

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙ-  
СКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Невинномысский технологический институт (филиал)

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Технология машиностроения»  
для студентов направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и  
оборудование

Невинномысск 2021

Методические указания к выполнению лабораторных работ предназначены для студентов очной/заочной формы обучения направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование. Лабораторные работы содержат описание лабораторных установок, порядок проведения лабораторных работ и обработки экспериментальных данных, контрольные вопросы для самоподготовки.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта в части содержания и уровня подготовки выпускников по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Составитель: канд. техн. наук Д.В. Казаков

Рецензент: канд. техн. наук А. И. Свидченко

## СОДЕРЖАНИЕ

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	4
ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ.....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1	
Исследование точности механической обработки и сборки методом кривых распределения.....	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2	
Исследование деформаций при закреплении.....	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3	
Исследование влияния технологических факторов на шероховатость цилиндрических поверхностей.....	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4	
Исследование зависимости усилия запрессовки от размеров собираемых деталей и режимов автоматического сборочного процесса.....	22
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5	
Расчет производственных погрешностей аналитическим методом.....	28
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	40

## ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

К лабораторной работе допускается студент, знающий методику ее выполнения и прошедший собеседование с преподавателем. Каждая лабораторная работа от постановки задачи до ее оформления и выводов выполняется студентом самостоятельно.

Отчет по работам выполняется в лабораторной тетради, графики, эскизы и схемы выполняются в карандаше с использованием чертежных инструментов; данные измерений, расчеты и выводы по работе – только чернилами. Записи в лабораторной тетради следует вести четко и разборчиво и заполнять все графы отчета.

После выполнения всех лабораторных работ студент обязан защитить их по своему лабораторному отчету. Работа засчитывается, если студент знает цель, содержание и порядок выполнения работы, применяемое оборудование и оснастку, понимает физический и практический смысл полученных экспериментальных зависимостей, умеет анализировать опытные данные и делать выводы по работе.

Перед началом лабораторных работ каждый студент обязан ознакомиться с инструкцией по технике безопасности.

## ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Технология машиностроения»

1. Во время работы на установках в помещении должно находиться не менее двух человек. Посторонние лица непосредственно на рабочее место не допускаются.

2. Установки должны быть отключены от питающей сети:

а) по окончании выполнения данной работы;

б) при временном прекращении работы;

в) при перерывах в подаче электроэнергии;

г) при уборке, смазке и чистке.

3. Категорически запрещается проводить замеры, установку и снятие образцов без выключения установки.

4. Запрещается прикасаться к токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.

5. Запрещается снимать и открывать предохранительные щитки во время работы электроустановок.

6. Запрещается курить и пользоваться открытым огнем.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И СБОРКИ МЕТОДОМ КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

**Цель работы:** построить полигон распределения действительных размеров заготовок, обработанных на настроенном станке и проверить соответствие эмпирического закона распределения теоретическому закону распределения (закону Гаусса).

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.

Распределение случайных величин в зависимости от условий могут подчиняться вполне определенным законам: Гаусса, равной вероятности, Симпсона. Наибольшее практическое значение в технологии машиностроения имеет дифференциальная функция закона нормального распределения (закон Гаусса), для которого плотность вероятности или дифференциальная функция распределения:

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}}{\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}},$$

где  $x$  – переменная случайная величина;  $\sigma_x$  – среднее квадратичное отклонение  $x$  от  $m_x$ ;  $m_x$  – математическое ожидание величины  $x$ .

Дифференциальная функция закона нормального распределения графически изображается холмообразной кривой, симметричной относительно центра группирования, представленной величинами  $m_x$  и  $X_{cp}$ . Координата центра группирования определяет положение кривой относительно начала отсчета, а параметр (среднеквадратичное отклонение) – ее форму и размах. Функция или интегральный закон нормального распределения в общем виде можно записать:

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx.$$

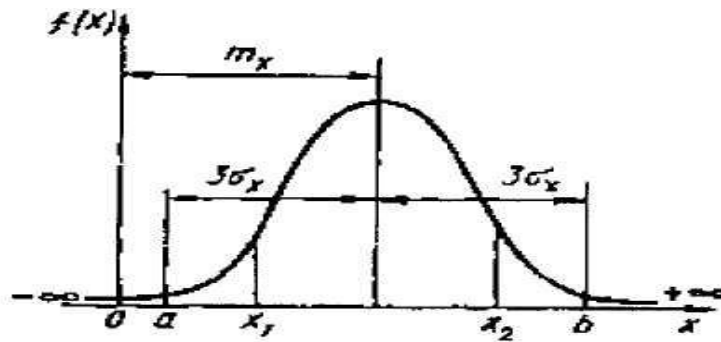


Рисунок 1 – Дифференциальный закон нормального распределения случайной величины

Закон равной вероятности встречается, когда наряду со случайными факторами, вызывающими рассеивание, действует доминирующий систематический фактор непрерывно или равномерно изменяющийся во времени положение центра группирования  $M(x)$ . Графически такое распределение случайной величины отображается прямоугольником.

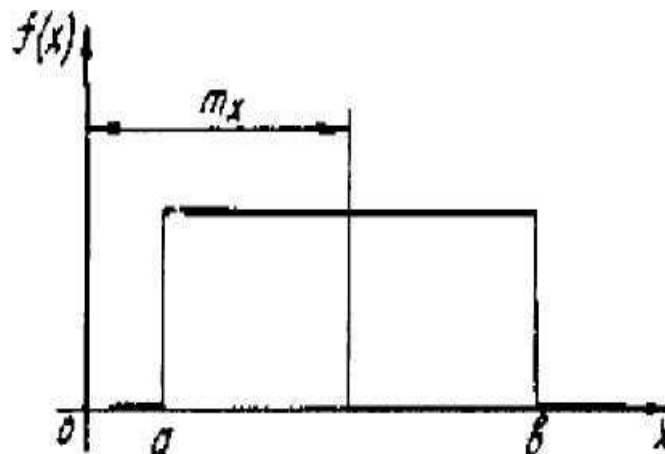


Рисунок 2 – Распределение случайной величины по закону равной вероятности

Математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение соответственно равны:

$$m_x = \frac{(a+b)}{2},$$

$$D_x = \frac{(b-a)^2}{12},$$

$$\sigma_x = \frac{(b-a)}{2\sqrt{3}}.$$

К распределению по закону Симпсона (закон треугольника) приводит сложение двух случайных величин, подчиненных закону равной вероятности при одинаковых параметрах рассеяния. Графически кривая рассеяния имеет вид равностороннего треугольника

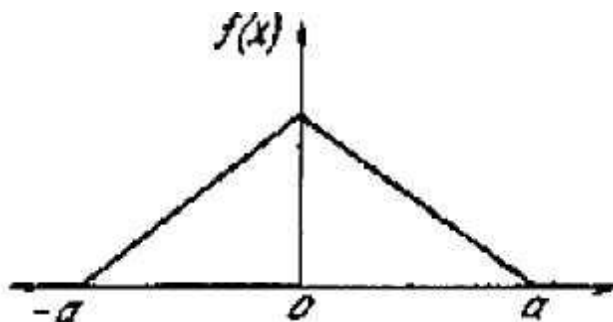


Рисунок 3 – Распределение случайной величины по закону Симпсона

Математическое ожидание, дисперсия и среднее квадратичное отклонение соответственно равны:

$$m_x = 0,$$

$$D_x = \frac{a^2}{6},$$

$$\sigma_x = \frac{a}{\sqrt{6}}.$$

Если рассматривать распределение по законам Симпсона и равной вероятности как отклонение от закона нормального распределения, то можно отразить и количественную сторону этих отклонений с помощью коэффициента  $\lambda^2$ , который называется относительным средним квадратичным отклонением:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \sigma_x}{x_{\max} - x_{\min}}.$$

Если квадрат относительного среднего квадратичного отклонения равен 0,11, то эмпирический закон распределения ближе к закону Гаусса; если равен 0,17, то – к закону Симпсона; если 0,33 – то к закону равной вероятности.

### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

1. Построить полигон распределения действительных размеров заготовок, обработанных на настроенном станке.



2. Проверить соответствие эмпирического закона распределения теоретическому закону распределения (закону Гаусса).
3. Определить точность обработки на основе данных наблюдений.
4. Построить полигон распределения точности взаимного положения деталей в сборочной единице.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

### Раздел 1.

Ознакомиться с конструкцией и органами управления токарного станка. Подготовить токарный станок к обработке наружной цилиндрической поверхности заготовки 1. (рисунок 1), установив консольную оправку 2 и левый проходной резец 3. Режимы резания задаются учебным мастером.

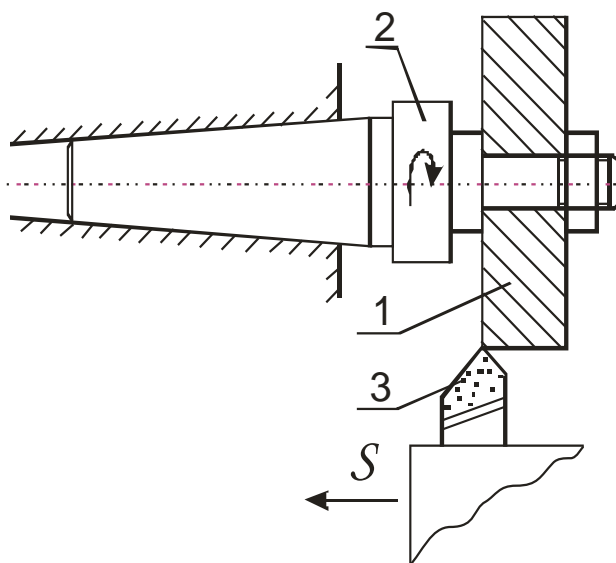


Рисунок 4 – Схема проведения эксперимента

Методом автоматического получения размеров обработать 15 заготовок и измерить диаметральные размеры обработанной поверхности микрометром МК 60. Результаты замеров занести в журнал проведения лабораторной работы.

Построить полигон распределения размеров (рисунок 5), для чего всю совокупность измеренных размеров разбить на 5 – 10 групп

через одинаковые интервалы, равные 0,01 – 0,03 мм. Далее определить абсолютную и относительную частоту появления размеров внутри каждого интервала. Абсолютная частота  $m$  определяется непосредственным подсчетом количества деталей, размеры которых находятся в пределах данного интервала размеров.

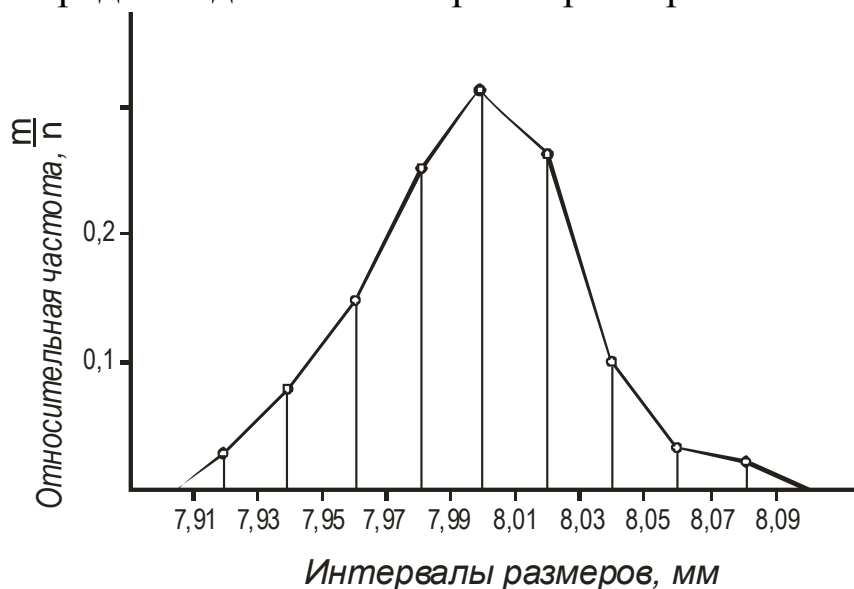


Рисунок 5 – Полигон распределения размеров

Относительная частота  $\frac{m}{n}$  получается делением абсолютной частоты на общее количество заготовок в партии. Откладывая по оси абсцисс интервалы размеров деталей, а по оси ординат (из середин интервалов) относительную частоту, получаем в виде ломаной линии полигон распределения фактических размеров. Пример оформления отчета приведен в таблице 1.

$$\sum m = n = 15, \quad \sum \frac{m}{n} = 1.$$

По форме кривой эмпирического распределения делается предварительный вывод о соответствии нормальному закону распределения.

Таблица 1

Интервал размеров, мм	Абсолютная частота	Относительная частота
7,91–7,93 включительно	2	0,13
7,93–7,95 включительно	3	0,2

7,95–7,97 включительно	1	0,07
7,97–7,99 включительно	1	0,07
7,99–8,01 включительно	1	0,07
8,01–8,03 включительно	3	0,2
8,03–8,05 включительно	2	0,13
8,05–8,07 включительно	1	0,07
8,07–8,09 включительно	1	0,07

Далее рассчитываются эмпирические параметры кривой распределения

$$X_{cp} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(X_1 - X_{cp})^2 + (X_2 - X_{cp})^2 + \dots + (X_n - X_{cp})^2}{n}},$$

где  $x_{cp}$  – среднеарифметический размер;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение измеренного размера от среднего;  $X_1, X_2, X_n$  – фактические радиальные размеры.

Раздел 2.

Установить по критерию согласия  $\lambda^2$  соответствие эмпирического распределения теоретическому закону распределения случайных величин.

Расчетные размеры  $\lambda^2$  сравниваются с табличными.

Гипотеза о составлении эмпирического распределения теоретическому закону не опровергается, если вычисленные значения критерия согласия не превышают соответствующие критические табличные значения. Форма отчета в произвольной форме.

Раздел 3.

В случае подтверждения гипотезы о соответствии эмпирического распределения нормальному закону точность исследуемого технологического метода с достоверной вероятностью не менее 0,3% оценивается величиной  $6 \cdot \sigma$  и фиксируется в отчет произвольной формы.

#### Раздел 4.

Собрать 15 шт. однотипных узлов, состоящих из вала, втулки и гайки. Установив вал в призму, определить биение наружной поверхности втулки относительно опорной шейки вала. Измерение выполнять индикаторной головкой ИЧ10. В соответствии с изложенной выше методикой построить полигон распределения величины биения и по его внешнему виду подобрать теоретический закон распределения.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как построить по полученным данным теоретическую кривую нормального распределения.
2. Что такое относительная и абсолютная частота. Чему они равны.
3. Как изменится форма кривой распределения, если в процессе обработки возникла постоянная ошибка.
4. В чем практический смысл установления закона распределения случайных величин.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ

**Цель работы:** Определить погрешность формы в поперечном сечении внутренней поверхности тонкостенного и толстостенного колец, короткой и длинной гильз, закрепляемых в трехкулачковом патроне с помощью расчетно-аналитического и экспериментального методов.

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При закреплении колец в трехкулачковом патроне (рисунок 6, а) наблюдается их прогиб  $y_1$  под кулачками, а между кулачками выпучивание  $y_2$ . После растачивания отверстия обработанная поверхность сохраняет правильную форму (рисунок 6, б), а после извлечения заготовки из патрона – искажается (рисунок 6, в). При закреплении гильз величина деформации изменяется по длине детали. Причем у коротких гильз прогибы и выпучивания уменьшаются к свободному кольцу (рисунок 7, а), а в длинных – прогибы постепенно переходят в выпучивания и наоборот (рисунок 7, б).

Погрешность формы в поперечном сечении оценивается равенством:

$$\Delta_{\phi} = 2 \cdot (|y_1| + |y_2|).$$

Теоретические значения прогибов и выпучиваний для случая закрепления заготовок в трехкулачковом патроне приведены в таблице 2.

