:

$y_k$  — размер (расстояние) по оси  $Y$ ;  $\alpha$  — угол относительного положения плоскости (угол поворота);  $\Phi_{нб}$  — наибольшее отклонение формы реальной поверхности от прилегающей плоскости;  $Ra (Rz)$  — параметр шероховатости поверхности

1. Случайные, которые возникают при изготовлении конкретной детали в результате большого числа факторов, действующих на технологическую систему. Например, колебание припуска и твердости как в пределах одной обрабатываемой заготовки, так и в пределах партии заготовок; неоднородность материала; случайные колебания температуры и т.п. Случайные отклонения точности изделий чаще всего подчиняются закону нормального распределения.

2. Систематические погрешности, в отличие от случайных, не имеют вероятностного характера, их значительно легче выявить и учесть, а значит, устранить или уменьшить. Систематические погрешности делятся на следующие:

- *постоянные* — остающиеся неизменными на протяжении обработки (погрешность базирования, погрешность средств измерения и т.п.);
- *закономерно изменяющиеся* — изменяющиеся в процессе обработки по определенному закону (размерный износ инструмента и т.п.).

При обработке деталей или изделий партиями на предварительно настроенном оборудовании измерение каждой детали, тем более по многим параметрам, не представляется возможным. Для анализа точности в этом случае используют аппарат математической статистики, который может быть применен, если исследователь имеет дело с массовым явлением, где наблюдается рассеяние параметров, вызванное действием большого количества разно-

Наиболее наглядным способом анализа хода технологического процесса является использование точечных диаграмм (рис. 2). По оси абсцисс точечной диаграммы откладывают номера деталей в порядке их изготовления, а по оси ординат — значение показателя качества (например, диаметр).



Особенностью метода является то, что в процессе исследования отмечаются отклонения от правильного хода технологического процесса и принимаются меры для их устранения. Метод точечных диаграмм является научно обоснованным способом выборочного контроля, его применяют для организации статистического контроля технологических процессов.

Разность между наибольшим  $A_{\max}$  и наименьшим  $A_{\min}$  значениями показателя качества изделия, полученного в результате обработки, называют *полем рассеяния*:

$$\square_A = A_{\max} - A_{\min}. \quad (1)$$

Поле рассеяния можно разбить на интервалы и определить число размеров  $m$ , попадающих в каждый из интервалов (*частоту*

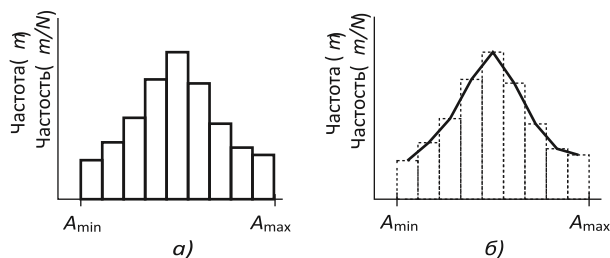


Рис. 3. Гистограмма (а) и полигон (б) распределения размеров

появления размера) или отношение числа размеров, попадающих в каждый интервал, к общему числу измерений  $N$  (*частота появления размера*). Отложив по оси абсцисс интервалы, а по оси ординат — частоты или частоты появления размеров строят *частотную диаграмму*

## 2. Пример выполнения работы

Предположим, что была произведена обработка наружных диаметров партии из 50 заготовок на токарном станке, предварительно настроенном на размер  $\Phi 62_{-0,5}$ . Результаты измерений обработанных поверхностей 50 деталей представлены в табл. 3. Необходимо оценить точность технологической операции.

1. Строим точечную диаграмму (рис. 5), на которую наносим линии, соответствующие наибольшему  $D_{\text{нб}} = 62$  мм и наименьшему  $D_{\text{нм}} = 61,5$  мм предельным значениям размера  $\Phi 62_{-0,5}$ . Указываем величину допуска  $TD = 0,5$  мм, показываем поле рассеяния  $\square_D$ , величину погрешности, вызванной действием постоянных факторов  $\alpha$ , поле рассеяния под действием случайных факторов  $\square_{\tau}$ , поле рассеяния под действием систематических факторов, изменяющихся по определенному закону  $\square_{\epsilon}$ .

## 3. Результаты измерений

№ дет.	$D$ , мм	№ дет.	$D$ , мм	№ дет.	$D$ , мм	№ дет.	$D$ , мм	№ дет.	$D$ , мм
1	61,66	11	61,70	21	61,76	31	61,83	41	61,90
2	61,69	12	61,80	22	61,76	32	61,81	42	61,89
3	61,68	13	61,77	23	61,77	33	61,84	43	61,87
4	61,68	14	61,80	24	61,76	34	61,83	44	61,89
5	61,68	15	61,76	25	61,79	35	61,86	45	61,94
6	61,70	16	61,77	26	61,77	36	61,81	47	61,92
7	61,72	17	61,76	27	61,81	37	61,83	47	61,92
8	61,73	18	61,79	28	61,81	38	61,86	48	61,94
9	61,74	19	61,75	29	61,80	39	61,85	49	61,92
10	61,71	20	61,77	30	61,82	40	61,85	50	61,93



2. Определяем поле рассеяния по формуле (1):

$$\omega_D = D_{\max} - D_{\min} = 61,94 - 61,66 = 0,28 \text{ мм.}$$

В соответствии с формулой (3) производим разбивку поля рассеяния на  $n = \sqrt{50} \approx 7$  интервалов.

2.1. Определяем ширину (цену) интервала по формуле (4):

$$h = \frac{\omega_D}{n} = \frac{0,28}{7} = 0,04 \text{ мм.}$$

Определяем границы интервалов и заносим их в графу 2 табл. 4.

3. По формуле (5) рассчитываем середины интервалов и заносим их в графу 3 табл. 4.

1. Определяем частоты и частоты появления размеров. Записываем их в соответствующие графы табл. 4.

2. Рассчитываем накопленные частоты и частоты. Фиксируем их в графах 6 и 7 табл. 4.