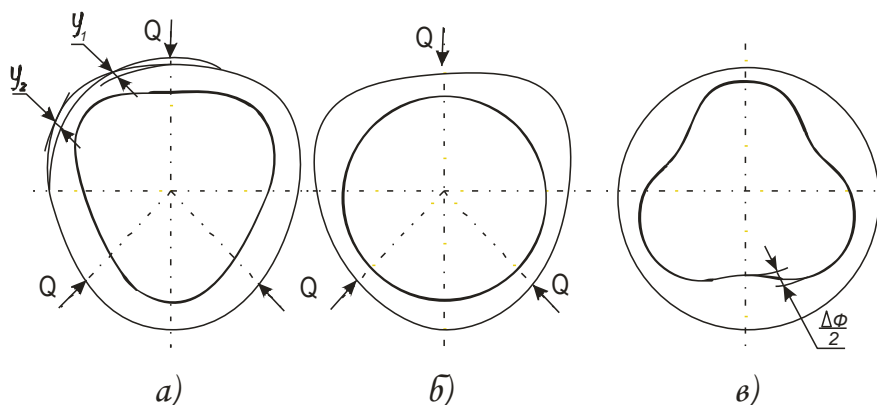


Рисунок 6

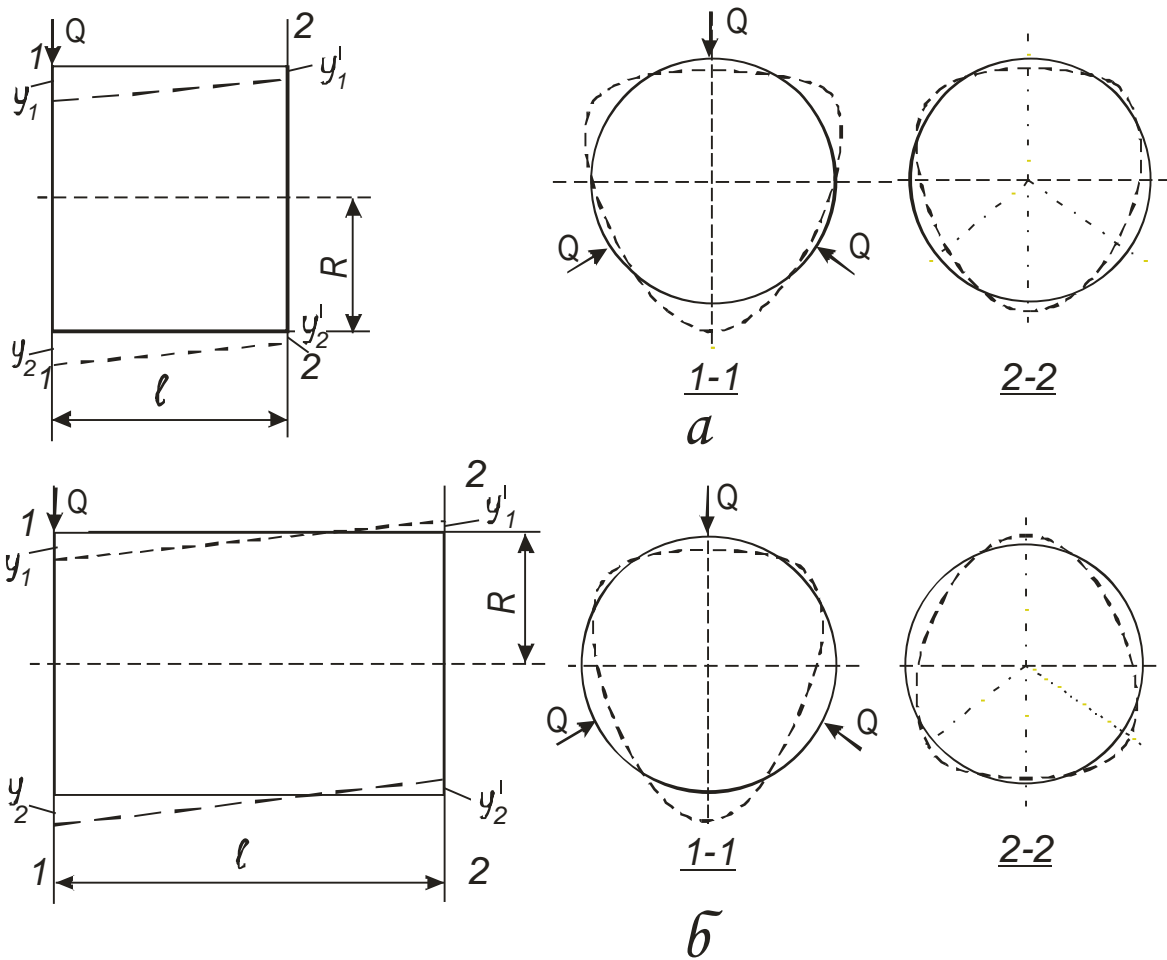


Рисунок 7

Таблица 2

Вид заготовки	Прогиб кольца, мм	Выпучивание кольца, мм
Тонкостенное кольцо	$y_1 = 0,016 \cdot \frac{Q \cdot R^3}{E \cdot J}$	$y_2 = -0,014 \cdot \frac{Q \cdot R^3}{E \cdot J}$
Толстостенное кольцо	$y_1 = \frac{Q \cdot R}{E \cdot F} \cdot (0,192 \cdot \frac{R^2}{h^2} + 1,324)$	$y_2 = -\frac{Q \cdot R}{E \cdot F} \cdot (0,172 \cdot \frac{R^2}{h^2} + 0,011)$
Короткая и длинная гильза	$y_1 = A \cdot \frac{Q \cdot R^2}{E \cdot h^3}$ $y_1^I = k \cdot y_1$	$y_2 = -0,895 y_1$ – сеч. 1-1 $y_2^I = k \cdot y_2$ – сеч. 2-2

В таблице 2 приведены обозначения:

$Q$  – сила на кулачке, Н;  $R$  – радиус расположения нейтральной оси поперечного сечения, мм;  $h$  – толщина стенки, мм;  $J$  – момент

инерции поперечного сечения, мм<sup>4</sup>;  $F$  – площадь поперечного сечения, мм<sup>2</sup>;  $A$  и  $K$  – коэффициенты, величина которых определяется в зависимости от соотношения  $b/R$  по таблице 3;  $E$  – модуль упругости материала.

Величины  $R, h, J$  рассчитываются по формулам:

$$R = \frac{D+d}{4}; \quad h = \frac{D-d}{2}; \quad J = \frac{b \cdot h^3}{12},$$

где  $D, d$  – соответственно наружный и внутренний диаметры заготовок;  $b$  – ширина кольца.

Таблица 3

b/R	0,6	1,0	2,0	3,0
A	0,445	0,368	0,274	0,209
K	0,348	-0,021	-0,343	-0,426

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Раздел 1. Определение погрешности формы расчетно-аналитическим методом.

Для расчета студенту выдаются четыре типа деталей и задается усилие их закрепления. Размеры деталей ( $D, d, b$ ) определяются путем их измерения. По формулам, приведенным в таблице 2, осуществляется расчет прогибов и выпучивания заготовок, а также погрешность формы в поперечном сечении. По результатам расчета строится график зависимости погрешности формы в поперечном сечении заготовок от толщины стенок.

Результаты расчета заносят в отчет. Форма отчета в произвольной форме.

Раздел 2. Определение погрешности формы деталей непосредственными промерами.

Для определения погрешности формы заготовка устанавливается в трехкулачковый патрон, в один из кулачков которого встроена гидравлическая мездоза для контроля зажимного усилия. Патрон

монтируется либо на неподвижное жесткое основание, либо в делительной головке лабораторного стенда. При закреплении каждой из исследуемых типов деталей сила зажима контролируется по манометру месдозы, требуемые показания которого предварительно определяются по тарифовочному графику. Последний приводится в приложениях к работе.

Измерения прогибов и выпучиваний выполняются индикаторным нутромером с ценой деления 0,01 мм (рисунок 8). Величина деформации ( $y_1, y_2$ ) принимается равной 1/3 показания индикатора. Число нагружений и замеров должно быть не менее трех. У гильз изменения деформаций необходимо выполнить как у зажатого, так и у свободного концов. После измерения определить погрешности формы и сравнить их величину с расчетной. Определить относительную неточность расчетного метода

$$\Delta = \frac{\Delta_{\phi} - \Delta_{cp}^I}{\Delta_{cp}} \cdot 100\%$$

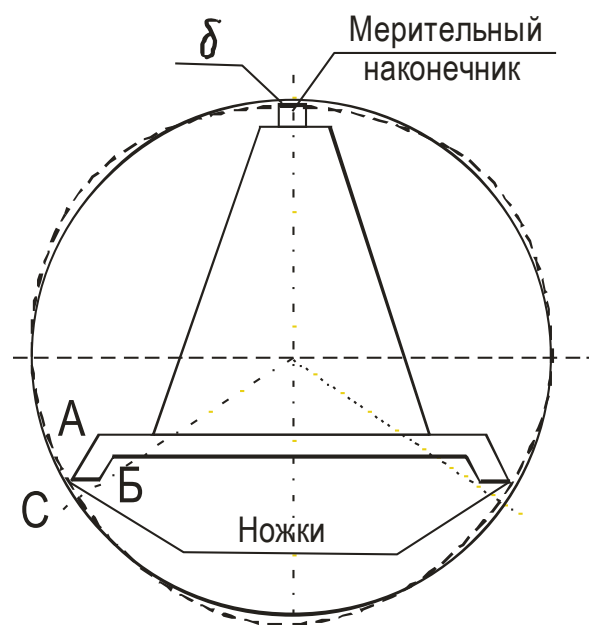


Рисунок 8 – Схема измерения прогибов

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как уменьшить погрешность формы при закреплении в патроне?



2. Какие параметры влияют на величину погрешности формы при закреплении колец и гильз в патроне?

3. Из каких соображений следует определить силу закреплении при конструировании приспособления?

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Цель работы.** Исследовать влияние на шероховатость поверхностей деталей резания, материала и жесткости заготовок и определить шероховатость поверхностей деталей, обработанных различными технологическими методами.

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Поверхности деталей машин, полученных литьем, ковкой, обработанные на металлорежущих станках и другими способами характеризуются шероховатостью, цветом и физическими свойствами поверхностного слоя – степенью упрочнения (наклепом), глубиной упрочненного слоя, наличием остаточных напряжений от обработки и т.п. и по глубине может составлять от десятых долей микрометра до нескольких миллиметров. Эти показатели определяют состояние поверхности и характеризуют ее качество. Имеется вполне определенная взаимосвязь между методами обработки и качеством обработанной поверхности. Для оценки шероховатости поверхностей предпочтительно применять параметры  $R_a$  и  $R_z$ . В ходе выполнения механической обработки поверхности шероховатость ее уменьшается сначала резко (после черновых переходов параметры снижаются в 4...5 раз), затем медленнее при выполнении завершающих отделочных переходов – 1,5... 2 раза.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Раздел 1. Исследование влияния на шероховатость поверхности режимов резания, материала и жесткости заготовки.

Работа выполняется на токарно-винторезном станке. Перед ее выполнением необходимо ознакомиться с органами управления и на-

ладки станка. Для проведения эксперимента студентам выдается комплект заготовок: 1) три жесткие заготовки ( $l/d < 5$ ) из стали 45 (рисунок 9а); 2) три такие же по форме и размерам заготовки из стали Ст.3; 3) одна нежесткая заготовка из стали 45 (рисунок 9б). Перед обработкой у всех заготовок измеряются диаметры обтачиваемых поверхностей и общая длина  $l$ . Результаты замеров заносятся в бланк отчета. После этого необходимо последовательно установить и закрепить каждую жесткую заготовку в трехкулачковом патроне станка, поджать задним центром и проточить ступени с указанными учебным мастером режимами резания. При этом заготовки из стали 45 и стали 20 обрабатываются:

первая – при постоянных подаче и глубине, и разных скоростях резания;

вторая – при постоянных глубине и скорости резания, и разных подачах;

третья – при постоянных подаче и скорости, и разных глубинах резания.

Нежесткая заготовка обрабатывается в патроне консольно с режимом резания, назначенным для обтачивания средней ступени первой жесткой заготовки. Вся работа, связанная с механической обработкой заготовок, выполняется студентами в присутствии учебного мастера. Режимы резания, скорректированные по паспортным данным станка, фиксируются в бланк отчета.

Средняя высота неровностей  $R_z$  всех обработанных ступеней заготовок ориентировочно устанавливается сравнением с образцами шероховатости. Результаты измерений заносятся в бланк отчета. По этим данным строятся три графика  $R_z = f(V)$ ,  $R_z = f(S)$ ,  $R_z = f(t)$ , каждый из которых содержит по две экспериментальные кривые в соответствии с материалом заготовок. Влияние жесткости заготовки на шероховатость устанавливается путем замера высоты неровностей на свободном конце, посередине и у патрона. По полученным данным строится график  $R_z = f(l)$ .

В выводах по работе отмечается влияние составляющих режима резания и материала заготовки на высоту микронеровностей.

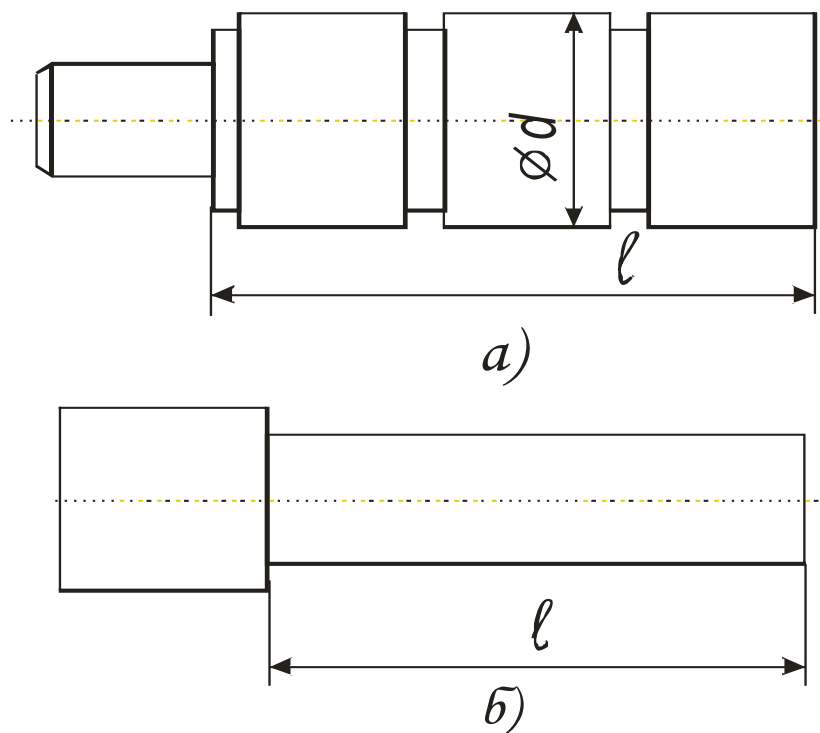


Рисунок 9 – Жесткая (а) и нежесткая (б) заготовки

Раздел 2. Исследование влияния методов механической обработки на шероховатость поверхности.

Для выполнения этой части работы студенту выдается заготовка, имеющая четыре ступени одного диаметра (рисунок 10). Выполняется работа на токарном станке повышенной точности, оснащенном приспособлениями для обкатывания шариком и алмазного выглаживания. Все ступени заготовки, установленной в трехкулачковом патроне и поджатой задним центром, предварительно протачиваются с одной настройки на режиме чистового точения. После этого первая ступень со стороны задней бабки подвергается обработке обкатывания шариком, вторая алмазным выглаживанием, а третья – тонким точением. Четвертая ступень дополнительно не обрабатывается. Обработка указанными методами выполняется на режимах, заданным учебным мастером. В бланк отчета они заносятся с учетом корректировки по паспортным данным станка.

Обработка заготовок выполняется только в присутствии учебного мастера.

Средняя высота неровностей  $R_z, t_p$  всех обработанных ступеней заготовок ориентировочно устанавливается сравнением с образцами шероховатости. Все результаты работы заносятся в бланк отчета, по ним делаются выводы о влиянии технологических методов обработки на указанные параметры шероховатости. Форма отчета произвольная.

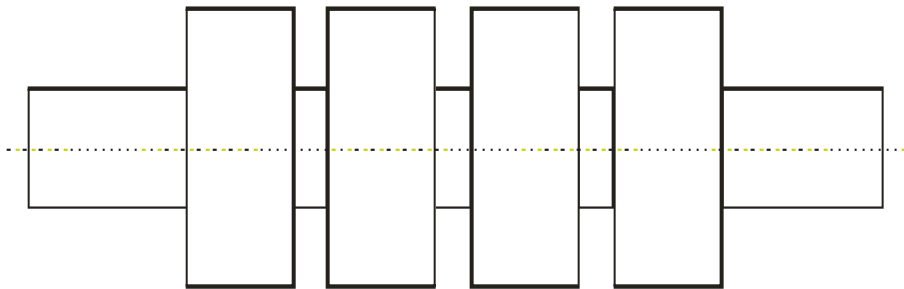


Рисунок 10 Ступенчатая заготовка

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое поверхностный слой детали?
2. Какими показателями характеризуется поверхностный слой детали?
3. Какие факторы оказывают влияние на качество поверхностного слоя деталей?
4. Какое влияние оказывают методы обработки металлов резанием на качество поверхностного слоя детали?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4  
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УСИЛИЯ ЗАПРЕССОВКИ ОТ РАЗМЕРОВ СОБИРАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ И РЕЖИМОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО СБОРОЧНОГО ПРОЦЕССА

**Цель работы:** Для заданных собираемых деталей определить зависимость силы запрессовки от длины соединения (расчетом и экспериментально), от угла фаски запрессовываемой детали (экспериментально), от скорости автоматической запрессовки (экспериментально).

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

При проектировании отделочных сборочных операций выполняют расчеты по определению усилий, необходимых для сборки неразъемных соединений, которые определяют параметры соответствующего оборудования. Соединения с гарантированным натягом осуществляют запрессовкой (продольно-прессовые соединения) или путем теплового воздействия на сопрягаемые детали (поперечно-прессовые соединения)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Для выполнения работы студенты выдаются две цилиндрические собираемые детали (рисунок 11).