#### 4. Результаты расчетов

№ интервала	Границы интервала $D_{\min}; D_{\max}$ , мм	Середина интервала – $X_i$ , мм	Частота $m_i$	Частость $m_i/N$	Накопленные частоты $\square m_i$	Накопленные частоты $\square m_i/N$
1	61,66; 61,70	61,680	5	0,10	0,10	5
2	61,70; 61,74	61,720	5	0,10	0,20	10
3	61,74; 61,78	61,760	12	0,24	0,44	22
3	61,78; 61,82	61,800	9	0,18	0,62	31
5	61,82; 61,86	61,840	7	0,14	0,76	38
6	61,86; 61,90	61,880	5	0,10	0,86	43
7	61,90; 61,94	61,920	7	0,14	1,00	50

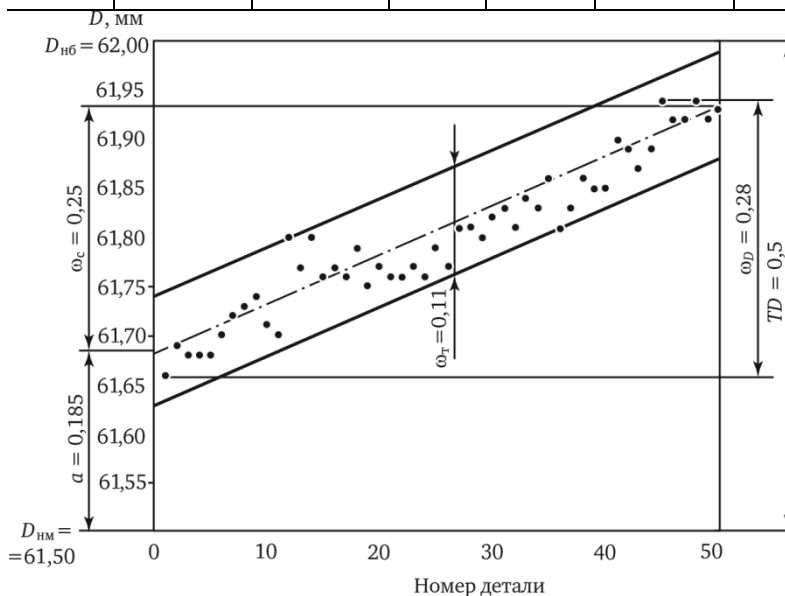


Рис. 5. Точечная диаграмма

3. Строим гистограмму практического распределения (рис. 6).

4. Строим полигон практического распределения (рис. 7).

5. Рассчитываем статистические характеристики процесса.

5.1. По формуле (6) определяем среднее арифметическое значение размера:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{X}_i}{N} = \frac{5 \cdot 61,68 + 5 \cdot 61,72 + 12 \cdot 61,76 + 9 \cdot 61,80}{50} + \frac{7 \cdot 61,84 + 5 \cdot 61,88 + 7 \cdot 61,92}{50} \approx 61,80 \text{ мм.}$$

8.2. Определяем величину среднего квадратического (стандартного) отклонения размеров по формуле (7):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n m_i (\bar{X}_i - \bar{D})^2}{N}} = \left( \frac{5(61,68 - 61,80)^2 + 5(61,72 - 61,80)^2}{50} + \frac{12(61,76 - 61,80)^2 + 9(61,80 - 61,80)^2 + 7(61,84 - 61,80)^2}{50} + \frac{5(61,88 - 61,80)^2 + 7(61,92 - 61,80)^2}{50} \right)^{0,5} = 0,073.$$

9. Определяем коэффициент смещения кривой практического распределения размеров по формуле (8):

$$E = \frac{\bar{D} - D_{T0}}{TA} = \frac{61,80 - 61,75}{0,5} = 0,1.$$

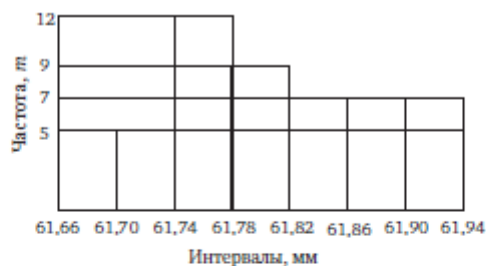


Рис. 6. Гистограмма практического распределения

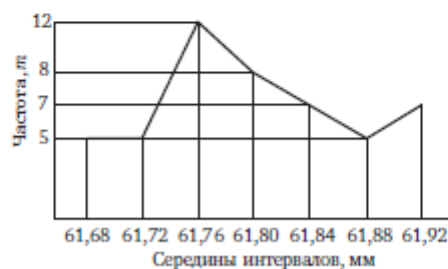


Рис. 7. Полигон практического распределения размеров

### Содержание отчета

Отчет должен быть выполнен в соответствии с требованиями по оформлению:

- наименование работы и ее цель;
- исходные данные (номер варианта, эскиз детали с измеряемым размером и допуском на него, число измеряемых деталей);
- все необходимые расчетные формулы, таблицы и графики;
- выводы по работе.

В процессе сдачи отчета студент должен дать ответы на заданные преподавателем вопросы по результатам работы и приведенным в разд. 1 теоретическим сведениям.

# 1. Варианты заданий

Номер детали	1	2	3	4	5	6	7	8
	D, мм							
	Ø14,0 <sub>-0,4</sub>	Ø20,0 <sub>-0,4</sub>	Ø25,0 <sub>-0,2</sub>	Ø8,0 <sub>-0,2</sub>	Ø15,0 <sub>-0,3</sub>	Ø60,0 <sub>-0,4</sub>	Ø42,0 <sub>-0,5</sub>	Ø50,0 <sub>-0,5</sub>
1	13,63	19,77	24,85	7,81	14,76	59,72	41,60	49,58
2	13,64	19,79	24,84	7,80	14,75	59,73	41,62	49,59
3	13,65	19,84	24,85	7,82	14,76	59,75	41,60	49,58
4	13,66	19,85	24,85	7,81	14,77	59,76	41,61	49,59
5	13,67	19,87	24,86	7,83	14,75	59,77	41,63	49,60
6	13,68	19,88	24,87	7,84	14,77	59,75	41,64	49,61
7	13,69	19,90	24,88	7,84	14,76	59,76	41,63	49,62
8	13,70	19,91	24,89	7,83	14,77	59,74	41,65	49,63
9	13,71	19,90	24,88	7,85	14,79	59,76	41,66	49,61
10	13,72	19,89	24,89	7,86	14,78	59,77	41,67	49,64
11	13,73	19,91	24,90	7,88	14,79	59,75	41,67	49,66
12	13,74	19,92	24,92	7,86	14,78	59,77	41,68	49,65
13	13,75	19,94	24,92	7,88	14,79	59,78	41,69	49,68
14	13,76	19,93	24,93	7,89	14,78	59,77	41,79	49,70
15	13,77	19,94	24,91	7,76	14,80	59,76	41,70	49,72
16	13,78	19,96	24,91	7,88	14,81	59,78	41,71	49,73
17	13,79	19,97	24,89	7,89	14,80	59,80	41,73	49,74
18	13,80	19,95	24,92	7,86	14,79	59,81	41,70	49,71
19	13,81	19,96	24,91	7,85	14,81	59,82	41,71	49,79
20	13,82	19,98	24,94	7,88	14,80	59,80	41,72	49,75
21	13,83	19,95	24,92	7,90	14,82	59,82	41,70	49,76
22	13,84	19,97	24,93	7,89	14,81	59,84	41,75	49,77
23	13,85	19,98	24,96	7,91	14,84	59,84	41,73	49,78
24	13,86	20,00	24,97	7,90	14,83	59,83	41,76	49,80
25	13,87	20,05	24,95	7,89	14,85	59,85	41,77	49,81
26	13,88	19,97	24,94	7,91	14,84	59,84	41,78	49,82
27	13,89	19,94	24,96	7,92	14,87	59,83	41,76	49,80
28	13,90	19,99	24,97	7,94	14,86	59,82	41,77	49,83
29	13,91	19,94	24,96	7,92	14,88	59,85	41,74	49,82
30	13,92	19,98	24,95	7,93	14,89	59,86	41,79	49,84
31	13,63	20,04	24,93	7,95	14,90	59,85	41,78	49,85
32	13,65	20,06	24,97	7,96	14,91	59,83	41,79	49,85
33	13,67	20,05	24,98	7,94	14,89	59,86	41,88	49,67
34	13,69	20,01	24,96	7,93	14,90	59,87	41,80	49,86
35	13,71	20,02	24,95	7,96	14,91	59,90	41,81	49,88
36	13,73	20,03	24,96	7,95	14,92	59,89	41,82	49,89
37	13,75	20,02	24,99	7,94	14,89	59,92	41,80	49,87
38	13,77	20,04	24,96	7,97	14,91	59,93	41,82	49,88
39	13,79	20,05	24,98	7,96	14,90	59,90	41,84	49,90
40	13,81	20,07	24,99	7,96	14,92	59,91	41,83	49,92
41	13,72	20,08	24,96	7,97	14,93	59,90	41,82	49,93
42	13,74	20,09	25,00	7,98	14,92	59,93	41,86	49,90
43	13,76	20,07	25,02	7,96	14,93	59,94	41,85	49,91

Продолжение табл. 1

Номер детали	9	10	11	12	13	14	15	16
	D, мм							
	Ø36,0 <sub>-0,5</sub>	Ø62,0 <sub>-0,4</sub>	Ø20,0 <sub>-0,3</sub>	Ø30,0 <sub>-0,3</sub>	Ø41,0 <sub>-0,2</sub>	Ø8,0 <sub>-0,15</sub>	Ø67,0 <sub>-0,7</sub>	Ø54,8 <sub>-0,4</sub>
1	35,64	61,77	19,75	29,75	40,85	7,89	66,68	54,42
2	35,63	61,76	19,75	29,76	40,86	7,88	66,65	54,41
3	35,63	61,75	19,74	29,74	40,85	7,89	66,67	54,42
4	35,62	61,79	19,74	29,76	40,85	7,88	66,66	54,43
5	35,62	61,76	19,75	29,77	40,84	7,90	66,66	54,43
6	35,65	61,78	19,76	29,76	40,86	7,90	66,66	54,44
7	35,64	61,78	19,75	29,75	40,86	7,89	66,65	54,45
8	35,66	61,76	19,75	29,76	40,85	7,89	66,68	54,45
9	36,66	61,74	19,76	29,78	40,86	7,89	66,68	54,48
10	35,67	61,76	19,76	29,79	40,86	7,90	66,68	54,46
11	35,65	61,75	19,77	29,78	40,86	7,91	66,70	54,47
12	35,67	61,76	19,78	29,79	40,86	7,91	66,68	54,47
13	35,66	61,76	19,77	29,80	40,87	7,91	66,68	54,49
14	35,67	61,76	19,78	29,81	40,85	7,90	66,70	54,48
15	35,67	61,75	19,78	29,82	40,85	7,90	66,70	54,50
16	35,68	61,75	19,78	29,80	40,85	7,91	66,70	54,51
17	35,65	61,75	19,78	29,81	40,86	7,92	66,70	54,51
18	35,71	61,76	19,77	29,80	40,83	7,91	66,70	54,51
19	35,70	61,75	19,77	29,82	40,84	7,91	66,75	54,51
20	35,69	61,75	19,77	29,84	40,86	7,91	66,72	54,54
21	35,71	61,75	19,78	29,84	40,86	7,92	66,74	54,53
22	35,69	61,76	19,79	29,84	40,88	7,91	66,73	54,53
23	35,69	61,75	19,80	29,86	40,86	7,92	66,72	54,53
24	35,69	61,76	19,79	29,86	40,87	7,92	66,73	54,53
25	35,69	61,74	19,79	29,87	40,86	7,93	66,73	54,58
26	35,69	61,75	19,78	29,86	40,87	7,92	66,74	54,57
27	35,71	61,74	19,79	29,87	40,87	7,93	66,74	54,58
28	35,69	61,74	19,79	29,85	40,85	7,92	66,75	54,57
29	35,70	61,75	19,78	29,86	40,86	7,93	66,74	54,58
30	35,69	61,74	19,78	29,87	40,86	7,94	66,77	54,58
31	35,68	61,74	19,80	29,90	40,89	7,93	66,77	54,59
32	35,69	61,75	19,79	29,91	40,89	7,94	66,75	54,56
33	35,69	61,73	19,83	29,92	40,88	7,93	66,75	54,57
34	35,72	61,74	19,83	29,90	40,88	7,95	66,75	54,59
35	35,71	61,74	19,83	29,92	40,90	7,95	66,76	54,58
36	35,72	61,74	19,82	29,94	40,89	7,95	66,78	54,60
37	35,71	61,73	19,82	29,95	40,88	7,94	66,81	54,59
38	35,71	61,73	19,82	29,94	40,90	7,94	66,83	54,58
39	35,75	61,74	19,82	29,93	40,90	7,94	66,80	54,68
40	35,75	61,73	19,82	29,96	40,91	7,95	66,83	54,67
41	35,74	61,74	19,82	29,99	40,91	7,96	66,78	54,69
42	35,74	61,73	19,84	29,98	40,91	7,95	66,84	54,67
43	35,73	61,71	19,83	30,00	40,91	7,96	66,88	54,69

## 5. Контрольные вопросы

1. Какие существуют виды показателей качества?
2. Что понимают под погрешностью и в чем причины ее возникновения?
3. Приведите примеры случайных и систематических погрешностей. В чем принципиальное различие между ними?
4. В чем назначение точечной диаграммы?
5. Что характеризует угол наклона средней линии точечной диаграммы?
6. В чем отличие поля допуска от поля рассеяния?
7. Что характеризует среднее квадратическое отклонение размеров?
8. Как изменится форма полигона распределения при увеличении числа измерений и увеличении числа интервалов?
9. Что показывает коэффициент смещения кривой практического распределения размеров относительно кривой нормального распределения?

## 6. Список литературы

1. **Бурцев В.М., Васильев А.С., Дальский А.М.** Основы технологии машиностроения: в 2-х т. Т. 1 / под ред. А.М. Дальского. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 564 с.
2. **Маталин А.А.** Технология машиностроения. Л.: Машиностроение, 1985. 512 с.