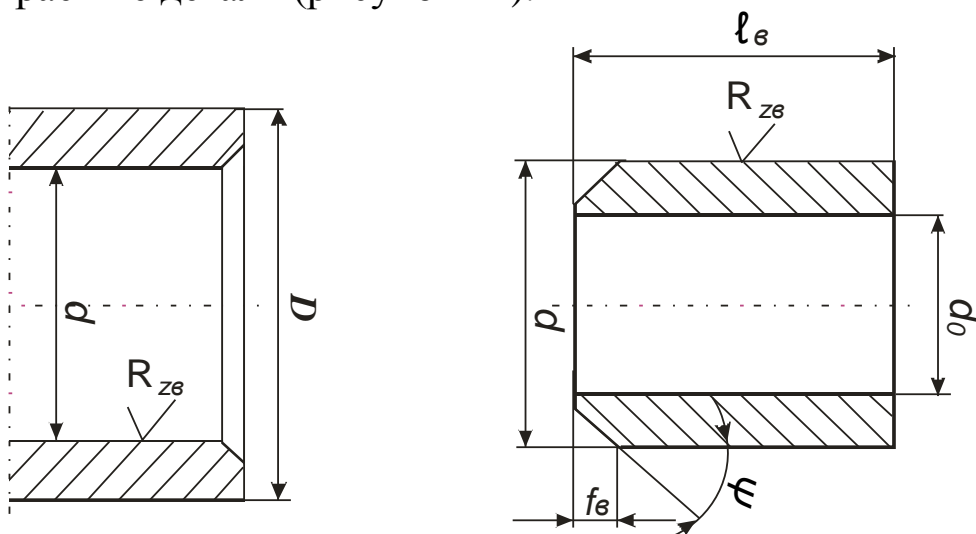


Рисунок 11 – Собираемые детали

При помощи мерительных средств (микрометра и индикаторного нутромера) замеряются размеры (диаметры) сопрягаемых поверхностей и по таблице 4 определяется характер посадки и величины натяга  $i$ . Сила запрессовки рассчитывают по формуле:

$$P_3 = \pi \cdot d \cdot f \cdot l \cdot p, \quad (4.1)$$

где  $d$  – номинальный диаметр сопряжения, мм;

$l$  – длина сопряжения, мм;

$f$  – коэффициент трения (принимается по данным графика 1 и таблицы б);

$p$  – удельное давление на сопрягаемых поверхностях, Н/мм<sup>2</sup>.

$$P = \frac{i_p}{d} \cdot \left( \frac{c_a}{E_A} + \frac{c_b}{E_b} \right). \quad (4.2)$$

Здесь  $i_p$  – расчетный натяг с учетом микрогеометрии сопрягаемых поверхностей:

$$i_p = i - 1,2(R_{Za} + R_{Zb}); \quad (4.3)$$

$R_{Za}$  и  $R_{Zb}$  – высоты микронеровностей сопрягаемых поверхностей деталей (их значения обозначены торцах деталей), мкм;

$E_a$  и  $E_b$  – модули упругости материалов сопрягаемых деталей, Н/мм<sup>2</sup>;

$$c_a = \frac{D^2 + d^2}{D^2 - d^2} + \mu_a; \quad c_b = \frac{d^2 + d_0^2}{d^2 - d_0^2} - \mu_b, \quad (4.4)$$

где  $D$  – наружный диаметр охватывающей детали, мм;

$d_0$  – внутренний диаметр охватываемой детали, мм;

$\mu$  – коэффициент Пуассона (для стали равен 0,3).

Значения коэффициентов  $C$  можно выбрать по таблице 5.

Силу запрессовки рассчитывают для различной длины соединения  $l$ , равной 10, 20 и 30 мм и по формулам 1 и 2 преобразованным для удобства вычислений:

$$P_3 = A \cdot l, \quad \text{где } A = \frac{\pi \cdot f \cdot i \cdot E}{(C_a + C_b)}. \quad (5)$$

Все результаты расчета заносятся в бланк отчета произвольной формы. Строится график  $P_3 = f(l)$ .

## Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования выполняются на установке (рисунок 12), размещенной на плите 1, где укреплены еще 4 стойки 2. На верхней поперечине 3 установлен гидравлический цилиндр 4. Масло под давлением гидронасоса попадает через поршень на шток 5, который передает усилие на торец запрессовываемой детали (втулки). Охватывающая деталь (втулка) центрируется на плите при помощи проставки 6. Направляющий штырь 7 этой проставки обеспечивает запрессовку втулки без перекоса. Длина запрессовки контролируется при помощи Г-образного шаблона 8, устанавливаемого перед запрессовкой в проставку вместе с охватываемой деталью. Усилие запрессовки контролируется по манометру 10. Перевод его показаний в усилия осуществляется по тарировочному графику. Масляный насос включается кнопкой. Скорость осевого перемещения штока 5 задается дросселем 11, установленным на выходе из гидроцилиндра, а регулируется рукояткой 12 дросселя. Распрессовка соединения производится с помощью другой проставки 9 и другого наконечника штока. Длина распрессовки контролируется по рискам наконечника.

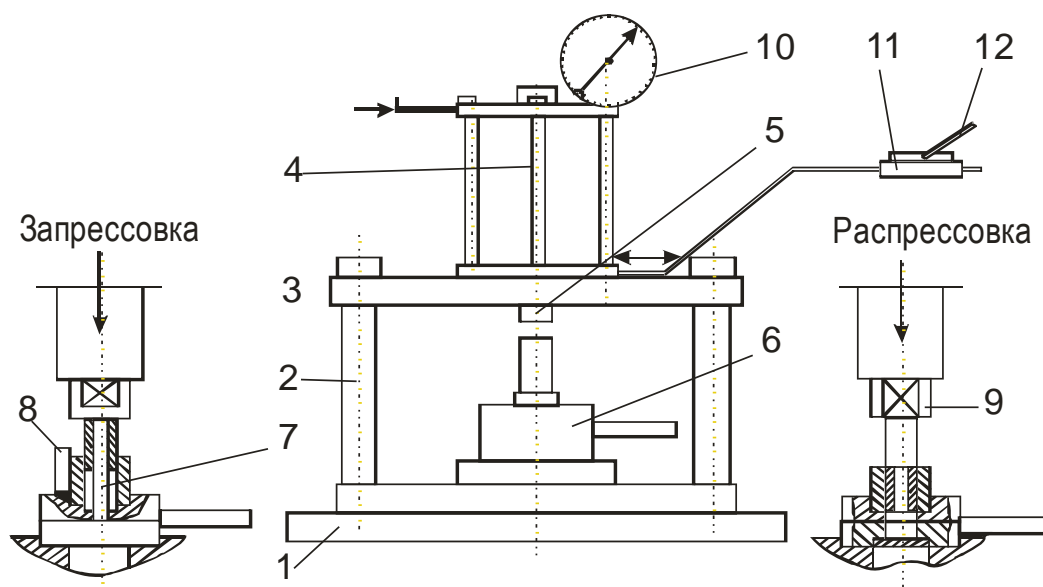


Рисунок 12 – Экспериментальная установка:

1 – плита; 2 – стойка; 3 – поперечина; 4 – гидроцилиндр; 5 – шток; 6, 9 – проставка; 7 – направляющий штырь; 8 – Г-образный шаблон; 10 – манометр, 11 – дроссель; 12 – рукоятка



### Определение зависимости силы запрессовки от длины соединения

Изменение длины запрессовываемой части детали определяется по шаблону 8. Причем длина устанавливается равной 10, 20 и 30 мм. Скорость сборочного процесса выбирается равной 1...2 мм/с. Данные по запрессовке и распрессовке заносятся в отчет произвольной формы. По результатам экспериментов строятся графики:  $P_3 = f(l)$  и  $P_{PAC} = f(l)$ .

Определяется погрешность расчетного метода по формуле:

$$\Delta = \frac{P_3 - P_{зф}}{P_3} \cdot 100.$$

### Определение зависимости силы запрессовки от угла конуса запрессовываемой детали

Зависимость силы запрессовки  $P_3$  и распрессовки  $P_{PAC}$  от угла  $\psi$  (рисунок 11) запрессовываемой детали определяется при запрессовке деталей, имеющих различные углы  $\psi$ : 10; 15; 30; 45 и одинаковые размеры:  $d, i_{pac}, l$ . По данным эксперимента строятся графики  $P_3 = f(\Psi)$  и  $P_{PAC} = f(\Psi)$ .

### Определение зависимости силы запрессовки от скорости $V$ запрессовки

Зависимость силы запрессовки  $P_3$  и  $P_{PAC}$  распрессовки от скорости запрессовки определяется при изменении  $V$  в диапазоне от 1...2 до 60 мм/с. Результаты экспериментов заносятся в отчет и строятся графики  $P_3 = f(V)$  и  $P_{PAC} = f(V)$ .

На основании результатов экспериментов необходимо определить оптимальную скорость запрессовки и угол  $\Psi$ .

Таблица 4. Предельные отклонения, мкм, посадок с натягом

Номинальный диаметр, мм	Система отверстия	
	7 квалитет	8 квалитет

	Отв.	вал				Отв.	вал	
	H7	7	7	7	7	H8	u8	jfs 8
Св. 10 до 18	+18	32	+46	+30	+25	+27	+60	+13
	0	50	28	12		0	+33	-13
Св. 18 до 24	+21	-40	+56	+36	+29	+33	+74/+41	+16
Св. 24 до 30	0	-61	+35	+15	+8	0	+81/+48	-16
Св. 30 до 40	+25	-50	+68	+42	+34	+39	+99	+19
	0	-75	+43	+17	+9	0	+60	-19

Таблица 5

Кривые	R <sub>z</sub> , мкм	
	вал	отверстие
1	0,16...0,2	0,25...0,32
2	1,0...1,25	1,0...1,25
3	2,5...3,2	2,5...3,2

Таблица 6 – Значения C<sub>a</sub> и C<sub>b</sub>

d <sub>0</sub> /d для C <sub>b</sub> d/D для C <sub>a</sub>	C <sub>b</sub>			C <sub>a</sub>		
	Сталь	Бронза	Чугун	Сталь	Бронза	Чугун
0,000	0,70	0,67	0,75	1,3	1,33	1,25
0,100	0,72	0,69	0,77	1,32	1,35	1,27
0,200	0,78	0,75	0,83	1,38	1,41	1,33
0,300	0,89	0,86	0,94	1,49	1,52	1,44
0,400	1,08	1,05	1,13	1,68	1,71	1,63
0,450	1,21	1,18	1,26	1,81	1,84	1,76
0,500	1,37	1,34	1,42	1,95	2,00	1,92
0,550	1,57	1,54	1,62	2,17	2,20	2,12
0,600	1,83	1,8	1,88	2,43	2,46	2,38
0,650	2,17	2,14	2,22	2,77	2,80	2,72
0,700	2,62	2,59	2,67	3,22	3,25	3,17
0,750	3,28	3,25	3,33	3,84	3,7	3,79

0,800	4,25	4,22	4,3	4,85	4,88	4,8
0,850	5,88	5,95	6,03	6,58	6,61	6,53
0,900	9,23	9,2	9,28	9,83	9,86	9,78
0,925	12,58	12,56	12,63	13,18	13,21	13,13
0,950	18,7	18,67	19,75	19,3	19,33	19,25
0,975	38,7	38,67	38,75	39,3	39,33	39,25
0,990	98,7	98,67	98,75	99,3	99,33	99,25

Примечание. Если охватываемая деталь выполнена в виде сплошного вала, то  $d/d_0 = 0$ ; если охватывающая деталь выполнена в виде плиты или корпуса,  $d/D = 0$ .

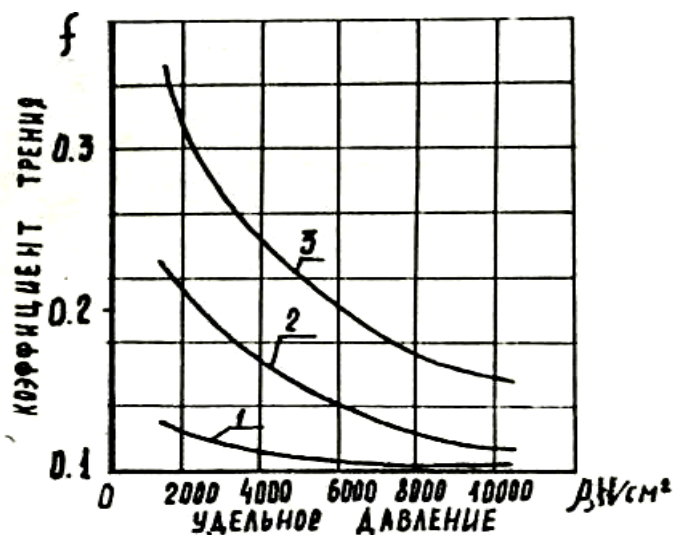


Рисунок 13 – График зависимости коэффициента трения от удельного давления

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается продольно-прессовое соединение от поперечно-прессового соединения?
2. Как влияет шероховатость соединяемых деталей на силы запрессовки?
3. Опишите принцип действия экспериментальной установки.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### РАСЧЕТ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**Цель работы:** рассчитать точность выполнения определенной операции технологического процесса и путем сопоставления ее с заданной точностью обработки сделать вывод о возможности ее обеспечения в заданных условиях.

#### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Величина суммарной погрешности обработки по диаметральному и продольным размерам в общем виде в массовом производстве определяется по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_u + \sqrt{\Delta_{сл}^2 + \Delta_n^2 + \varepsilon_y^2},$$

а в серийном:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_u + \Delta_n + \sqrt{\Delta_{сл}^2 + \varepsilon_y^2},$$

где  $\Delta_u$  – погрешность, обусловленная износом режущего инструмента;

$\Delta_{сл}$  – поле рассеивания погрешностей обработки, обусловленная такими технологическими факторами случайного характера, как неравномерность припуска, неодинаковая твердость материала заготовки, недостаточная жесткость системы станок – приспособление – инструмент – деталь, а также погрешностью формы детали. Эту величину называют также мгновенным полем рассеивания погрешности обработки;

$\Delta_n$  – погрешность настройки станка, мкм;

$\varepsilon_y$  – погрешность установки заготовки, мкм.

Погрешность, обусловленная износом режущего инструмента, рассчитывается по следующим формулам:

при односторонней обработке  $\Delta_u = \frac{U_0 \cdot l}{1000},$

при двусторонней обработке  $\Delta_u = 2 \cdot \frac{U_0 \cdot l}{1000}$ ,

где  $U_0$  – относительный износ, мкм/мм;

$l$  – путь резания, м.

Величина относительного размерного износа инструмента для принятых видов обработки выбирается по таблицам 11 и 12.

С помощью таблицы 12 рекомендуется определять величину относительного износа инструмента при фрезеровании по формуле:

$$U_{0фр} = \left(1 + \frac{100}{B}\right) \cdot U_0,$$

где  $B$  – ширина фрезерования, мм.

Относительный износ разверток составляет 0,005 – 0,008 мм/км.

Путь резания рассчитывается по формулам:

при точении:  $l = \frac{\pi \cdot d \cdot l \cdot n}{1000 \cdot S_{np}}$ ,

при торцевом фрезеровании:  $l = \frac{B \cdot l \cdot n}{1000 \cdot S_{np}}$ ,

при круговом и бесцентровом шлифовании с поперечной подачей:

$$l = \frac{\pi \cdot D_{ш.к.} \cdot n_{ш.к.} \cdot t \cdot k \cdot n}{1000 \cdot n_d \cdot S_{non}},$$

при сверлении, зенкерования и развертывании:

$$l = \frac{\pi \cdot D \cdot l \cdot n}{1000 \cdot S_{np}},$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности, мм;

$l$  – расчетная длина обработки с учетом пути врезания и перебега режущего инструмента, мм;

$n$  – количество деталей в настроечной партии, обрабатываемой в период между подналадками станка;

$S_{np}$  – продольная подача инструмента или детали, мм/об;

$B$  – ширина фрезерования или шлифования, мм; мм/об;

$D_{ш.к.}$  – диаметр шлифовального круга, мм;

$n_{шк}$  – число оборотов шлифовального круга в минуту;

$t$  – припуск на сторону, мм;

$k$  – коэффициент вывода искры,  $K=1,1-1,3$ ;

$n_d$  – число оборотов детали в минуту;

$S_{ноп.}$  – поперечная подача на один двойной ход, мм.

Погрешность динамической настройки определяется по формуле:

$$\Delta_{н.д} = \sqrt{\Delta_{см}^2 + \Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2},$$

где  $\Delta_{см}$  – смещение центра группирования размеров пробных деталей относительно середины поля рассеивания размеров, мкм.

$$\Delta_{см} = \frac{\Delta_{сл}}{\sqrt{m}},$$

где  $m$  – количество пробных деталей.

Значение мгновенной погрешности обработки  $\Delta_{сл}$  рекомендуется определять по таблицам 13–16;

$\Delta_{рег}$  – погрешность регулирования положения режущего инструмента, зависящая от применяемого способа регулирования и определяемая по таблице 19;

$\Delta_{изм}$  – погрешность измерения, равная предельной погрешности используемого измерительного инструмента и определяемая по таблице 18.

При обработке деталей в специальных приспособлениях на фрезерных станках фреза устанавливается с помощью щупа по эталону. В этом случае погрешность настройки:

$$\Delta_{н} = \sqrt{\Delta_{э}^2 + \Delta_{щ}^2 + \Delta_{уст.ин.}^2},$$

где  $\Delta_{э}$ ,  $\Delta_{щ}$  – погрешности изготовления эталона и щупа соответственно;

$\Delta_{уст.ин.}$  – точность установки фрезы по щупу.

Значение при установке его с помощью металлического щупа принимается 7 – 10 мкм.

Фрезерные эталоны принимаются высотой  $H = 8 - 12$  мм с точностью по Н7 (18 мкм), щупы принимаются плоские  $b = 1, 3, 5$  мм с точностью изготовления по Н7,  $\Delta_{ин} - 10$  мкм.

При использовании мерного режущего инструмента (сверла, развертки, зенкера)

$$\Delta_H = \sqrt{\Delta_{ин}^2 + \Delta_{y.u.}^2},$$

где  $\Delta_{ин}$  – погрешность изготовления инструмента, равная допуску на его изготовление по исполнительному размеру и определяем по таблице 17;

$\Delta_{y.u.} = 0$ , так как закрепление развертки плавающее.

Погрешность установки в центрах  $\varepsilon_y = 0$ . Такая же она и при плавающем закреплении развертки.