**Цель работы:** Изучение методики расчета технологических операционных размеров при изготовлении деталей.

## 1. Общие положения по расчету технологических операционных размеров

### 1.1. Анализ трех характеристик точности обработки

С конструктивной точки зрения большинство машиностроительных деталей может быть представлено в виде различных комбинаций двух элементарных поверхностей (плоских поверхностей и поверхностей вращения) и разного рода фасонных поверхностей.

Задача проектирования технологического процесса механической обработки детали включает в себя ограниченное множество более мелких задач проектирования процессов обработки отдельных сочетаний поверхностей детали. Каждая из этих задач, в свою очередь, может быть представлена в виде ограниченного множества локальных задач обработки отдельных элементарных или фасонных поверхностей. Такое представление процесса механической обработки всей детали позволяет рассматривать вопросы обеспечения качества и точности применительно к каждой из ее элементарных или фасонных поверхностей, что значительно упрощает решаемую задачу.

С точки зрения расположения удаляемого припуска все поверхности детали целесообразно делить на следующие:

- поверхности с односторонним или несимметричным расположением припуска на обработку (плоские поверхности, торцевые и др.);
- поверхности с двухсторонним или симметричным расположением припуска на обработку (поверхности вращения, поверхности пазов и др.).

С учетом вышеперечисленных положений точность механической обработки любой детали должна определяться следующими тремя характеристиками.

1. Точность поверхности, подвергаемой обработке (диаметр вала, диаметр отверстия и т.д.).
2. Точность размера, координирующего положение обрабатываемой поверхности относительно других поверхностей (данная точность может характеризоваться также величиной биения, несоосностью и другими параметрами, определяющими взаимное расположение поверхностей).
3. Точность формы поверхности, характеризуемой допустимыми отклонениями по форме поверхности (овальность, бочкообразность и пр.), а также отклонениями по перпендикулярности и непараллельности поверхностей.

Под припуском понимается слой материала, подлежащий удалению с поверхности заготовки в целях достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности.

Минимальный припуск на обработку  $Z_{\min}$  необходим для устранения дефектов заготовки и обеспечения возможности перехода от заготовки к детали при наличии погрешности установки заготовки и распределения припусков на поверхностях, подлежащих обработке, которое произошло в результате выбора технологических баз для первой операции. Существуют два метода расчета величины минимального припуска на обработку.

При использовании расчетно-аналитического метода определяют составляющие минимальной величины припуска, которую необходимо иметь по каждой поверхности для компенсации соответствующих погрешностей.

В этом случае минимальная величина припуска для  $i$ -й операции (перехода) обработки данной поверхности определяется:

- при одностороннем (несимметричном) расположении припуска

$$Z_{\min_i} = Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \epsilon_i; \quad (1)$$

- при двустороннем (симметричном) расположении припуска

$$2Z_{\min i} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_i), \quad (2)$$

где  $Rz_{i-1}$  — высота микронеровностей, полученная на данной поверхности после ее обработки на предшествующей операции (переходе), мкм;  $h_{i-1}$  — глубина дефектного поверхностного слоя, полученная на предшествующей операции (переходе), мкм;  $\Delta_{\Sigma_{i-1}}$  — суммарное отклонение расположения поверхности, полученное на предшествующей операции (переходе), мкм;  $\varepsilon_i$  — погрешность установки заготовки на выполняемой операции (переходе), мкм.

Для пооперационного определения слагаемых формул (1) и (2) возможно использование нормативно-справочных данных [2] и [4].

В отдельных случаях, например когда не требуется особая точность при определении величин минимального припуска, значение  $Z_{\min}$  может быть определено с использованием *опытно-статистического метода* по табл. 1 или аналогичным таблицам из справочников.

1. Размеры минимальных припусков

<i>Минимальные припуски на черновое подрезание торцов, фрезерование и строгание</i>	
Наибольший габаритный размер заготовки, мм	Из сталей, полученных горячей штамповкой, припуск $Z_{\min}$ на сторону, мм
До 30	0,9
Св. 30 до 120	1,0
Св. 120 до 260	1,2
<i>Минимальные припуски на чистовое подрезание торцов и фрезерование</i>	
Диаметр подрезаемого торца или длина поверхности при фрезеровании, мм	Припуск $Z_{\min}$ на сторону, мм
До 30	0,30
Св. 30 до 120	0,40
Св. 120 до 260	0,55
<i>Минимальные припуски на шлифование и тонкое фрезерование</i>	
Диаметр обрабатываемого торца или длина поверхности, мм	Припуск $Z_{\min}$ на сторону, мм
До 30	0,10
Св. 30 до 120	0,15
Св. 120 до 260	0,20

*Длинновой операционный размер* — это размер, характеризующий поверхность с односторонним расположением припуска (плоскости, торцевые поверхности и др.), а также размеры между осями. Исходными данными для расчета длинновых операционных размеров являются:

- 1) чертеж детали;
- 2) чертеж заготовки (при наличии);
- 3) план обработки, или непосредственно технологические карты, содержащие эскизы обрабатываемой детали с указанием технологических баз, операционных размеров в виде размерных линий, типа и модели обрабатывающего оборудования, размерной точности обработки (квалитет) и шероховатости обрабатываемых поверхностей для каждой операции.

Расчет длинновых операционных размеров ведется в следующем порядке [3].

#### I. Составление схемы обработки.

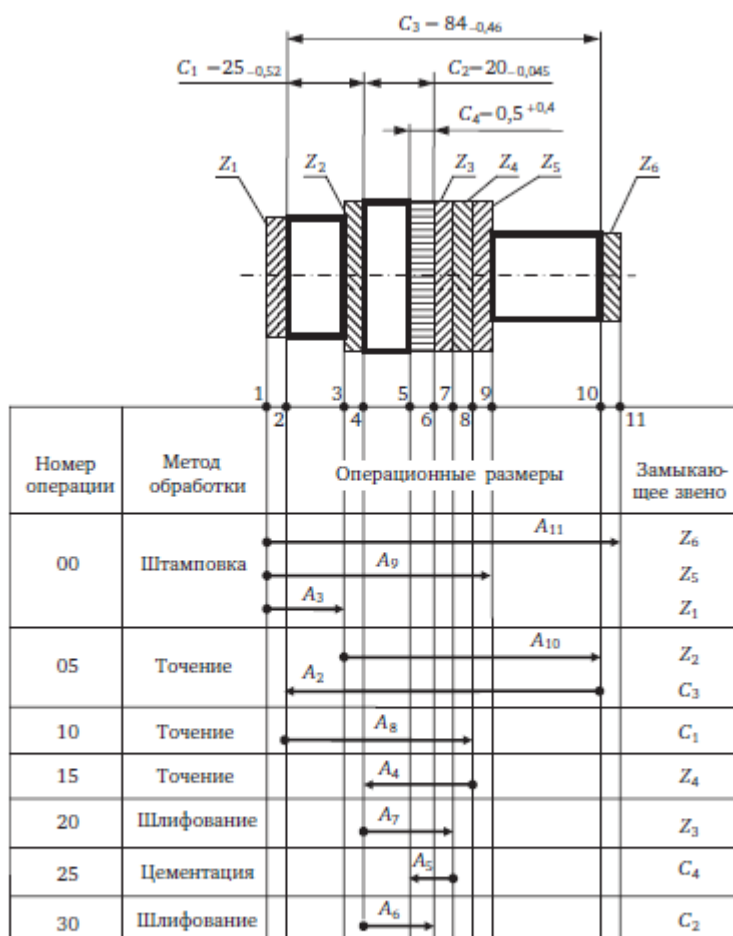
На основании данных чертежей детали и заготовки (при наличии), а также маршрутного технологического процесса составляется схема обработки детали, пример которой показан на рис. 1.

Схема обработки представляет собой эскиз детали с указанием всех чертежных размеров, припусков и операционных размеров. На схеме ниже эскиза проводится горизонтальная линия, на которую вертикальными линиями проектируются все без исключения поверхности: поверхности готовой детали, поверхности заготовки и все промежуточные поверхности, образуемые на операциях. На горизонтальной поверхности все размеры нумеруются слева направо.

Над эскизом указываются все чертежные размеры детали в одном направлении (кроме фасок), включая глубину термоупрочняемого слоя по каждой поверхности отдельно. Чертежные размеры с допусками



обозначаются буквой  $C$  с нижним индексом, соответствующим порядковому номеру чертежного размера (например,  $C_1$ ,  $C_2$  и др.). Также над эскизом детали на схеме указываются все операционные припуски. Они обозначаются буквой  $Z$  с нижним индексом, со-



Размер  $C_4$  соответствует глубине цементованного слоя по чертежу, а размер  $A_5$  — глубине цементованного слоя для термического цеха

Рис. 1. Схема обработки детали

Допуски на чертежные размеры назначаются в соответствии с чертежом детали.

При назначении допусков на операционные размеры и размеры заготовки действуют следующим образом.

1. Приблизленно определяют величины размеров, используя чертежные размеры и припуски. Для рассматриваемого примера получим:

$$A_6 = C_2, A_5 = C_4 + Z_3, \\ A_7 = C_2 + Z_3 \text{ и т.д.}$$

2. По таблицам экономической точности методов обработки [2] для соответствующего метода обработки выбирают допуски на операционные размеры. Допуски на размеры заготовки назначаются исходя из способа ее получения.

При назначении допусков на операционные размеры и размеры заготовки необходимо учитывать следующее:

а) при выдерживании размера от необработанной поверхности (в рассматриваемом примере это размер  $A_{10}$ ) допуск на размер определяется по формуле

$$T_{\text{оп}} = \frac{T_{\text{заг}} + T_{\text{м}}}{2}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{заг}}$  — допуск на соответствующий размер заготовки;  $T_{\text{м}}$  — допуск на обработку на данной операции, назначенный по таблицам экономической точности методов обработки;

б) допуски на некоторые операционные размеры ограничены допуском на чертежный размер, например, в данном случае  $C_3 = A_2$ ,  $C_2 = A_6$ ,  $C_1 = A_8 - A_4$  и т.д., поэтому должны соблюдаться неравенства  $TC_3 \geq TA_2$ ,  $TC_2 \geq TA_6$ ,  $TC_1 \geq TA_8 + TA_4$  и т.д.

3. Начиная с последней операции выбирается такая размерная цепь, в которую входит только одно неизвестное — операционный размер.

Замыкающее звено данной размерной цепи заносится в схему обработки. Замыкающими звеньями могут быть только известные параметры — чертежные размеры и величины припусков. Если замыкающий размер не равен сумме составляющих звеньев размерной цепи, то необходимо либо уменьшить допуски на составляющие звенья, либо изменить схему обработки посредством корректировки маршрута обработки.

3. Проставив допуски на операционные размеры и проверив их, определяют допуски на колебание величины припусков. Минимальная величина припуска была определена ранее с использованием расчетно-аналитического метода, а максимальный припуск определяется допусками на операционный размер.

V. Заполнение ведомости расчета операционных размеров.

Непосредственно расчет операционных размеров выполняется в ведомости расчета операционных размеров (табл. 2) в следующем порядке.

1. Операционные размеры рассматриваются в последовательности, обратной ходу технологического процесса (в рамках одной операции размеры можно рассматривать в произвольном порядке). При этом в графах 4 и 5 ведомости указывают обозначение операционного размера и принятый на него допуск.

2. В графу 6 вносят уравнение размерной цепи, составленное для рассматриваемого операционного размера на основании графа размерных цепей (см. рис. 4). Для уравнения выбирается размерная цепь с замыкающим звеном, указанным в схеме обработки (см. рис. 1). При составлении уравнений можно руководствоваться следующим правилом: при обходе контура размерной цепи в направлении стрелки замыкающего звена все входящие в этот контур ребра берутся со своим знаком, если направление обхода совпадает с направлением их стрелок, и с противоположным знаком — в противном случае.

3. В графе 1 записывают обозначение замыкающего звена (припуска или чертежного размера) размерной цепи, в графе 2 — величину замыкающего звена с допуском, равным сумме допусков составляющих звеньев.

4. На основании уравнения размерной цепи из графы 6 определяют расчетные предельные величины операционного размера и заносят их в графу 7.



2. Ведомость расчета операционных размеров (фрагмент)

Исходные размеры				Операционные размеры						
Обозначения размеров	Заданный исходный размер, мм	Полученный исходный размер с учетом корректировки, мм		Обозначения размеров	Величина принятого допуска, мм	Уравнение размерной цепи	Расчетный операционный размер, мм		Величина корректировки	Принятый операционный размер, мм
		max	min				max	min		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$C_2$	$20_{-0,046}$	20,0	19,955	$A_6$	-0,045	$C_2 = A_6$	20,0	19,955	-	$20_{-0,045}$
...										
$Z_3$	$0,1^{+0,029}$	0,245	0,155	$A_7$	-0,045	$Z_3 = A_7 - A_6$	20,145	20,1	+0,055	$20_{-0,045}$
...										