При фрезеровании плоскостей  $\varepsilon_y = \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_z$ .

В случае совмещения установочной и измерительной баз погрешность базирования  $\varepsilon_{\delta} = 0$ .

Погрешность закрепления  $\varepsilon_z$  определяется по таблице 20.

**Варианты заданий для выполнения лабораторной работы  
«Расчет производственных погрешностей аналитическим  
методом».**

1 вариант.

Определить точность чистового обтачивания цилиндрической ступени вала на токарном станке. Способ установки – в центрах. Настройка – динамическая по пробным деталям. Измерение деталей – с помощью микрометра, регулирование размеров – по лимбу станка. Количество пробных деталей  $m = 5$ .

Исходные данные в таблице 7.

Таблица 7

Исходные данные	Номера вариантов		
	1	2	3
Диаметр обработки, мм	45h10 <sub>-0,1</sub>	70h9 <sub>-0,074</sub>	90h11 <sub>-0,22</sub>
Расчетная длина обработки L, мм	150	200	250
Величина настроечной партии, шт.	50	60	80
Материал детали	Сталь 45	Сталь 25ХГТ	Серый чугун СЧ15
Жесткость станка (кгс/мм) 10Н/мм	500	800	1200
Материал режущей части резца	T15K6	T60K6	BK6
Подача S <sub>прод.</sub> , мм/об	0,15	0,2	0.25
Величина P <sub>y</sub> (кгс), 10Н	8,0	12,0	10,0
Класс точности микрометра	0-й	1-й	2-й
Цена деления лимба станка, мм	0,02	0,05	0,01



2 вариант.

Определить точность чистового фрезерования плоскости торцевой фрезой. Настройка на размер – по установкам приспособления. Деталь установлена на пластины по чисто обработанной поверхности в приспособлении с пневматическим зажимом; установочная плоскость является также измерительной базой. Количество пробных деталей  $m = 5$ .

Исходные данные в таблице 8.

Таблица 8.

Исходные данные	Номера вариантов		
	1	2	3
Размер обработки, мм	60h9 <sub>-0,074</sub>	70h10 <sub>-0,12</sub>	90h10 <sub>-0,14</sub>
Расчетная длина обработки L, мм	200	250	300
Ширина фрезерования B, мм	60	90	120
Величина партии деталей, шт.	50	80	100
Материал детали	Сталь 45	Сталь 25ХГТ	Серый чугун СЧ15
Жесткость станка (кгс/мм), 10Н/мм	900	600	1400
Подача S, мм/об	0,15	0,25	0,3
Материал режущей части	T15K6	T30K4	BK3
Величина P <sub>y</sub> (кгс), 10Н	14,5	16,5	20,5

3 вариант.

Определить точность шлифования ступени вала на круглошлифовальном станке. Настройка – динамическая по пробным деталям; измерение настроечных деталей – с помощью миниметра; регулирование размера при настройке по лимбу станка; деталь установлена в центрах; круг шлифовальный – 24А. Количество пробных деталей  $m = 5$ . Исходные данные – в таблице 9.

Таблица 9.

Исходные данные	Номера вариантов		
	1	2	3
Диаметр обработки, мм	55h6 <sub>-0,19</sub>	90h7 <sub>-0,035</sub>	110h8 <sub>-0,054</sub>
Величина настроечной партии	50	120	150
Материал детали	Сталь 45	Чугун зака- ленный	Цветной сплав
Поперечная подача $S_{\text{поп}}$ , мм/об	0,005	0,008	0,01
Число оборотов круга $\Pi_{\text{ш.к.}}$ , об/мин	2500	3000	3500
Диаметр круга $D_{\text{ш.к.}}$ , мм	200	250	300
Число оборотов детали $n_d$ об/мин	250	300	350
Цена деления и точность мини- метра	1 мкм, 1-й класс	2 мкм, 2-й класс	5 мкм, 3-й класс
Цена деления лимба станка, мм	0,01	0,02	0,05
Припуск на сторону $t$ , мм	0,15	0,18	0,2
Жесткость станка, 10Н/м	900	700	1000

4 вариант. Определить точность развертывания отверстий разверткой и плавающим креплением Настройка – динамическая по пробным деталям.

Исходные данные – в таблице 10.

Таблица 10.

Исходные данные	Номера вариантов		
	1	2	3
Диаметр отверстия, мм	8h7 <sub>+0,015</sub>	15h8 <sub>+0,018</sub>	320h7 <sub>+0,025</sub>
Длина обработки $L$ , мм	30	35	25
Величина настроечной пар- тии, шт.	70	60	80
Продольная подача $S_{\text{прод}}$ мм/об	0,9	1.0	0,7
Вид развертывания	Однократное	Двукратное	Однократно

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. На основании исходных данных, приведенных в таблице 7–10, определить суммарную погрешность обработки.
2. Сравнить эту погрешность с заданной точностью размера.
3. Сделать вывод о возможности обеспечения заданной точности.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Название работы.
2. Исходные данные, необходимые для расчета  $\Delta_{\Sigma}$ .
3. Расчет величин  $\Delta_{сл}, \Delta_{и}, \Delta_{н}, \varepsilon_{у}$ .
4. Расчет величин  $\Delta_{\Sigma}$  и  $\delta$  (требуемая точность расчета).
5. Выводы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как рассчитывается величина суммарной погрешности в массовом производстве.
2. Как определяется величина, обусловленная износом режущего инструмента.
3. Чему равна величина динамической настройки станка и как определяются ее элементы.
4. Чему равна погрешность настройки при использовании мерного режущего инструмента.

Таблица 11 – Значение  $U_0$  при чистовой обработке, мкм/км

Материал режущего инструмента	Углеродистая сталь	Легированная сталь	Серый чугун	Чугун, 375-400 НВ
T60K6	2 – 4	2 – 4	–	–
T30K4	3 – 4	4 – 6	–	–
T15K6	5 – 7	9 – 10	–	–
T5K10	8	12 – 13	–	–
BK9	–	65	–	–
BK8	–	17 – 25	13 – 14	–
BK6	–	–	14	–
BK4	–	9 – 10	6	16
BK2	–	–	4 – 26	12
ЦМ-332	0,5 – 1	1 – 6	–	9

Таблица 12 – Значение  $U_0$  шлифовального круга, мкм/км

Материал		$U_0$
Детали	Круга керамического	
Сталь 45	14А, 24А	0,03
Чугун закаленный	14А, 24А	0,04
Сплавы цветных металлов	14А, 24А	0,01

Таблица 13 – Значение  $\Delta_{сл}$  на круглошлифовальных станках, мкм

Размеры, мм	Жесткость системы (кгс/мм), 10 Н/мм		
	700–1200	1200–2000	2000–000
10-18	12	9	6
18-30	14	11	8
30-50	16	13	10
50-80	18	15	12
80-120	20	17	14

Таблица 14 – Значения мгновенной погрешности обработки  $\Delta_{сл}$  на токарных станках, мкм.

Размеры, мм	Сила $P_y$ , 10Н	Жесткость системы (кгс/мм), 10Н/мм		
		37	23	16
10-18	5-10	37	23	16
	10-15	38	24	17
18-30	5-10	40	26	17
	10-15	41	27	18
30-50	5-10	43	29	18
	10-15	44	30	19
50-80	5-10	46	32	19
	10-15	47	33	20
80-100	5-10	49	35	20

Таблица 15 – Значение  $\Delta_{сл}$  на фрезерных станках, мкм

Размеры, мм	Сила $P_y$ , 10Н	Жесткость системы (кгс/мм), 10Н/мм		
		400 – 700	700 – 1000	1000 – 1500
6 – 10	5 – 15	64	46	24
	св.15	66	48	26
10 – 18	5 – 15	70	52	30
	св.15	72	54	32
18 – 30	5 – 15	76	58	36
	св.15	78	60	38
30 – 50	5 – 15	82	64	42
	св.15	84	66	44
50 – 80	5 – 15	88	70	48
	св.15	90	72	50
80 – 120	5 – 15	94	76	54
	св.15	96	78	56

Таблица 16 – Значение  $\Delta_{сл}$  при развертывании, мкм

Вид развертывания	Диаметр отверстия, мм			
	3-6	6-10	10-18	18-30
Однократное	25	30	35	35
Двукратное	13	14	15	16

Таблица 17 – Точность изготовления разверток  $\Delta_{ин}$ , мкм

Номинальные диаметры инструмента, мм	Квалитет точности		
	7	8	8,9
3-6	4	5	8
6-10	5	6	9
10-18	6	8	11
18-30	8	9	13
30-50	10	11	16

Таблица 18 – Предельные погрешности измерения длин

Наименование инструментов	Класс точности	Предельные погрешности (+/-), мм		
		Интервалы размеров, мм		
		1-10	50-80	300-500
Миниметр с ценой деления 0,01 мм	0	0,5	0,8	1,8
	1	0,6	1,0	3,0
	2	0,7	1,4	4,5
	3	1,0	2,0	8,0
Миниметр с ценой деления 0,001 мм	1	1,0	1,4	3,5
	2	1,2	1,8	5,0
	3	1,4	2,5	8,0
Миниметр с ценой деления 0,005 мм	2	2,0	2,5	5,0
	3	2,2	3,0	8,5
	1	7,0	9,0	25,0
	2	12	14,0	35,0
Микрометр	0	4,5	6,0	15,0
	1	7,0	9,0	25,0
	2	12,0	14,0	35,0

Таблица 19 – Погрешности регулирования  $\Delta_{рег}$  инструмента по лимбу станка, мкм

Цена деления лимба на сторону, мм	На сторону	На диаметр
0,01	5 – 10	10 – 20
0,02	10 – 15	20 – 30
0,05	15 – 30	30 – 60
0,1 – 0,5	30 – 70	–

Таблица 20 – Погрешности закрепления заготовок  $\varepsilon_3$  при установке на опорные пластинки приспособлений по чисто обработанной поверхности в приспособлении с пневмозажимом

Поперечные размеры заготовки, мм	6 –	10–	18–	30–	50–	80–	120–	180–	260–	360–
	10	18	30	50	80	120	180	220	360	500
$\varepsilon_3$ , мкм	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блюмберг В.А. Справочник токаря. – Л.: Лениздат, 1969 г.
2. Вороненко В.П. Схиртладзе А.Г., Брюханов В.Н., Машиностроительное производство. – М.: Высшая школа, Издательский центр «Академия».
3. Данилевский В.В. Технология машиностроения. – М.: «Высшая школа», 1972, 544с.
4. Корсаков В.С. Основы технологи машиностроения. – М.: "Высшая школа", 1974 г.
5. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах / Под ред. Косиловой А.Г. и Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1985, 656с.



## ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ по выполнению лабораторных работ для студентов всех форм обучения специальности 240801 – «Машины и аппараты химической производств»

Составитель канд. техн. наук А.Н. Румянцев

Рецензент канд. техн. наук А.И. Свидченко

Отв. редактор канд. хим. наук А.Л. Проскурнин

Редактор А.А. Сергеенков

---

Подписано в печать      2021г.      Формат 60 × 84 1/16

Уч.-изд. л. \_\_\_\_      Усл. печ. л. \_\_\_\_      Тираж 50 экз.

ГОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технический университет»  
Невинномысский технологический институт (филиал)

---

Типография НТИ (филиал) «СевКавГТУ»,  
357108, г. Невинномысск, ул. Гагарина, 1

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования**  
**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Невинномысский технологический институт (филиал)

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению практических работ  
по дисциплине «Технология машиностроения»  
для студентов направления подготовки 15.03.02 Технологические машины  
и оборудование

Невинномысск 2021

Методические указания к выполнению практических работ предназначены для студентов очной/заочной формы обучения направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование. Практические работы содержат описание лабораторных установок, порядок проведения работы и обработки экспериментальных данных, контрольные вопросы для самоподготовки.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта в части содержания и уровня подготовки выпускников по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Составитель: канд. техн. наук Д.В. Казаков

Рецензент: канд. техн. наук А. И. Свидченко

## 1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

В производстве при анализе и контроле качества изделий наиболее часто приходится решать следующие задачи:

определять показатели качества на основе статистической обработки выборок с оценкой достоверности полученных значений методом доверительных интервалов (ГОСТ 27.202—83) (см. задачу 1.1);

сравнивать показатели качества с заданными значениями или между собой с помощью проверки статистических гипотез;

сравнивать показатели качества с заданными значениями или между собой с помощью проверки статистических гипотез;

определять закон распределения показателей качества с проверкой соответствия опытного распределения с теоретическим (ГОСТ 11.006—74);

выполнять анализ точности обработки методом кривых распределения;

обеспечивать изготовление изделий без брака, для решения которых необходимо предположить, что распределение показателя качества подчиняется нормальному закону;

корректировать технологические процессы в ходе производства с помощью выборочного контроля показателей качества, выполнять анализ точности обработки с использованием контрольных карт средних арифметических значений, размахов и средних квадратических отклонений; в качестве показателя эффективности контрольных карт применяют среднюю длину серии налаженного  $L_o$  (разлаженного  $L_I$ ) процесса, т. е. среднее число серий (выборок), необходимое для обнаружения изменения среднего значения исследуемого показателя качества.

Задача 1.1. По результатам измерения диаметров пяти валов, обработанных на токарном полуавтомате, сразу после настройки станка и через некоторый промежуток времени получены следующие значения

выборочных средних  $d_1 = 30,01$  мм и  $d_2 = 30,042$  мм дисперсий  $S_1^2 = 0,001$  мм<sup>2</sup> и  $S_2^2 = 0,004$  мм<sup>2</sup>. Определить, изменился ли настроечный размер?

Решение. Проверяем гипотезу о равенстве выборочных дисперсий  $H_0: S_1^2 = S_2^2$  с помощью критерия Фишера. Поскольку на принятом уровне значимости  $\alpha = 0,05$

$$F = \frac{S_2^2}{S_1^2} = \frac{0,004}{0,001} = 4 < F_{\alpha}(f_2; f_1) = F_{0,05}(4; 4) = 6,39,$$

уровень точности станка не изменялся (гипотеза о равенстве дисперсий принимается).

Вычисляем средневзвешенную дисперсию

$$s^2 = \frac{v_1 - 1 \bar{s}_1^2 + v_2 - 1 \bar{s}_2^2}{n_1 + n_2 - 2} = \frac{(5-1)0,001 + (5-1)0,004}{5+5-2} = 0,0025 \text{ мм}^2$$

с  $f = (n_1 + n_2 - 2) = 5 + 5 - 2 = 8$  степенями свободы.

Среднее квадратическое отклонение  $s = \sqrt{s^2} = \sqrt{0,0025} = 0,05$  мм.

Проверяем гипотезу о равенстве средних  $H_0: d_1 = d_2$  с помощью критерия Стьюдента. Так как

$$t = \frac{|\bar{d}_1 - \bar{d}_2|}{s \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{|30,1 - 30,042|}{0,05 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}} = 1,01 < t_{1-\frac{\alpha}{2}; f} = t_{1-\frac{0,05}{2}; 8} = 2,31,$$

гипотеза о равенстве средних принимается. Следовательно, настроечный размер за данный промежуток времени не изменился.

Если выборочные дисперсии окажутся неоднородными, следует вычислить значение критерия

$$T = \frac{v_1 t_{1-\frac{\alpha}{2}; f_1} + v_2 t_{1-\frac{\alpha}{2}; f_2}}{\sqrt{v_1 + v_2}},$$

где  $v_1 = s_1^2 / n_1$  и  $v_2 = s_2^2 / n_2$ .

Разницу между выборочными средними считать значимой (на уровне значимости  $\alpha$ ), если

$$|d_1 - d_2| > T.$$

Задание для самостоятельной работы по вариантам приведены в таблице 1.

Таблица 1.1 – Варианты для решения задач

Т	Вариан	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$S_1^2$ , мм <sup>2</sup>	$S_2^2$ , мм <sup>2</sup>
	1	30,01	30,042	0,0001	0,0004
	2	40,4	40,678	0,0004	0,0026
	3	45,05	45,36	0,0025	0,009
	4	50,07	50,11	0,0007	0,001
	5	62,01	62,23	0,0001	0,0004
	6	73,00	73,041	0,0005	0,0008
	7	80,99	81,32	0,0008	0,0011
	8	23,88	24,00	0,0003	0,0005
	9	95,5	95,74	0,0005	0,0009
	10	100,67	100,89	0,0014	0,0017

## 2. ПОСТРОЕНИЕ, РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

При проектировании технологических процессов механической обработки заготовок чаще всего возникают задачи по правильному и обоснованному определению операционных размеров и допусков на них. Они могут быть решены с помощью размерного анализа.

Обычно допуски и предельные отклонения на размеры деталей определяют исходя из расчета сборочных размерных цепей. Это предопределяет последовательность обработки отдельных поверхностей, которая не всегда может быть выполнена при обработке заготовок на настроенных станках, поскольку технологические базы могут не совпадать с конструкторскими. Возникает необходимость устанавливать на основе выявления и расчета размерных цепей технологические размеры для выполнения отдельных операций и переходов. Однако может оказаться, что принятая последовательность обработки является неприемлемой, так как допуски на технологические размеры трудновыполнимы. В этом случае необходимо пересмотреть последовательность обработки поверхностей заготовок.

Размерный анализ технологического процесса механической обработки проводится в следующем порядке (рисунок 2.1). Вычерчивается совмещенный эскиз детали и заготовки (в одной или нескольких проекциях), на котором указывают размеры детали  $A_i$  с допусками, заданными конструктором, и размеры заготовки  $B_j$ , подлежащие определению.