3. Допускаемые окончания операционных размеров

Диаметры валов и другие охватываемые размеры										
Допускаемые окончания размеров, мм										
Размер, мм	Допускаемые окончания размеров, мм									
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
До 30	*	-	*	*	-	*	(*)	*	*	-
Св. 30 до 50	*	-	*	-	*	*	-	*	-	*
« 50 « 120	*	-	(*)	*	-	*	-	(*)	*	*
« 120 « 360	*	-	*	*	-	*	-	-	*	*
Диаметры отверстий и другие охватываемые размеры										
До 30	*	-	-	*	-	*	-	-	*	-
Св. 30 до 50	*	*	*	*	-	*	-	*	*	-
« 50 « 120	*	*	-	*	-	*	*	-	*	*
« 120 « 360	*	-	*	-	-	*	-	*	-	*

Примечания: 1. Применяют окончания, отмеченные знаком \*.

2. Окончания в скобках (\*) применять только на последних операциях.

Ниже представлен расчет предельных значений двух операционных размеров для рассматриваемого примера.

$$C_2 = A_6,$$

$$C_{2\max} = A_{6\max},$$

$$C_{2\min} = A_{6\min},$$

$$A_{6\max} = C_{2\max} = 20,0 \text{ мм}; \quad A_{6\min} = C_{2\min} = 19,955 \text{ мм}.$$

$$Z_3 = A_7 - A_6,$$

$$Z_{3\max} = A_{7\max} - A_{6\min},$$

$$Z_{3\min} = A_{7\min} - A_{6\max},$$

$$A_{7\max} = Z_{3\max} + A_{6\min},$$

$$A_{7\min} = Z_{3\min} + A_{6\max},$$

$$A_{7\max} = 0,19 + 19,955 = 20,145 \text{ мм}; \quad A_{7\min} = 0,1 + 20,0 = 20,1 \text{ мм}.$$

Следует обратить внимание на необходимость решения уравнения размерной цепи относительно замыкающего звена перед определением расчетных значений неизвестного операционного размера.

5. Принятый операционный размер должен иметь стандартное технологическое окончание для возможности применения стандартного измерительного и режущего инструмента. Если номинальное значение операционного размера имеет нестандартное окончание, то выполняется его корректировка до ближайшего стандартного значения (табл. 3).

Корректировка производится строго за счет замыкающего звена размерной цепи.

Корректировка выполняется только в сторону увеличения припуска, если замыкающее звено — припуск, или же в пределах разницы размеров из графы 7 ведомости, если замыкающее звено — чертежный размер.

Величина корректировки припуска указывается со знаком в графе 10, а принятый операционный размер — в графе 11. После этого производится корректировка припуска, и полученные таким образом наибольшее и наименьшее значения указываются в графах 3 и 4.

Так, в рассматриваемом примере получили (см. выше), что  $A_{7\max} = 20,145$ ,  $A_{7\min} = 20,1$ , т.е.  $A_7 = 20,145_{-0,045}$  мм. Однако, как следует из табл. 3, номинальное значение рассматриваемого размера 20,145 мм не является стандартным. Замыкающим звеном

размерной цепи в данном случае является припуск  $Z_3$ , поэтому корректировку следует проводить в сторону его увеличения. Операционный размер  $A_7$  является увеличивающим звеном рассматриваемой размерной цепи, поэтому корректируем его в сторону увеличения до ближайшего стандартного значения 20,2 мм. Таким образом, корректировка операционного размера составит +0,055 мм (графа 10 ведомости), а принятое его значение:  $20,2_{-0,045}$  мм (графа 11 ведомости).

Для корректировки припуска подставляем принятые значения операционного размера в уравнение размерной цепи. Получим  $Z_{3\max} = 20,2 - 19,955 = 0,245$  мм,  $Z_{3\min} = 20,155 - 20,0 = 0,155$  мм (графы 3 и 4 ведомости).

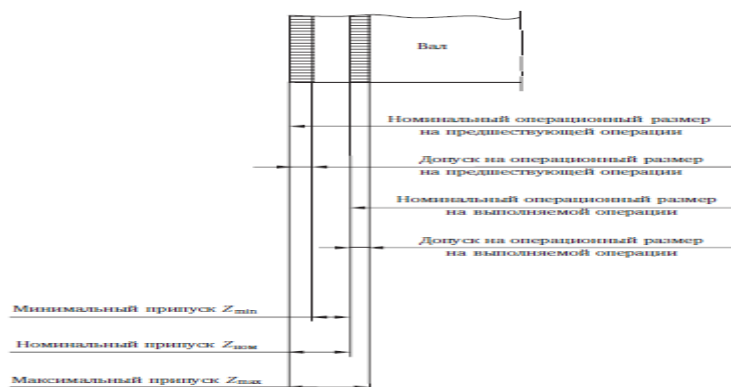


Рис. 5. Схема расположения операционных припусков и допусков при обработке наружной цилиндрической поверхности (вала)



## 2. Содержание работы

Исходя из служебного назначения детали (рис. 2) в изделии, к последней предъявляются представленные в табл. 1 требования по точности размеров ( $\square D_1$ ,  $\square D_2$ ,  $\square D_3$ ,  $\square d_1$ ) и шероховатости поверхностей А, Б, В, Г. Заготовкой для данной детали является отливка (рис. 3), точность соответствующих размеров и шероховатость поверхностей которой представлена в табл. 2. Учитывая данные табл. 1 и 2 и основываясь на коэффициентах уточнения, в направлении от детали к заготовке по поверхностям А, Б, В, Г, необходимо назначить набор методов обработки, которые в своей совокупности обеспечат заданное качество обработанной поверхности.

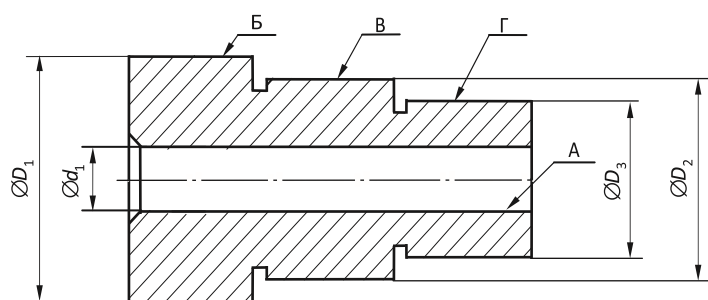
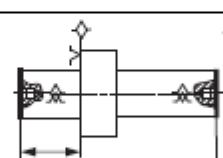
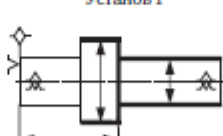




Рис. 2. Эскиз детали

5. Маршрутный технологический процесс обработки детали «вал»

Номер и наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование
00. Заготовительная		КГПП

Окончание табл. 5

Номер и наименование операции	Эскиз обработки	Оборудование
05. Фрезерно-центровальная		МР-77
10. Токарная	<p>Установ 1</p> 	16К20
	<p>Установ 2</p> 	
15. Шлифовальная		3Б15

### 6. Варианты заданий для самостоятельной работы

Номер вариан- та	Размеры детали «вал» по чертежу, мм					
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$D_1$	$D_2$	$D_3$
1	25 <sub>-0,07</sub>	20 <sub>-0,021</sub>	84 <sub>-0,3</sub>	Ø20 <sub>-0,033</sub>	Ø60 <sub>-0,1</sub>	Ø15 <sub>-0,058</sub>
2	25 <sub>-0,11</sub>	20 <sub>-0,033</sub>	84 <sub>-0,46</sub>	Ø20 <sub>-0,043</sub>	Ø60 <sub>-0,16</sub>	Ø15 <sub>-0,090</sub>
3	25 <sub>-0,07</sub>	20 <sub>-0,043</sub>	84 <sub>-0,74</sub>	Ø20 <sub>-0,07</sub>	Ø60 <sub>-0,25</sub>	Ø15 <sub>-0,15</sub>
4	25 <sub>-0,11</sub>	20 <sub>-0,021</sub>	84 <sub>-0,46</sub>	Ø20 <sub>-0,021</sub>	Ø60 <sub>-0,1</sub>	Ø15 <sub>-0,058</sub>

Окончание табл. 6

Номер вариан- та	Размеры детали «вал» по чертежу, мм					
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$D_1$	$D_2$	$D_3$
5	25 <sub>-0,11</sub>	20 <sub>-0,033</sub>	84 <sub>-0,74</sub>	Ø20 <sub>-0,033</sub>	Ø60 <sub>-0,25</sub>	Ø15 <sub>-0,090</sub>
6	25 <sub>-0,07</sub>	20 <sub>-0,033</sub>	84 <sub>-0,74</sub>	Ø20 <sub>-0,021</sub>	Ø60 <sub>-0,25</sub>	Ø15 <sub>-0,15</sub>
7	85 <sub>-0,12</sub>	80 <sub>-0,03</sub>	200 <sub>-0,4</sub>	Ø50 <sub>-0,025</sub>	Ø80 <sub>-0,1</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
8	85 <sub>-0,12</sub>	80 <sub>-0,046</sub>	200 <sub>-0,4</sub>	Ø50 <sub>-0,039</sub>	Ø80 <sub>-0,16</sub>	Ø40 <sub>-0,13</sub>
9	85 <sub>-0,19</sub>	80 <sub>-0,046</sub>	200 <sub>-0,4</sub>	Ø50 <sub>-0,052</sub>	Ø80 <sub>-0,16</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
10	85 <sub>-0,19</sub>	80 <sub>-0,062</sub>	200 <sub>-1,0</sub>	Ø50 <sub>-0,052</sub>	Ø80 <sub>-0,16</sub>	Ø40 <sub>-0,13</sub>
11	85 <sub>-0,12</sub>	80 <sub>-0,046</sub>	200 <sub>-0,63</sub>	Ø50 <sub>-0,025</sub>	Ø80 <sub>-0,16</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
12	85 <sub>-0,12</sub>	80 <sub>-0,062</sub>	200 <sub>-0,63</sub>	Ø20 <sub>-0,021</sub>	Ø60 <sub>-0,25</sub>	Ø15 <sub>-0,15</sub>
13	25 <sub>-0,07</sub>	80 <sub>-0,046</sub>	200 <sub>-0,63</sub>	Ø50 <sub>-0,052</sub>	Ø80 <sub>-0,16</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
14	35 <sub>-0,084</sub>	45 <sub>-0,025</sub>	100 <sub>-0,3</sub>	Ø50 <sub>-0,052</sub>	Ø80 <sub>-0,16</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
15	35 <sub>-0,13</sub>	45 <sub>-0,039</sub>	100 <sub>-0,46</sub>	Ø30 <sub>-0,021</sub>	Ø60 <sub>-0,1</sub>	Ø25 <sub>-0,07</sub>
16	35 <sub>-0,084</sub>	45 <sub>-0,052</sub>	100 <sub>-0,74</sub>	Ø30 <sub>-0,033</sub>	Ø60 <sub>-0,16</sub>	Ø25 <sub>-0,11</sub>
17	35 <sub>-0,13</sub>	45 <sub>-0,025</sub>	100 <sub>-0,74</sub>	Ø30 <sub>-0,043</sub>	Ø60 <sub>-0,1</sub>	Ø25 <sub>-0,11</sub>
18	35 <sub>-0,13</sub>	45 <sub>-0,039</sub>	100 <sub>-0,74</sub>	Ø20 <sub>-0,021</sub>	Ø80 <sub>-0,16</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
19	35 <sub>-0,084</sub>	45 <sub>-0,039</sub>	100 <sub>-0,46</sub>	Ø30 <sub>-0,033</sub>	Ø60 <sub>-0,1</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
20	25 <sub>-0,07</sub>	80 <sub>-0,046</sub>	200 <sub>-1,0</sub>	Ø30 <sub>-0,033</sub>	Ø60 <sub>-0,25</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
21	40 <sub>-0,084</sub>	50 <sub>-0,025</sub>	130 <sub>-0,35</sub>	Ø45 <sub>-0,025</sub>	Ø55 <sub>-0,1</sub>	Ø50 <sub>-0,084</sub>
22	40 <sub>-0,13</sub>	50 <sub>-0,039</sub>	130 <sub>-0,54</sub>	Ø45 <sub>-0,039</sub>	Ø55 <sub>-0,16</sub>	Ø50 <sub>-0,130</sub>
23	40 <sub>-0,084</sub>	50 <sub>-0,052</sub>	130 <sub>-0,87</sub>	Ø45 <sub>-0,052</sub>	Ø55 <sub>-0,1</sub>	Ø50 <sub>-0,130</sub>
24	40 <sub>-0,084</sub>	50 <sub>-0,039</sub>	130 <sub>-0,54</sub>	Ø45 <sub>-0,025</sub>	Ø55 <sub>-0,1</sub>	Ø50 <sub>-0,130</sub>
25	40 <sub>-0,13</sub>	50 <sub>-0,025</sub>	100 <sub>-0,46</sub>	Ø30 <sub>-0,043</sub>	Ø80 <sub>-0,16</sub>	Ø25 <sub>-0,11</sub>
26	40 <sub>-0,13</sub>	50 <sub>-0,052</sub>	130 <sub>-0,35</sub>	Ø50 <sub>-0,052</sub>	Ø60 <sub>-0,16</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
27	40 <sub>-0,13</sub>	50 <sub>-0,025</sub>	130 <sub>-0,54</sub>	Ø20 <sub>-0,033</sub>	Ø80 <sub>-0,1</sub>	Ø40 <sub>-0,084</sub>
28	40 <sub>-0,13</sub>	50 <sub>-0,052</sub>	130 <sub>-0,87</sub>	Ø50 <sub>-0,025</sub>	Ø60 <sub>-0,1</sub>	Ø25 <sub>-0,11</sub>
29	35 <sub>-0,084</sub>	45 <sub>-0,039</sub>	130 <sub>-0,35</sub>	Ø45 <sub>-0,025</sub>	Ø60 <sub>-0,16</sub>	Ø15 <sub>-0,058</sub>
30	35 <sub>-0,13</sub>	80 <sub>-0,046</sub>	200 <sub>-0,63</sub>	Ø20 <sub>-0,021</sub>	Ø60 <sub>-0,25</sub>	Ø15 <sub>-0,058</sub>