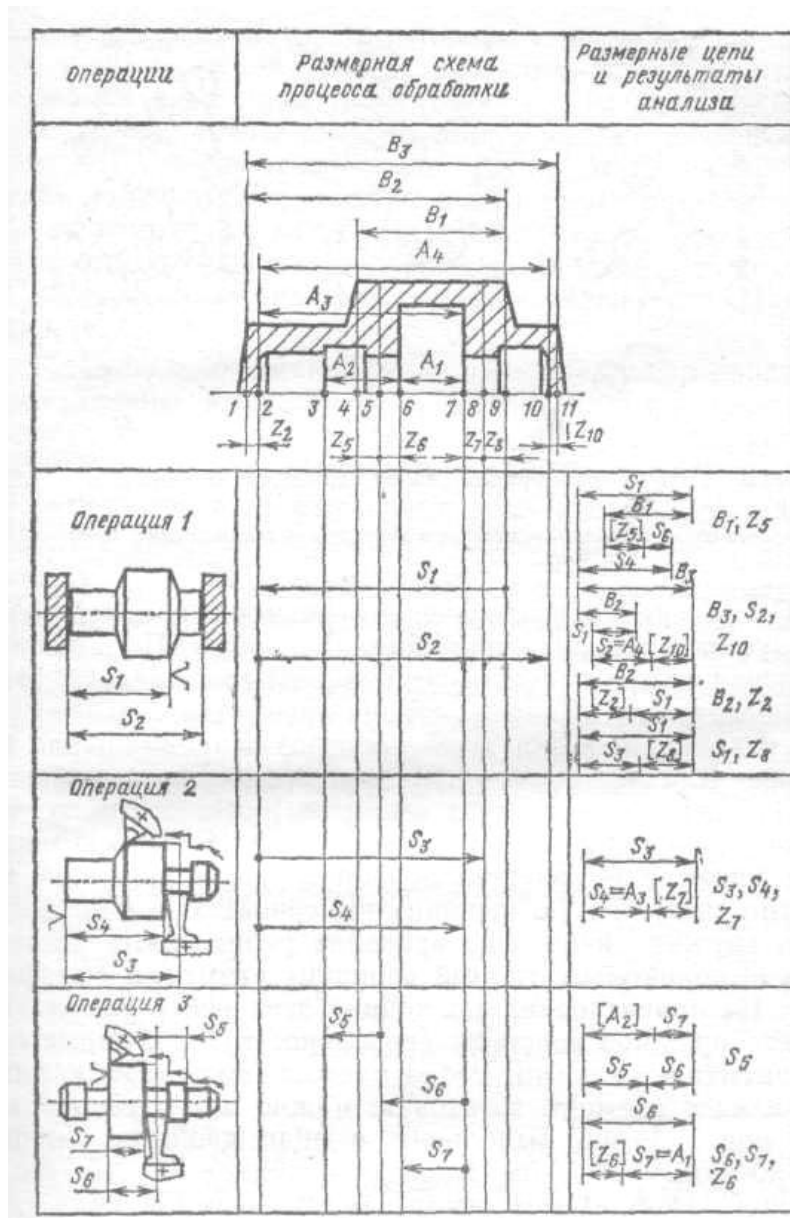


Рисунок 2.1 – Размерная схема процесса механической обработки

В соответствии с предварительно разработанным технологическим процессом обработки заготовки на эскиз детали условно наносят припуски  $Z_n$ , где  $n$  — номер поверхности, к которой относится припуск. Все поверхности заготовки и детали нумеруют по порядку, слева направо, и через них проводят вертикальные линии. Между вертикальными линиями указывают технологические размеры  $S_k$ , получаемые в результате выполнения каждого технологического перехода (при этом точка ставится на линии, соответствующей поверхности, которая используется в качестве базовой при установке заготовки или настройке инструмента).



Расчет размерных цепей начинают с последней операции, т. е. по размерной схеме снизу вверх. Для размерного анализа важно, чтобы в каждой новой цепи был неизвестен только один размер.

При этом замыкающим размером (на рисунке 2.1 он заключен в квадратные скобки) может быть либо припуск, либо конструкторский размер детали.

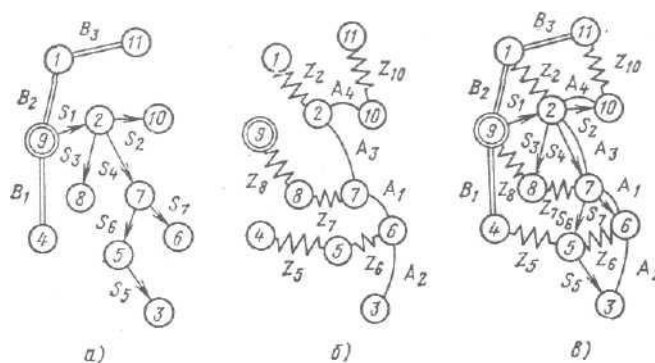


Рисунок 2.2 – График размерных связей процесса механической обработки:

*а* — производное дерево; *б* — исходное дерево; *в* — совмещенный граф

Построение технологических размерных цепей рекомендуется проводить при помощи графов. Порядок построения графа технологических размерных цепей (рисунок 2.2) следующий. Вначале строят производное дерево, затем исходное и после этого производят совмещение деревьев. Для построения производного дерева в качестве корня (вершины) следует выбирать поверхность, от которой начинается обработка заготовки в рассматриваемом примере в качестве вершины графа принята поверхность 9. Такую вершину вычерчивают в виде двойного кружка и из него проводят ребра, соответствующие выполняемым от этой вершины размерам (см. рисунок 2.1). На ориентированных концах этих ребер указывают в виде кружков вершины (поверхности), в которые они упираются стрелками. Ребра производного дерева, изображающие размеры заготовки, можно не ориентировать (на рисунке 2.2 они выполнены в виде двойных линий). Аналогичным образом

строится исходное дерево, ребра которого изображают неориентированными в виде дуг (конструкторские размеры) и ломаных линий (припуски на обработки).

Любой замкнутый контур совмещенного графа образует размерную цепь, у которой ребро исходного дерева является замыкающим звеном, а ребра производного дерева — составляющими звеньями.

Технологическая размерная цепь, таким образом, представляет собой совокупность размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное расположение поверхностей (или осей) заготовки. Замкнутость размерной цепи приводит к тому, что на размеры, входящие в размерную цепь, не могут назначаться независимо допуски и отклонения. Любая технологическая размерная цепь (см. рисунок 2.1 и 2.2) имеет одно замыкающее звено и два или более составляющих (увеличивающих или уменьшающих) звеньев. В процессе обработки заготовки замыкающее звено получается последним.

Решение о том, какое звено размерной цепи является замыкающим, может быть принято лишь на основе размерного анализа технологического процесса обработки заготовки.

Технологические размерные цепи решают методами полной и неполной взаимозаменяемости.

Задача 2.1 Установить допуск и подобрать отклонения на операционный размер 120 мм (рисунок 2.3) в соответствии с ГОСТ 25347—82, если размер 30 мм задан с отклонениями  $\pm 0,065$ .

Исходные данные к задаче:

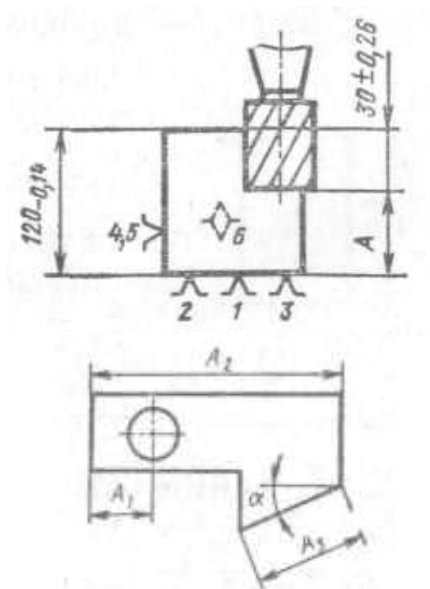


Рисунок 2.3 – Схема механической обработки заготовки.

Таблица 2.1 Данные к задаче 2.1

Размер	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
$A_1, \text{ мм}$	$12 + 0,09$	$10 + 0,11$	$8 - 0,09$	$6 + 0,11$	$6 - 0,22$	$6 - 0,22$
$A_2, \text{ мм}$	$82 - 0,12$	$62 - 0,19$	$52 + 0,15$	$42 - 0,1$	$42 + 0,05$	$42 + 0,05$
$A_3, \text{ мм}$	$42 + 0,08$	$32 + 0,05$	$32 - 0,1$	$20 - 0,13$	$20 + 0,13$	$20 + 0,13$
$\alpha, ^\circ$	50	40	30	20	20	0

Решение. Составим схему размерной цепи (рисунок 4). В данном случае:

$$T_{A_\Delta} \neq T_{A_1} + T_{A_2}; \quad 0,13 \neq T_{A_1} + 0,14.$$

Требуется по заданному допуску и отклонениям замыкающего звена определить допуски, верхние и нижние отклонения составляющих звеньев.

Допуски на составляющие размеры обычно (особенно при небольшом числе звеньев в размерной цепи) назначают методом подбора, используя значения, приведенные в ГОСТ 25347—82. Средняя точность по качеству составляющих звеньев может быть определена по уравнению (1.1):

$$a_c = \frac{130}{i_{A_1} + i_{A_2}} = \frac{130}{2,17 + 2,17} = 29,95.$$

Значения единиц допуска  $i_{A_i}$  для размеров  $A_1 = 90$  мм и  $A_2 = 120$  мм, а также среднюю точность по качеству находим по. Принимаем ближайшее меньшее табличное значение  $a_c = 25$ , которому соответствует точность 8-го качества.

В таком случае

$$T_{A_1} = T_{A_2} = 0,054 \text{ и } T_{A\Delta} = T_{A_1} + T_{A_2} = 0,054 + 0,054 = 0,108 < 0,13$$

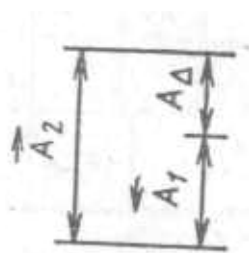


Рисунок 2.4 – Схема размерной цепи

$A_1$  — уменьшающий размер;  $A_2$  — увеличивающий размер

т.е. заданная точность замыкающего звена обеспечивается с некоторым запасом:

$$k = T_{A\Delta\text{зад}} / T_{A\Delta\text{факт}}$$

где  $T_{A\Delta\text{зад}}$  и  $T_{A\Delta\text{факт}}$  — соответственно заданное и фактически обеспечиваемое значение допуска замыкающего звена. Следует стремиться при назначении допусков на составляющие звенья к тому, чтобы  $k = 1$ .

Вполне приемлемым является вариант, когда допуск на составляющие звенья выполняют с точностью по разным качествам, учитывая трудность выполнения того или иного размера при обработке. В данном случае можно принять  $T_{A_1} = 0,087$  мм (точность по 9-му качеству) и  $T_{A_2} = 0,035$  (точность по 7-му качеству). Тогда  $T_{A\Delta} = T_{A_1} + T_{A_2} = 0,087 + 0,035 = 0,122$  мм и  $k = 0,13 / 0,122 = 1,07$  Поскольку на операционный размер предстоит подобрать отклонения в соответствии с ГОСТ 25347—82, допуск на него определим из уравнения

$$0,13 = T_{A_1} + 0,035; \quad T_{A_1} = 0,095 \text{ мм.}$$

Очевидно,  $A_2 = 120_{-0,035}$  и координата середины поля допуска на размер  $A_2$   $E_C A_2 = -0,0175$ . Определим координату середины поля допуска на размер  $A_1$ :

$$E_C A_\Delta = -E_C A_1 + E_C A_2,$$

$$0 = -E_C A_1 + (-0,0175), \quad E_C A_1 = -0,0175.$$

Тогда верхнее и нижнее отклонения на размер  $A_1$

$$E_S A_1 = -0,0175 + \frac{1}{2} 0,095 = 0,03 \text{ мм;}$$

$$E_I A_1 = -0,0175 - \frac{1}{2} 0,095 = -0,065 \text{ мм.}$$

Наиболее подходящими отклонениями (по ГОСТ 25347—82) на размер  $A_1 = 90$  мм являются  $E_S A_1 = 0$  и  $E_I A_1 = -0,054$  мм (8-й квалитет).

В таком случае фактическое значение координаты середины поля допуска замыкающего звена

$$E_C A_{\Delta \text{ факт}} = -E_C A_1 + E_C A_2 = -(-0,027) + (0,0175) = -0,0095 \text{ мм.}$$

Верхние и нижние отклонения на размер  $A_\Delta = 30$  мм

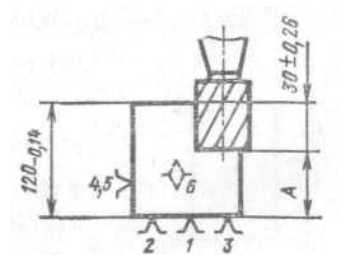
$$E_S A_{\Delta \text{ факт}} = 0,0095 + \frac{1}{2} (0,054 + 0,035) = 0,054 \text{ мм;}$$

$$E_I A_{\Delta \text{ факт}} = 0,0095 - \frac{1}{2} (0,054 + 0,035) = -0,035 \text{ мм,}$$

т. е. находятся внутри заданного поля допуска.

Задача 2.2. Определить, с какими отклонениями при обработке резанием должен быть выполнен размер  $A$  (рисунок 2.5).

Исходные данные к задаче:



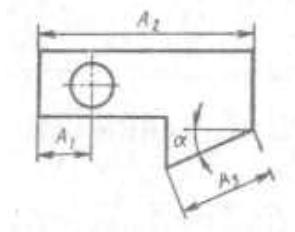


Рисунок 2.5 – Схема механической обработки заготовки

Размер	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
$A_1$ , мм	12 +0,09	10 + 0,11	8 -0,09	6 + 0,11	6 -0,22	6 -0,22
$A_2$ , мм	82 -0,12	62 -0,19	52 + 0,15	42 -0,1	42 + 0,05	42 + 0,05
$A_3$ , мм	42 + 0,08	32 + 0,05	32 -0,1	20 -0,13	20 +0,13	20 +0,13
$\alpha$ , °	50	40	30	20	20	0

## 2. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ И РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ УСТАНОВОК

Обеспечение заданной точности механической обработки с использованием приспособлений в значительной мере зависит от выбора технологических баз и схемы установки заготовок (ГОСТ 21495—76). Обработка заготовок в приспособлениях на предварительно настроенных станках (способ автоматического получения размеров) исключает разметку заготовок и последующую выверку их положения на станке. Однако при этом возникает погрешность установки заготовки

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2} + \varepsilon_{n.з}, \quad (3.1)$$

где  $\varepsilon_{\delta}$  — погрешность базирования;  $\varepsilon_3$  — погрешность зарепления;  $\varepsilon_{n.з}$  — погрешность положения заготовки;

$$\varepsilon_{n.з} = \sqrt{\varepsilon_{yc}^2 + \varepsilon_u^2 + \varepsilon_c^2}, \quad (3.2)$$

где  $\varepsilon_{yc}$  — погрешность, вызываемая неточностью изготовления и сборки установочных элементов приспособления;  $\varepsilon_u$  — погрешность, вызываемая износом установочных элементов приспособления;  $\varepsilon_c$  — погрешность установки приспособления на станке.

Допуск выполнения заданных размеров  $l$  может быть определен как

$$T_l = \varepsilon_y + \omega, \quad (3.3)$$

где  $\omega$  — средняя экономическая точность обработки на металлообрабатывающих станках. Для принятых методов обработки и схемы установки заготовки ожидаемое расчетное значение допуска  $T_l$  должно быть меньше заданного  $[T_l]$

$$T_l \leq [T_l]. \quad (3.4)$$

Для расчета ожидаемой точности обработки инженеру-технологу необходимо определить:

погрешности базирования в зависимости от принятой схемы установки заготовки в приспособлении;

погрешности закрепления в зависимости от непостоянства сил зажима, неоднородности шероховатости и волнистости поверхностей заготовок, износа установочных элементов приспособлений;

погрешности, вызываемые износом установочных элементов  $\varepsilon_u$ ;

исполнительные размеры установочных элементов, обеспечивающие заданную точность обработки и возможность установки заготовок.

Точность приспособлений является важнейшим фактором, обеспечивающим точность изготовления деталей. В процессе эксплуатации изнашиваются их установочные и направляющие элементы и приспособления теряют требуемую точность. В этой связи важно уметь определять межремонтный период  $\Pi$  работы приспособления.

Линейный износ  $u$  установочных элементов приспособления (опор) определяет погрешность  $\varepsilon_u$  ( $\varepsilon_u = u$ —для опор). Величина  $u$  определяется по уравнению:

$$u = \frac{NK_Y(1 + 0,003L)0,79t_M}{m - m_1\Pi_1 - m_2 \frac{0,1Q}{FHV}}, \quad (3.5)$$

где  $N$  — число устанавливаемых заготовок;  $K_Y$ —коэффициент, учитывающий условия обработки;  $L$  — длина пути скольжения заготовки по опорам при досылке ее до упора, мм (определяется исходя из условий эксплуатации приспособления);  $t_M$ —машинное время обработки заготовки в приспособлении, мин;  $m$ ,  $m_1$ ,  $m_2$  — коэффициенты;  $\Pi_1$  — критерий износостойкости;  $Q$  — нагрузка на опору, Н;  $F$  — площадь касания опоры с базовой поверхностью заготовки, мм<sup>2</sup>;  $HV$  — твердость материала опоры по Виккерсу ( $HV \approx 11,6 HRC_9$ ).