### . Содержание самостоятельной работы

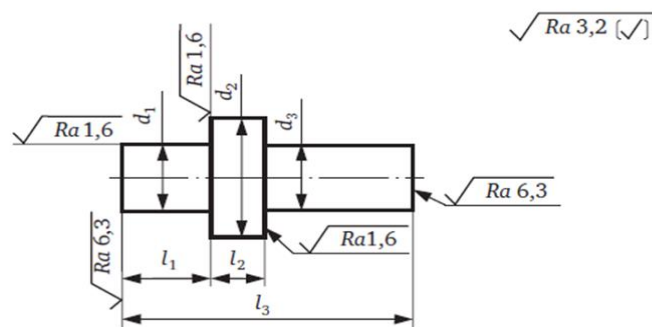


Рис. 8. Эскиз детали «вал»

Для детали «вал» (рис. 8) разработан базовый маршрутный технологический процесс, представленный в табл. 5.

1. В соответствии с вариантом задания (табл. 6) выполнить пооперационный расчет величин минимальных операционных припусков. Величины минимальных припусков должны быть рассчитаны для каждой обрабатываемой поверхности.

### 3. Содержание отчета

Отчет должен быть выполнен в соответствии с требованиями по оформлению учебных работ и содержать:

- наименование работы и ее цель;
- чертеж детали и маршрутный технологический процесс ее обработки;
- все расчетные зависимости, графики и таблицы, связанные с расчетом операционных размеров и припусков на обработку;
- выводы по работе.

В процессе сдачи отчета студент должен дать ответы на заданные преподавателем вопросы по результатам работы и приведенным в разд. 1 теоретическим сведениям.

### 4. Контрольные вопросы

1. Что является основной целью расчета технологических операционных размеров?
2. Перечислите наиболее распространенные методы расчета технологических размерных цепей. Укажите наиболее рациональную область их применения и назовите их преимущества и недостатки.
3. С какой целью выполняется расчет припусков при разработке технологического процесса?
4. Чему равна величина удаляемого припуска при сверлении отверстия?
5. При каких условиях могут не учитываться отдельные составляющие (укажите какие именно) минимального припуска?

### 5. Список литературы

1. **ГОСТ 16319 – 80.** Цепи размерные. Основные положения. Термины, обозначения и определения. М.: Изд-во стандартов, 1980. 29 с.
2. **Дальский А.М.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т. 1 /А. М. Дальский, А. Г. Суслов, А. Г. Косилова и др.; под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2001. 912 с.
3. **Марасинов М.А.** Руководство по расчету операционных размеров / М.А. Марасинов. Рыбинск, 1971 г. 60 с.
4. **Рябов А.Н.** Автоматизированная структурно-параметрическая модификация технологических процессов механической обработки деталей машин с учетом технологической наследственности. Дисс. ... канд. техн. наук. Рыбинск.: РГАТА им. П.А. Соловьева, 2009. 169 с.

#### ПРИЛОЖЕНИЕ

#### *Приложение* Основные определения теории размерных цепей

*Размерная цепь* — совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур.

Размеры, образующие размерную цепь, называют *звеньями* размерной цепи. Одно звено в размерной цепи замыкающее (исходное), а остальные — составляющие.

*Замыкающим (исходным)* звеном размерной цепи называют звено, получающееся последним или первым (исходным) при ее построении [1]. Замыкающее (исходное) звено отмечается значком

□. Например,  $A_{\square}$ .

*Составляющим* звеном размерной цепи называют звено размерной цепи, функционально связанное с замыкающим звеном [1]. Составляющие звенья, в зависимости от их влияния на замыкающее звено, бывают увеличивающими или уменьшающими. *Увеличивающим* звеном называется звено, при увеличении которого замыкающее звено увеличивается. *Уменьшающим* звеном называется звено, при увеличении которого замыкающее звено уменьшается.

С целью обеспечения заданной точности изделий или деталей выполняют расчет размерных цепей. При расчете размерных цепей существуют две задачи: прямая и обратная. *При решении прямой (проектной) задачи*, исходя из допуска на замыкающее звено, назначают допустимые отклонения на составляющие звенья. *При решении обратной (проверочной) задачи*, зная допустимые отклонения на составляющие звенья, находят допуск на замыкающее звено.

В зависимости от характера решаемых задач размерные цепи подразделяют на конструкторские, технологические и измерительные.

*Конструкторской* называют размерную цепь, определяющую расстояние или относительный поворот поверхностей или осей поверхностей в изделии.

*Измерительной* называют размерную цепь, с помощью которой определяется значение измеряемого размера, расстояния, относительного поворота поверхностей или их осей изготавливаемого или изготовленного изделия.

*Технологической* называют размерную цепь, обеспечивающую требуемое расстояние или относительный поворот поверхностей изделия в процессе его изготовления.

Технологические размерные цепи возникают в процессе сборки машины, ее сборочных единиц и при изготовлении деталей. Технологические размерные цепи отображают связи между операциями (переходами) технологического процесса в получении того или иного размера, образовании размера при выполнении операции (перехода) или роль отдельных этапов операции в обеспечении точности выдерживаемого размера.

*К технологическим размерным цепям первого рода (вида)* относят размерные цепи, связывающие все звенья технологической системы станок — приспособление — инструмент — заготовка.

*К технологическим цепям второго рода (вида)* относятся размерные цепи, связывающие отдельные операции, переходы (цепи первого рода). Для того чтобы выявить технологическую цепь второго рода, необходимо проанализировать весь технологический процесс изготовления детали: от операции, на которой заканчивается решение поставленной задачи, до начала технологического процесса. Данные цепи включают в себя размер обрабатываемой детали, величину припуска, размер заготовки (размер, полученный на предыдущей операции обработки данной поверхности).

Для обеспечения заданной точности деталей при их изготовлении необходимо для каждой операции рассчитать технологические размеры, которые называются *операционными*. Для расчета операционных размеров служат технологические цепи второго рода (вида).

## ЛИТЕРАТУРА:

1. **Лабораторные и практические работы по технологии машиностроения:** учеб. пособие / В. Ф. Безъязычный, В. В. Непомилуев, А. Н. Семенов, и др.; под общ. ред. В. Ф. Безъязычного. — М.: Машиностроение, 2013. — 600 с.: ил. ISBN 978-5-94275-697-0