Межремонтный период  $\Pi$ , определяющий необходимость замены или восстановления установочных элементов приспособления, определяется по уравнению

$$\Pi = \frac{12K \sqrt{N}}{N_2} \quad (3.6)$$



где  $K$  — коэффициент запаса, учитывающий нестабильность износа установочных элементов ( $K = 0,8 \dots 0,85$ );  $[N]$ —допустимое число устанавливаемых заготовок до предельного износа установочных элементов;  $N_2$  — годовая программа выпуска деталей.

Для выполнения операций обработки резанием на металлорежущих станках часто применяют схему установки заготовок, когда комплект технологических баз состоит из плоской поверхности (поверхностей) и отверстия или плоской и наружной цилиндрической поверхностей. При этом базирование заготовок производится на опорные пластины, установочные пальцы (цилиндрические и срезанные), центрирующие втулки с гарантированным зазором, а также на цилиндрические оправки (с гарантированным зазором или натягом).

Установочные пальцы (оправки) при установке заготовок с гарантированным зазором изготавливают с полями допусков  $g5, g6, f6, f7, e7$ , центрирующие втулки —  $G5, G6, F7$ , а цилиндрические оправки для установки заготовок с натягом изготавливают с полями допусков валов  $n, p, r, s, t$  по 5-му и 6-му квалитетам. Однако для каждого конкретного случая поле допуска на исполнительные размеры установочных элементов определяется расчетом из условия обеспечения неподвижности заготовки или возможности установки заготовок и обеспечения заданной точности размеров.

При установке заготовок на отверстие с гарантированным зазором погрешность базирования является основной составляющей погрешности установки и обуславливается величиной зазора между технологической базой и установочным элементом. Максимально возможное значение зазора определяют по уравнению

$$S_{max} = T_D + S_{min} + T_d, \quad (3.7)$$

где  $T_D$  — допуск базового отверстия заготовки (или центрирующей втулки),  $S_{min}$  — минимальный зазор в сопряжении;  $T_d$  — допуск на размер установочного элемента (или базовой поверхности заготовки).

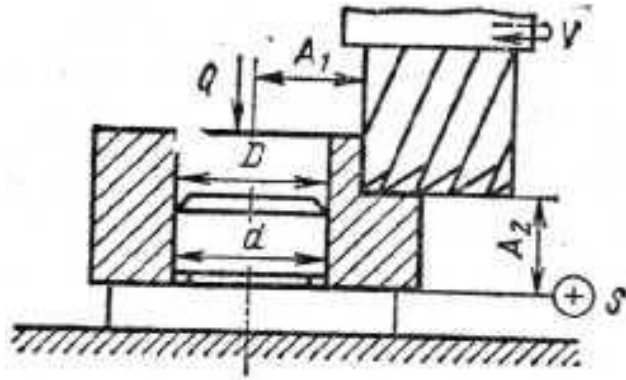


Рисунок 3.1 – Схема фрезерования втулки (к задаче 3.1)

Задача 3.1. На вертикально-фрезерном станке обрабатывают ступенчатую поверхность втулки, установленную на цилиндрический палец с буртом (рисунок 3.1). Диаметр базового отверстия  $D = 30^{+0,039}$  мм, диаметр установочного пальца  $d = 30_{-0,016}^{-0,007}$  мм. Требуется определить ожидаемую точность выполнения размеров  $A_1$  и  $A_2$ , если известно, что составляющие погрешности установки (погрешности закрепления и положения заготовки) равны нулю. Точность метода обработки принять равной  $\omega = 0,120$  мм.

Решение. Исходя из схемы установки заготовки в приспособлении погрешность базирования при выполнении размера  $A_1$  определяем по уравнению (3.7):

$$\varepsilon_{\delta A_1} = S_{\max} = T_D + S_{\min} + T_d = 0,039 + 0,007 + 0,09 = 0,055 \text{ мм},$$

а погрешность базирования при выполнении размера  $A_2$   $\varepsilon_{\delta A_2} = 0$ , поскольку измерительная и технологическая базы совмещены.

Поскольку по условию задачи  $\varepsilon_3 = \varepsilon_{п.3} = 0$ ,

$$T_{A_1} = \varepsilon_{\delta A_1} + \omega = 0,055 + 0,120 = 0,175 \text{ мм},$$

$$T_{A_2} = \varepsilon_{\delta A_2} + \omega = 0 + 0,120 = 0,120 \text{ мм}.$$

Задача 3.2. Обработка наружной цилиндрической поверхности втулок диаметром 115 мм производится при установке их с зазором на жесткой

шпиндельной оправке (рисунок 3.2). Базовое отверстие втулок имеет диаметр  $65^{+0.035}$  мм. Цилиндрическая рабочая поверхность оправки диаметром  $65_{-0.06}^{0.03}$  мм имеет радиальное биение относительно ее конусной поверхности 0,020 мм, а биение шпинделя станка составляет 0,010 мм. Точность метода обработки  $\omega = 0,05$  мм. Определить ожидаемую точность выполнения цилиндрической поверхности втулки и ее возможное отклонение от соосности относительно базового отверстия.

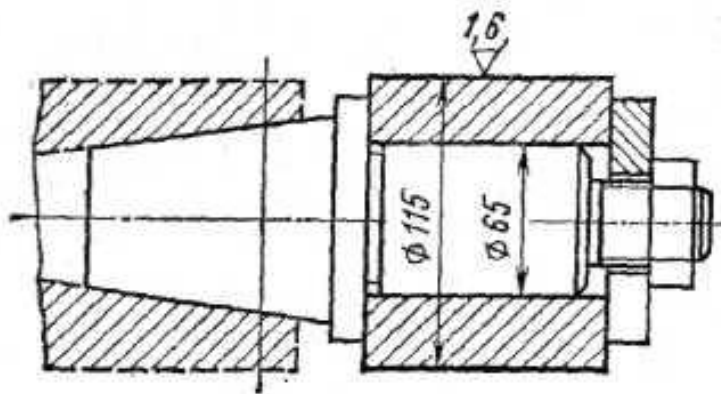


Рисунок 3.2 – Схема установки втулки (к задаче 3.2)

#### 4. РАСЧЕТ СУММАРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

Погрешностей, возникающих в процессе обработки и дающих в результате неточные размеры и искажение формы детали, много. Происхождение этих погрешностей, их характер и направленность разные: одни погрешности дают увеличение размеров (плюс), другие уменьшение (минус), некоторые — компенсируют, «гасят» другие и таким образом уменьшают большую погрешность, другие, наоборот, накладываются, накапливают и увеличивают общую погрешность, причем направленности (векторы) погрешности могут совпадать или могут идти под разными углами; разных сочетаний может быть множество. Некоторые погрешности приводят к искажению формы детали.

Общую суммарную погрешность можно определить экспериментально, пользуясь точными измерительными приборами; можно также установить влияние некоторых факторов, порождающих погрешности, и определить их числовые значения. Но теоретически (путем расчета) определить влияние каждого фактора (при их совместном действии) затруднительно. Поэтому расчеты по предлагаемым многими авторами формулам для определения суммарной погрешности не совпадают с экспериментальными данными. Анализ показывает, что в формулах не учитывается ряд факторов, вызывающих погрешности в процессе обработки, что, разумеется, и отражается на общей величине суммарной погрешности. В этом одна из причин расхождения данных, рассчитанных теоретически, с данными, получаемыми экспериментально. Если каждому из вышеперечисленных видов погрешностей придать буквенное обозначение, то общий вид формулы (11), выражающей суммарную погрешность, можно представить как алгебраическую сумму отдельных видов погрешностей, которые частично или полностью могут перекрываться и взаимно компенсировать:

$$\Delta_{\Sigma} = \alpha_{cm} + \beta_{ин} + \gamma_{н.с} + \varepsilon_y + i_{д.с} + r_{д.з} + \lambda_{m.д} + \omega_{\kappa} + \psi_{исп} + \chi_{осм} \quad (4.1)$$

где  $a_{cm}$  — неточность станка;  $\beta_{ин}$  — неточность изготовления режущего и вспомогательного инструмента, его изнашивание во время работы и неточность приспособления;  $\gamma_{н.с}$  — неточность обработки, зависящая от установки инструмента и настройки станка на размер;  $\varepsilon_y$  — погрешность установки заготовки на станке или в приспособлении;  $i_{д.с}$  — деформация деталей станка, обрабатываемой детали и инструмента;  $r_{д.з}$  — деформация детали, возникающая при ее закреплении для обработки;  $1_{ТД}$  — тепловые деформации и внутренние напряжения;  $\omega_k$  — неточность измерения вследствие влияния качества поверхности после обработки;  $\psi_{исп}$  — ошибки исполнителя работы;  $\chi_{ост}$  — остальные, не учтенные, погрешности.

Погрешность установки  $\varepsilon_y$  при обработке плоских поверхностей

$\varepsilon_y = \varepsilon_B + \varepsilon_3$  при обработке тел вращения  $\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_B^2 + \varepsilon_3^2}$   $\varepsilon_B$  — погрешность базирования;  $\varepsilon_3$  — погрешность закрепления.

Задача 4.1. После какого числа обработанных заготовок необходимо заменить зенкер с пластинками из твердого сплава Т5К10 вследствие его износа при обработке отверстий  $d_{омс}=40H10$ , длиной  $l = 60$  мм в заготовках из легированной стали  $\sigma_s = 1100$  МПа. Допустимый износ зенкера не должен превышать  $0,4 T_d$ , подача при зенкероании  $S = 0,8$  мм/об.

Решение. Погрешность обработки, вызванную износом инструмента, определим по уравнению:

$$\Delta_u = u_n + u_0 \frac{\pi d l N}{10^6 S}. \quad (4.2)$$

Принимая для упрощения  $u_n = u_0$ , получим:

$$\Delta_u = u_0 \left( 1 + \frac{\pi d l N}{10^6 S} \right)$$

где  $u_n$  - начальный износ, мкм/км;  $u_0$  - интенсивность изнашивания, мкм/км;  $d_{омс}$  и  $l$  — диаметр и длина обработки соответственно, мм;  $N$  — число обработанных поверхностей, шт.;  $S$  — подача инструмента, мм/об.

Для заданных условий  $u_0 = 12$  мкм/км,  $u_n = u_0 = 12$  мкм/км (что соответствует 1000 м пути резания). Учитывая, что  $IT_{40} = 0,1$  мм, а допустимый износ не должен превышать 0,4 его величины, получим, что допустимый износ каждого из противоположных зубьев зенкера не должен превышать  $\Delta_u = 0,1 \cdot 0,4 / 2 = 0,02$  мм. Из уравнения для  $\Delta_u$  получим:

$$N = \frac{\Delta_u - \Delta_0}{u_0 \pi d l} \cdot 10^6 = \frac{(0,02 - 0,012) \cdot 0,8 \cdot 10^6}{0,012 \pi \cdot 40 \cdot 60} = 70,6,$$

т. е. замену зенкера необходимо производить после обработки 70 заготовок.

Задача 4.2. Определить величину конусности гладкого вала диаметром  $d$  и длиной  $L$ , вызванную размерным износом резца при чистовом точении с подачей  $S$  (таблица 4.1).

Таблица 4.1 Исходные данные к задаче 4.2.

Данные	Вариант				
	1	2	3	4	5
$d$ , мм	50	80	100	120	150
$L$ , мм	500	700	850	1000	1400
$S$ , мм/об	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2
Материал детали	Легированная сталь		Углеродистая сталь		Серый чугун
Материал инструмента	T15K6	T30K4	T30K4	T15K6	BK6

## 5. КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Один из основных показателей качества машин—надежность в значительной мере характеризуется эксплуатационными свойствами их деталей и соединений (сопротивлением усталости, износостойкостью, контактной жесткостью, герметичностью соединений, точностью посадок и др.). Все эти эксплуатационные свойства зависят от качества (состояния) поверхностного слоя деталей (макроотклонения, волнистости, шероховатости (ГОСТ 2789—73), физико-механических свойств)-определяемого технологией их изготовления.

Как при назначении параметров качества поверхностного слоя деталей машин, так и при выборе технологических методов необходимо знать возможности этих методов обработки в одновременном обеспечении всей системы параметров качества. При решении задач по технологическому обеспечению качества поверхности деталей и их эксплуатационные свойств необходимо:

назначать параметры качества (состояния) поверхностного слоя деталей машин исходя из их функционального назначения;

прогнозировать параметры качества, в частности параметры шероховатости, при различных технологических методах обработки;

определять режимы механической обработки, обеспечивающие получение заданных параметров качества;

определять методы механической обработки, позволяющие получить заданные параметры качества с наибольшей производительностью.

Задача 5.1. Определить параметры шероховатости рабочей поверхности вала ( $d=40$  мм), изготовленного из стали 40Х и работающего на растяжение при действии циклической нагрузки  $P = 100$  кН и назначить метод отделочной обработки.

Решение. Преобразовав уравнение прочности деталей относительно параметров шероховатости, получим

$$\frac{20}{(100 - t_m) S_m} \left( \frac{60 R_{\max} Ra}{100 - t_m} \right)^{0,5} = \frac{\sigma_0}{\sigma} - 1. \quad (5.1)$$

Предел циклической прочности материала 40Х на растяжение  $[\sigma] = 550$  МПа, Напряжение, действующее на вал от приложенной нагрузки,

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 400 \cdot 10^3}{\pi 40^2} = 80 \text{ МПа.}$$

При чистовом точении рабочей поверхности вала

$$t_m = 45\%; \quad Ra = \frac{1}{6} R_{\max}; \quad \sigma_0 = 0.$$

Подставляя исходные данные в уравнение (5.1), после вычислений получим

$$R_{\max}/S_m = 38.$$

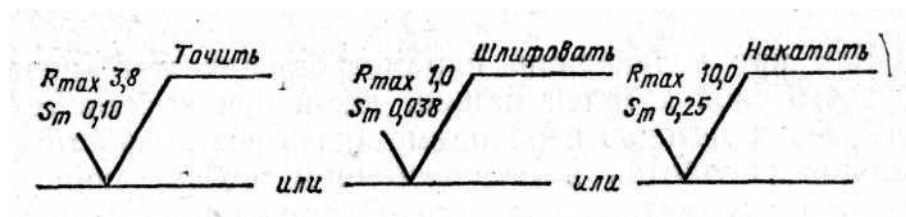


Рисунок 5.1 – Указание требований в отношении параметров шероховатости и метода обработки на чертеже детали (к задаче 5.1)

Этому соотношению при чистовом точении соответствуют:

$$R_{\max} = 3,8 \text{ мкм и } S_m = 0,10 \text{ мм.}$$

При отделочной обработке рабочей поверхности вала шлифованием:

$$t_m = 50\%; \quad Ra = \frac{1}{7} R_{\max}; \quad \sigma_0 = +50 \text{ МПа.}$$

После вычислений по уравнению (5.1)  $R_{\max}/S_m = 32$ . Этому соотношению при шлифовании соответствуют:

$$R_{\max} = 1,0 \text{ мкм и } S_m = 0,032 \text{ мм.}$$

При отделочной обработке рабочей поверхности вала накатыванием:



$$t_m = 60 \%; Ra = \frac{1}{5} R_{\max}; \sigma_0 = -400 \text{ МПа} \text{ и } R_{\max}/S_m = 40.$$

Данное соотношение  $R_{\max}/S_m$  обеспечивается при  $R_{\max} = 10,0$  мкм и  $S_m = 0,25$  мм. Таким образом, в соответствии с ГОСТ 2.309—73 в чертеже на рабочей поверхности вала необходимо указать следующие требования к параметрам шероховатости и методу отделочной обработки (рисунок 5.1).

Задача 5.2. Определить параметры состояния сопрягаемых поверхностей вала и втулки, изготовленных из конструкционной стали, метод окончательной их обработки, гарантированно обеспечивающих передачу крутящего момента для условий, приведенных в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Исходные данные к задаче 5.2.

Вариант	Передаваемый момент $M$ , кН·м	Размеры соединения, мм			Минимальный натяг, мм	Метод сборки
		d	D	b		
1	2	50	70	60	0,01	С охлаждением
2	2	50	70	60	0,03	
3	2	60	70	60	0,03	
4	2	60	90	100	0,03	
5	10	60	90	100	0,03	Запрессовка
6	10	60	90	100	0,03	
7	10	70	90	100	0,03	
8	10	70	120	120	0,03	
9	20	90	130	130	0,07	С нагревом
10	35	100	130	130	0,07	
11	35	100	130	140	0,08	
12	35	100	150	140	0,09	

## 6. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ЗАГОТОВОК

На первом этапе выбора заготовки осуществляется предварительная оценка вариантов, которая позволяет по внешним признакам эффективности (снижения материалоемкости, трудоемкости обработки) отобрать наиболее приемлемые. Показатели предварительной оценки следующие.

1. Коэффициент использования материала

$$k_{И.М.} = G_D / G_3, \quad (6.1)$$

где  $G_D$ ,  $G_3$  — масса детали и заготовки, кг.

Чем выше значение коэффициента использования материала ( $k_{И.М.} \leq 1$ ), тем при прочих равных условиях технологичнее конструкция заготовки и ниже ее себестоимость.

2. Трудоемкость изготовления  $t_6$  детали для нового варианта

$$t_n = t_6 \sqrt{(G_n / G_6)^2} \quad (6.2)$$

где  $t_6$  — трудоемкость изготовления детали по базовому варианту, нормо-ч, или норма штучного времени, мин;  $G_n$ ,  $G_6$  — масса заготовки, кг, при новом и базовом (сравниваемом) варианте.

3. Снижение материалоемкости, кг

$$\Delta G = (G_6 - G_n) N_2 \quad (6.3)$$

где  $N_2$  — годовой объем выпуска деталей, шт.

4. Себестоимость  $C$  изготовления детали. В структуре себестоимости затраты  $M_o$  на основные материалы и заработную плату  $З_o$  основных рабочих составляют в машиностроении 80 %. Поэтому сравнение вариантов можно производить по этим двум статьям:

$$C = M_o + З_o \quad (6.4)$$

Стоимость основных материалов

$$M_o = G_3 G_M k_{ТЗ} - g_o C_o \cdot 10^{-3}, \quad (6.5)$$

где  $G_3$  — масса заготовки, кг;  $C_M$  — стоимость единицы массы заготовки, руб/кг;  $k_{ТЗ}$  — коэффициент, учитывающий транспортно-

заготовительные расходы ( $k_{ТЗ} = 1,04...1,08$  для черных металлов и  $k_{ТЗ} = 1,0...1,02$  для других материалов);  $g_o$  — масса отходов на одну деталь, кг;

$$g_o = G_3 - G_d; \quad (6.6)$$

$C_o$  — стоимость отходов, руб/т (стружка чугунная — 25,6 руб/т; стружка стальная соответственно витая и мелкая—18,4 и 22,6 руб/т).

Заработная плата основных рабочих

$$Z_o = k_{в.н} k_{np} 1,25 \sum_{i=1}^m t_{шi} C_{шi}, \quad (6.7)$$

где  $k_{в.н}$  — коэффициент, учитывающий средний процент выполнения норм (может быть принят 1,18);  $k_{np}$  — коэффициент, учитывающий премии и другие доплаты; принимается в размере 1,2—1,4; 1,25 — коэффициент, учитывающий дополнительную зарплату и отчисления по социальному страхованию;  $t_{шi}$  —штучное время на выполнение 1-й операции;  $C_{шi}$  — часовая тарифная ставка работы, выполняемой на  $i$ -ой операции, руб.

Окончательный вывод о целесообразности того или иного варианта делают после сравнения суммарных приведенных затрат, рассчитываемых по уравнению

$$W_{np} = C + E_n K, \quad (6.8)$$

где  $C$  — себестоимость изготовления годового выпуска деталей;  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности, равный 0,15;  $K$  — годовые капитальные вложения, руб.

Вариант, для которого данная сумма затрат будет наименьшей, считается наиболее оптимальным. При отсутствии дополнительных капитальных вложений определяют экономию по себестоимости

$$\Delta C = (C_{\bar{o}} - C_n) N_2 \quad (6.9)$$

где  $C_{\bar{o}}$ ,  $C_n$  — себестоимость изготовления деталей из различных заготовок сравниваемых вариантов (базового и нового).

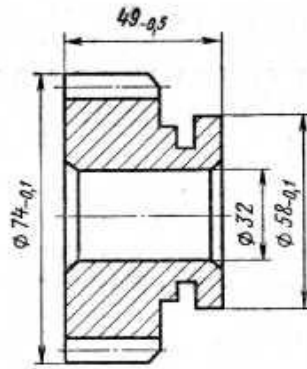


Рисунок 6.1 – Эскиз зубчатого колеса (к задаче 6.1)

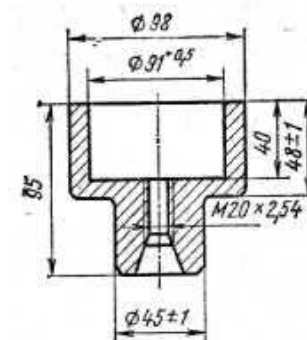


Рисунок 6.2 – Эскиз втулки (к задаче 6.2)

Задача 6.1. Зубчатое колесо может быть изготовлено из прутка диаметром 80 мм массой 2,45 кг или из штучной заготовки, полученной штамповкой с массой 1,040 кг; масса детали 0,590 кг (рисунок 6.1). В варианте 1 обработка резанием ведется на станке 1Б290-4К. Трудоемкость данной операции  $t_{и} = 1,42$  мин. В варианте 2 обработка ведется на трех станках: 1719, 2Н135, 7Б64. Годовой объем выпуска 15 000 шт. Капитальные затраты с учетом занятости работы оборудования составили для первого варианта 2626 руб., второго 171 руб. Определить на основе расчета технико-экономических показателей наиболее рациональный вариант заготовки.

Задача 6.2. Заготовку втулки 2-й группы сложности изготавливают из углеродистой стали различными методами (рисунок 6.2). Масса детали 1,08 кг. Рассчитать технико-экономические показатели выбора наиболее рационального метода при годовом объеме деталей 5000 шт. Данные к задаче

приведены в таблице 6.1. Сравнить следующие методы получения заготовок:  $M_1$  с методами  $M_2, M_4—M_6$ ;  $M_2$  с методами  $M_3$ ;  $M_3$  с методами  $M_4, M_5$  и  $M_6$ .

Методические указания к решению задачи: часовую тарифную ставку токаря принять равной 0,606 руб.; шлифовщика — 0,548 руб.; стоимость 1 т прутка 130 руб.; стоимость 1 т отливки по выплавляемым моделям — 700 руб.

Таблица 6.1. Техничко-экономическая характеристика методов получения заготовок (к задаче 6.2)

Исходные данные	$M_1$ - литье в песчаные формы	$M_2$ - ковка на ГКМ	$M_3$ - ковка свободная	$M_4$ – прокатывание (пруток)	$M_5$ - литье по выплавляемым моделям	$M_6$ - штамповка
Масса заготовки, кг	2,02	2,4	4,3	4,0	1,2	2,6
Трудоемкость механической обработки, мин;						
точение	5,2	-	20	-	-	-
шлифование	2,0	-	3,0	-	-	-

## 7. РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ

Припуск — слой материала, удаляемый с поверхности заготовки для достижения заданных свойств обрабатываемой поверхности детали. Припуск на обработку поверхностей деталей может быть назначен по справочным таблицам или на основе расчетно-аналитического метода. Расчетной величиной припуска является минимальный припуск на обработку, достаточный для устранения на выполняемом переходе погрешностей обработки и дефектов поверхностного слоя, полученных на предшествующем переходе или операции и компенсации погрешностей, возникающих на выполняемом переходе. Минимальный припуск

при обработке наружных и внутренних поверхностей (двусторонний припуск)

$$2Z_{i \min} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}]; \quad (7.1)$$

при обработке поверхностей вращения в центрах

$$2Z_{i \min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1}); \quad (7.2)$$

при последовательной обработке противоположных поверхностей (односторонний припуск)

$$Z_{i \min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i; \quad (7.3)$$

при параллельной обработке противоположных поверхностей (двусторонний припуск)

$$2Z_{i \min} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i], \quad (7.4)$$

где  $Rz_{i-1}$  — высота неровностей профиля на предшествующем переходе;  $h_{i-1}$  — глубина дефектного поверхностного слоя на предшествующем переходе (обезуглероженный или отбеленный слой);  $\Delta_{\Sigma i-1}$  — суммарные отклонения расположения поверхности (отклонение от параллельности, перпендикулярности, соосности) на предшествующем переходе;  $\varepsilon_i$  — погрешность установки заготовки на выполняемом переходе.

Отклонение  $\Delta_{\Sigma}$  необходимо учитывать у заготовок (под первый технологический переход); после черновой и получистовой обработки

лезвийным инструментом (под последующий технологический переход), после термической обработки. В связи с закономерным уменьшением величины  $\Delta_{\Sigma}$  при обработке поверхности за несколько переходов на стадиях чистовой и отделочной обработки ею пренебрегают.

На основе расчета промежуточных припусков определяют предельные размеры заготовки по всем технологическим переходам. Промежуточные расчетные размеры устанавливают в порядке, обратном ходу технологического процесса обработки этой поверхности, т. е. от размера готовой детали к размеру заготовки, путем последовательного прибавления (для наружных поверхностей) к исходному размеру готовой детали промежуточных припусков или путем последовательного вычитания (для внутренних поверхностей) от исходного размера готовой детали промежуточных припусков. Наименьшие (наибольшие) предельные размеры по всем технологическим переходам определяют путем округления в сторону увеличения (уменьшения) расчетных размеров. Округление производят до того знака десятичной дроби, с каким дан допуск на размер для каждого перехода. Наибольшие (наименьшие) предельные размеры определяют путем прибавления (вычитания) допуска к округленному наименьшему (наибольшему) предельному размеру.

Предельные значения припусков  $Z_{max}$  определяют как разность, наибольших (наименьших) предельных размеров и  $Z_{min}$  как разность наименьших (наибольших) предельных размеров предшествующего и выполняемого (выполняемого и предшествующего) переходов.

Общие припуски  $Z_{o\ max}$  и  $Z_{o\ min}$  определяют как сумму промежуточных припусков на обработку:

$$Z_{o\ max} = \sum Z_{i\ max}; \quad (7.5)$$

$$Z_{o\ min} = \sum Z_{i\ min}. \quad (7.6)$$

Правильность расчетов определяют по уравнениям

$$Z_{i \max} - Z_{i \min} = T_{i-1} - T_i; \quad (7.7)$$

$$2Z_{i \max} - 2Z_{i \min} = T_{D_{i-1}} - T_{D_i}; \quad (7.8)$$

$$Z_{0 \max} - Z_{0 \min} = T_3 - T_d; \quad (7.9)$$

$$2Z_{0 \max} - 2Z_{0 \min} = T_{D_3} - T_{D_d}; \quad (7.10)$$

где  $T_{i-1}$ ,  $T_{D_{i-1}}$  — допуски размеров на предшествующем переходе;  $T_i$ ,  $T_{D_i}$  — допуски размеров на выполняемом переходе;  $T_3$ ,  $T_{D_3}$  — допуски на заготовку;  $T_d$ ,  $T_{D_d}$  — допуски на деталь.

При необходимости находят номинальные размеры. Для наружных поверхностей номинальный размер заготовки равен наибольшему размеру, т. е.

$$a = a_{\max}; \quad (7.11)$$

на чертежах указывают

$$a_{\max}(-T); \quad (7.12)$$

для внутренних поверхностей номинальный размер заготовки равен наименьшему размеру, т. е.

$$a = a_{\min}; \quad (7.13)$$

на чертежах указывают

$$a_{\max}(+T). \quad (7.14)$$

Если допуск расположен симметрично относительно номинального размера, то

$$a_{\max}\left(-\frac{T}{2}\right) = a_{\min}\left(+\frac{T}{2}\right) \quad (7.15)$$

В уравнениях (7.11) — (7.15)  $a$ ,  $a_{\max}$ ,  $a_{\min}$  — соответственно номинальные, наибольшие, наименьшие предельные размеры заготовок.

Припуски, а также предельные промежуточные и исходные размеры заготовки удобно определять, заполняя специальную таблицу (таблица 7.1).



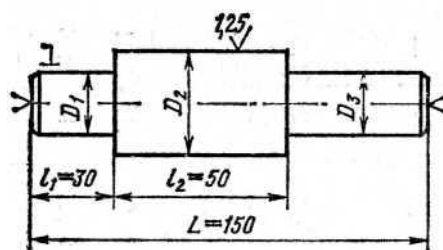


Рисунок 7.1 – Эскиз ступенчатого вала (к задаче 7.1)

Задача 7.1. Трехступенчатый вал (сталь 45) изготавливают из штампованной заготовки II класса точности (рисунок 7.1). Масса заготовки 2 кг. Токарной операции предшествовала операция фрезерно-центровальная, в результате которой были профрезерованы торцы и зацентрированы отверстия. Базирование заготовки при фрезерно-центровальной операции осуществлялось по поверхностям  $D_1$  и  $D_3$  ( $D_1=D_3=25$  мм). Шейка вала с диаметром  $D_2$  ступени имеет диаметр  $55h6_{(-0.02)}$ . Рассчитать промежуточные припуски для обработки шейки  $D_2$  аналитическим методом. Рассчитать промежуточные размеры для выполнения каждого перехода.

Решение. Соответственно заданным условиям устанавливаем маршрут обработки ступени  $D_2$ :

- черновое обтачивание;
- чистовое обтачивание;
- предварительное шлифование;
- окончательное шлифование.

Вся указанная обработка выполняется с установкой заготовки в центрах.

Расчет отклонений расположения поверхностей:

Величину отклонений  $\Delta_{\Sigma}$  для штампованной заготовки при обработке в центрах определяют по:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\Sigma k}^2 + \Delta_y^2} = \sqrt{24^2 + 500^2} = 500 \text{ мкм},$$

где  $\Delta_{\Sigma k}$  — общее отклонение оси от прямолинейности;

$$\Delta_{\Sigma k} = 2\Delta_k l_k = 2 \cdot 0,15 \cdot 80 = 24 \text{ мкм},$$

здесь  $l_k$  —; размер от сечения, для которого определяется кривизна, до торца заготовки, равный ( $l_k = l_1 + l_2$ ) для рассматриваемого случая  $l_1 + l_2 = 80$  мм;  $\Delta_k$  — удельная кривизна, мкм на 1 мм длины (в маршруте предусмотрена правка заготовки на прессе, после которой  $\Delta_k = 0,15$  мкм/мм); средний диаметр, который необходимо знать для выбора величины  $\Delta_k$  определяется как

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1 l_1 + D_2 l_2 + \dots + D_n l_n}{L} =$$

$$= \frac{25 \cdot 30 + 55 \cdot 50 + 25 \cdot 70}{150} = 35 \text{ мкм};$$

$\Delta_y$  — смещение оси заготовки в результате погрешности центрования;

$$\Delta_y = 0,25 \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \sqrt{1,8^2 + 1} = 0,5 \text{ мм},$$

где  $T = 1,8$  — допуск на диаметральный размер базы заготовки, использованной при центровании, мм.

Черновое обтачивание. Величину остаточных пространственных отклонений  $\Delta_r$  определяют по уравнению

$$\Delta_r = K_y \Delta_{\Sigma} = 0,06 \cdot 500 = 30 \text{ мкм},$$

где  $K_y = 0,06$  — коэффициент уточнения.

Чистовое обтачивание. Величина остаточных пространственных отклонений  $\Delta_r = K_y \Delta_{\Sigma} = 0,04 \cdot 30 = 1,2$  мкм, здесь  $K_y = 0,04$ .

Расчет минимальных припусков на диаметральные размеры для каждого перехода производят по уравнению (7.4):

$$\text{черновое обтачивание } 2Z_{i \text{ min}} = 2(160 + 200 + 500) = 1720 \text{ мкм};$$

$$\text{чистовое обтачивание } 2Z_{i \text{ min}} = 2(50 + 50 + 30) = 260 \text{ мкм};$$

$$\text{обдирочное шлифование } 2Z_{i \text{ min}} = 2(25 + 25 + 1,2) = 102 \text{ мкм};$$

$$\text{окончательное шлифование } 2Z_{i \text{ min}} = 2(10 + 20) = 60 \text{ мкм}.$$

Расчет наименьших расчетных размеров по технологическим переходам производим, складывая значения наименьших предельных

размеров, соответствующих предшествующему технологическому переходу, с величиной припуска на выполняемый переход:

$$54,98+0,06 = 55,04 \text{ мм};$$

$$55,04+0,102 = 55,142 \text{ мм};$$

$$55,142+0,26=55,402 \text{ мм};$$

$$55,402+1,72=57,122 \text{ мм}.$$

Наименьшие расчетные размеры заносим в таблицу. Наименьшие предельные размеры (округленные) заносим в таблицу.

Затем определяем наибольшие предельные размеры по переходам;

$$54,980+0,020=55 \text{ мм};$$

$$55,040+0,060=55,1 \text{ мм};$$

$$55,150+0,120=55,27 \text{ мм};$$

$$55,400+0,400=55,8 \text{ мм};$$

$$57+2=59 \text{ мм}.$$

Расчет фактических максимальных и минимальных припусков по переходам производим, вычитая соответственно значения наибольших и наименьших предельных размеров, соответствующих выполняемому и предшествующему технологическим переходам:

Максимальные припуски;

$$65,1—55=0,1 \text{ мм};$$

$$55,27—55,1 = 0,17 \text{ мм};$$

$$55,8—55,27 = 0,53 \text{ мм};$$

$$59—55,80=3,2 \text{ мм},$$

Минимальные припуски;

$$55,04—54,98=0,06 \text{ мм};$$

$$55,15—55,04=0,11 \text{ мм};$$

$$55,4—55,15 = 0,25 \text{ мм};$$

$$57—55,4 = 1,6 \text{ мм}.$$

Расчет общих припусков производим по уравнениям:

$$\text{наибольшего припуска } Z_{o \max} = \Sigma Z_{\max} = 0,1+0,17+0,53+3,2 = 4 \text{ мм};$$

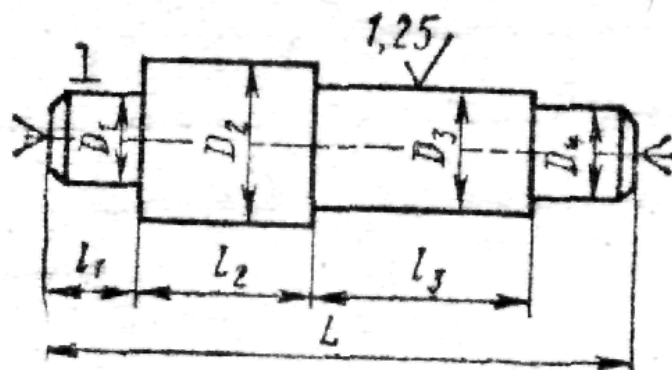
$$\text{наименьшего припуска } Z_{o \min} = \Sigma Z_{\min} = 0,06+0,11+0,25+1,6 = 2,02 \text{ мм}.$$

Проверку правильности расчетов проводим по уравнению (7.9):

$$Z_{o \max} - Z_{o \min} = 4-2,02 = T_3—T_д=2,0—0,02 = 1,98 \text{ мм}.$$

Задача 7.2. Четырехступенчатый вал (таблица 7.1) изготавливают из стальной штампованной на молотах заготовки II класса точности (нормального). Параметр шероховатости шейки вала диаметром  $D_3$  примем  $Ra=2,5$  мкм. Определить припуски на заготовку и расчетно-аналитическим методом. Рассчитать экономию материала за счет применения расчетно-аналитического метода определения припусков при годовом объеме выпуска деталей 20 тыс. шт.

Таблица 7.1. Размерная характеристика четырехступенчатого вала



Варианты	Диаметр шеек, мм			Длина $L$ , мм	Длина ступеней, мм			Масса заготовки $G_3$ , кг
	$D_1, D_4$	$D_2$	$D_3$		$l_1$	$l_2$	$l_3$	
1; 11	30	50	$40n6_{(-0,05)}$	220	45	55	85	2,0
2; 12	45	65	$55g6_{(-0,010, -0,029)}$	260	55	65	95	4,7
3; 13	20	40	$30h6_{(-0,013)}$	180	40	50	60	1,0
4; 14	50	75	$60f7_{(-0,030, -0,060)}$	350	70	120	80	8,2
5; 15	25	45	$35k6_{(+0,018, +0,002)}$	200	40	50	70	1,5
6; 16	60	80	$70m6_{(+0,030, +0,011)}$	300	80	120	50	9,1
7; 17	40	60	$50d8_{(-0,080, -0,119)}$	280	50	70	90	4,1
8; 18	70	90	$80u7_{(+0,132, +0,102)}$	350	75	125	90	13,8
9; 19	35	55	$45j6_{(+0,011, -0,005)}$	240	50	60	90	2,9
10; 20	55	75	$65s6_{(+0,072, +0,053)}$	300	65	85	85	7,5

## 8. РАСЧЕТ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ И НОРМ ВРЕМЕНИ

Одним из основных показателей целесообразности выбора операций является норма времени  $t_{ум}$ . Поэтому при проектировании операций для сопоставления вариантов производительности в ряде случаев можно ограничиться сравнением штучного времени. Время выполнения операции зависит от режимов резания, оборудования, схемы ее построения.

Глубина резания  $t$ , мм. При обработке цилиндрических поверхностей (обтачивании, растачивании, зенкерования, рассверливании, шлифования и т. п.)

$$t = 0,5(D - d) \quad (8.1)$$

где  $D$ —диаметр заготовки до обработки;  $d$  — диаметр заготовки после обработки за данный рабочий ход инструмента.

При сверлении

$$t = 0,5D \quad (8.2)$$

где  $D$  — диаметр отверстия. При фрезеровании, строгании, шлифования поверхностей

$$t = H - h, \quad (8.3)$$

где  $H$  — размер обрабатываемой поверхности до обработки;  $h$  — размер обрабатываемой поверхности после одного прохода режущего инструмента.

Глубину резания при черновой обработке назначают по возможности максимальную и равную припуску на обработку или большей части его, при чистовой (окончательной) обработке — в зависимости от требований точности размеров и параметров шероховатости поверхности.

Подача минутная

$$S_{мин} = Sn \quad (8.4)$$

где  $S$  — подача на один оборот, мм/об;  $n$  — число оборотов обрабатываемой заготовки или режущего инструмента в минуту.

Подача на зуб, мм/зуб, при работе многолезвийным инструментом

$$S_z = \frac{S_M}{nz} \quad (8.5)$$

где  $z$  — число зубьев режущего инструмента.

Подачу при черновой обработке выбирают максимально возможную, учитывая жесткость и прочность системы станок — приспособление — инструмент — заготовка, мощности привода станка, прочности твердосплавной пластинки, при чистовой обработке — в зависимости от требований к точности и шероховатости поверхности.

Скорость резания  $v_p$ , м/мин, вычисляют по уравнению (8.6):

$$v_p = v k_{mv} k_{nv} k_{uv} \quad (8.6)$$

где  $v$  — скорость резания;  $k_{mv}$ ,  $k_{nv}$ ,  $k_{uv}$  — коэффициенты, учитывающие соответственно качество обрабатываемого материала, состояние поверхности заготовки, качество материала инструмента. Частота вращения  $n_p$ , мин<sup>-1</sup>, или число двойных ходов. Для токарной, сверлильной, круглошлифовальной обработок

$$n_p = 1000v_p/(\pi D) \quad (8.7)$$

где  $D$  — диаметр обрабатываемой заготовки или режущего инструмента.

По паспортным данным станка определяют  $n$ , близкую к расчетной  $n_p$ . В справочниках по металлорежущим станкам указывают обычно частоту вращения шпинделей  $n_{max}$  и  $n_{min}$ .

Из определения геометрической прогрессии следует, что

$$n_{max} = n_{min} \varphi^{m-1} \quad (8.8)$$

где  $\varphi$  — знаменатель ряда;  $m$  — общее число ступеней скорости соответствующего элемента станка. Исходя из этого можно определить любую одну из четырех величин:  $n_{max}$ ,  $n_{min}$ ,  $\varphi$  или  $m$ , если известны значения всех остальных. Значения нормализованных знаменателей рядов  $\varphi$ , возведенные в степень, приведены в приложении, которым пользуясь можно легко определить значение  $\varphi$  на основании заданных в технической характеристике станка  $n_{max}$ ,  $n_{min}$  и  $m$ . Для этого вычисляем частное  $n_{max}/n_{min}$  и

в строке, соответствующей степени  $m-1$ , находим то числовое значение  $\varphi^{m-1}$ , которое равно или близко вычисленному, и по этому значению — величину  $\varphi$ .

Затем делим расчетное значение числа оборотов, двойных ходов или подачи на их минимальное значение, получая, таким образом расчетное значение  $\varphi$  в какой-то степени  $x$ . В том же столбце для найденного ранее значения  $\varphi$  находим ближайшее меньшее число, соответствующее вычисленному  $\varphi^x = n_p/n_{\min}$ . Умножив затем найденное значение  $\varphi^x$  на  $n_{\min}$ , получим расчетное число оборотов, двойных ходов или подач.

Задача 8.1. Для станка 1A730  $n_{\max} = 710 \text{ мин}^{-1}$ ,  $n_{\min} = 56 \text{ мин}^{-1}$  и  $m=12$ . Найти  $n$ , если расчетная частота вращения  $n_p = 250 \text{ мин}^{-1}$ .

Решение. Находим

$$\varphi^{m-1} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}; \varphi^{11} = \frac{710}{56} = 12.7.$$

По приложению находим  $\varphi^{11} = 12,64$ , что соответствует  $\varphi = 1,26$ . В графе, соответствующей  $\varphi = 1,26$ , находим ближайшее меньшее значение  $\varphi = 4,00$ . Тогда

$$n = 56 \times 4,00 = 224 \text{ мин}^{-1}.$$

Фактическая скорость резания, м/мин,

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \quad (8.9)$$

Стойкость инструмента  $T$ . Значение  $T$ , приводимое в справочниках для различных видов обработки, соответствует условиям одноинструментной обработки. При многоинструментной  $T_{ми}$  обработке ориентировочно можно считать, что

$$T_{ми} = T k_T \quad (8.10)$$

где  $T$  — стойкость лимитирующего инструмента;  $k_m$  — коэффициент изменения периода стойкости при многоинструментной обработке.

Норма штучного времени  $t_{um}$ . Проектируя любой вариант операции, следует стремиться к снижению нормы времени, что достигается уменьшением основного  $t_0$  и вспомогательного  $t_в$  времени. Норма штучного времени определяется по следующим уравнениям:

$$t_{um} = t_0 + t_в + t_m + t_{opз} + t_n; \quad (8.11)$$

$$t_{um} = t_{on} \left( 1 + \frac{\alpha + \beta + \gamma}{100} \right), \quad (8.12)$$

где  $t_0$  — основное технологическое время (определяется расчетом);  $t_в$  — вспомогательное время;  $t_m$ ,  $t_{opз}$ ,  $t_n$  — время технического, организационного обслуживания и регламентированных перерывов (берется в процентах от оперативного времени  $t_{on} = t_0 + t_в$ );  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  — коэффициенты, определяющие соответственно время технического, организационного обслуживания и время регламентированных перерывов в работе ( $\alpha \approx 6\%$ ,  $\beta \approx 0,6 \dots 8\%$ ,  $\gamma \approx 2,5\%$ ).

Определение основного времени  $t_0$  производится по уравнению

$$t_0 = Li/S_m, \quad (8.13)$$

где  $L$  — расчетная длина перемещения инструмента;  $i$  — число рабочих ходов в данном переходе. Расчетная длина  $L$  определяется как

$$L = l + l_{сп} + l_{сх} + l_{np} \quad (8.14)$$

где  $l$ ,  $l_{сп}$ ,  $l_{сх}$ ,  $l_{np}$  — длины соответственно обрабатываемой поверхности, врезания, схода инструмента и на взятие пробной стружки (для единичного производства). Основное время на выполнение операции зависит от схемы ее построения. Так, при обработке одной заготовки и последовательном выполнении технологических переходов основное время включает сумму времени выполнения всех переходов

$$t_0 = \sum_{i=1}^n t_{oi} \quad (8.15)$$



при параллельной схеме обработки основное время операции определяется одним лимитирующим (наиболее продолжительным) переходом по обработке поверхности

$$t_o = t_{o.l} \quad (8.16)$$

при параллельно-последовательной схеме, когда одновременно ведется обработка поверхностей заготовок в нескольких позициях, основное время операции включает сумму последовательно выполняемых в позициях лимитирующих переходов

$$t_o = \sum_{i=1}^n t_{o.l,i}, \quad (8.17)$$

Трудоемкость изготовления партии деталей (серийное производство)

$$T_{\text{парт}} = T_{n.z} + t_{\text{ум}} n_d, \quad (8.18)$$

где  $T_{n.z}$  — подготовительно-заключительное время на ознакомление с чертежом, наладку оборудования и приспособлений, получение их со склада и сдачу после окончания работы;  $n_d$  — число деталей в партии.

Норма штучно-калькуляционного времени

$$t_{\text{ум.к}} = t_{\text{ум}} + (T_{n.z}/n_d). \quad (8.19)$$

Сокращение нормы времени на операцию  $C_{н.в}$ , %, от совершенствования технологического процесса определяют как

$$C_{н.в} = \frac{t_{\text{ум1}} + t_{\text{ум2}}}{t_{\text{ум1}}} 100, \quad (8.20)$$

где  $t_{\text{шт1}}$ ,  $t_{\text{шт2}}$  — нормы времени сравниваемых операций. Рост производительности труда

$$П = 100C_{н.в}/(100 - C_{н.в}) \quad (8.21)$$

При обработке заготовок партиями сокращение норм времени на операцию  $C_{н.в}$ , %, определяют как

$$C_{н.в} = \frac{T_{\text{парт1}} - T_{\text{парт2}}}{T_{\text{парт1}}} 100, \quad (8.22)$$

где  $T_{\text{парт1}}$ ,  $T_{\text{парт2}}$  — трудоемкость партий деталей в сравниваемых вариантах.

Число деталей в партии, при котором оба варианта равноценны:

$$n_0 = \frac{T_{n.31} - T_{n.32}}{t_{um2} - t_{um1}}, \quad (8.23)$$

Задача 8.2. Четырехступенчатый вал обрабатывают на токарно-винторезном станке 16К20 и на гидроконтрольном полуавтомате 1719 (рисунок 8.1). Заготовка—штамповка из углеродистой стали 45 ( $HRC_3$ , 35). Резцы оснащены твердым сплавом Т15К6. Проходные резцы имеют угол  $\varphi = 45^\circ$ . Размеры державок резцов 16X25 мм. Стойкость инструмента  $T = 60$  мин. Обрабатываются поверхности 1, 2, 3. Подрезаются поверхности 4, 5. Глубина резания при подрезке  $t = 4$  мм. Токарной операции предшествовала фрезерно-центровальная. Установить структуру операции, режимы резания, рассчитать трудоемкость обработки на каждом станке и повышение производительности, %, при использовании гидроконтрольного полуавтомата.

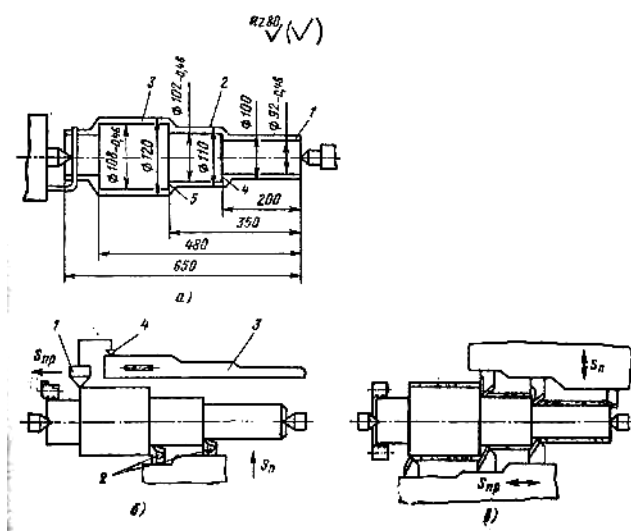


Рисунок 8.1 – Схема обработки четырехступенчатого вала (к задаче 8.2):

- a* — на токарном станке; *б* — на токарном копировальном автомате;
- в* — на одношпиндельном многолезцовом полуавтомате

Задача 8.3. Обрабатываются в центрах ступени вала  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$ , ( $Rz = 40$  мкм) (таблица 8.1). Заготовка — штамповка II класса точности. Припуски



## 9. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ

Технологической себестоимостью детали называется та часть ее полной себестоимости, элементы которой существенно изменяются для различных вариантов технологического процесса. К таким изменяющимся элементам относятся:  $M_o$  — стоимость исходной заготовки;  $Z_o$  и  $Z_{в.р}$  — заработная плата соответственно станочника и наладчика;  $A_o$  — амортизационные отчисления от оборудования;  $A_{Т.о}$  — амортизационные отчисления от технологического оснащения;  $P_o$  — затраты на ремонт и обслуживание оборудования;  $I$  — затраты на инструмент;  $П_э$  — затраты на силовую электроэнергию;  $П_n$  — затраты на амортизацию и содержание производственных площадей;  $П_{пр}$  — затраты на подготовку и эксплуатацию управляющих программ (для станков с ЧПУ). Расчет стоимости исходной заготовки приведен в разделе 6. Сумма остальных элементов представляет собой технологическую себестоимость обработки. Учитывая, что сравнению обычно подвергают отдельные операции (или группы операций), оценку вариантов целесообразно выполнять сравнением технологической себестоимости выполнения операции:

$$C_{on} = Z_o + Z_{в.р} + A_o + A_{Т.о} + P_o + I + П_э + П_n + П_{пр}. \quad (9.1)$$

Для каждой сравниваемой операции элементы, входящие в структуру  $C_{on}$ , могут быть определены непосредственным расчетом, расчетом с использованием нормативов (по статьям себестоимости), отнесенных к 1 мин или 1 ч работы оборудования. Метод непосредственного расчета является более трудоемким, но и более точным. Сравнение вариантов на основе минимума технологической себестоимости производится, если сравниваемые варианты не требуют для своего выполнения существенных капитальных вложений. В противном случае оценку вариантов следует вести на основе минимума приведенных затрат:

$$W_i = C_i + E_n K_i, \quad (9.2)$$

где  $C_i$  — технологическая себестоимость изготовления детали (или выполнения операции);  $E_n$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ( $E_n = 0,15$ );  $K_i$  — удельные капитальные вложения, отнесенные к единице продукции. Заработная плата станочника с учетом всех видов доплат и начислений, включая выплаты из общественных фондов потребления,

$$Z_o = H_{o.ч} t_{шт.к} K_M / 60, \quad (9.3)$$

где  $H_{o.ч}$  — норматив часовой заработной платы станочника соответствующего разряда, руб./ч;  $t_{шт.к}$  — штучно-калькуляционное время на операцию, мин;  $K_M$  — коэффициент, учитывающий оплату основного рабочего при многостаночном обслуживании, определяют в зависимости от числа обслуживаемых станков по следующим данным:

Число обслуживаемых станков	1	2	3	4	5	6	7	8
$K_M$	1	0,65	0,48	0,39	0,35	0,32	0,3	0,29

Заработная плата наладчика с учетом всех видов доплат и начислений

$$Z_{в.р} = \frac{H_{н.г} t_{шт.к} m}{60 k_{о.н} F_D}, \quad (9.4)$$

где  $H_{н.г}$  — норматив годовой заработной платы наладчика соответствующего разряда, руб/год;  $m$  — число смен работы станка (принимается обычно  $m=2$ );  $k_{о.н}$  — число станков, обслуживаемых наладчиком в смену;  $F_D$  — действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч (при двухсменном режиме работы для станков с ручным управлением  $F_D = 4015$ ч, а для станков с ЧПУ — 3890 ч).

Амортизационные отчисления от стоимости оборудования

$$A_o = \frac{\Phi H_a t_{шт.к}}{100 \cdot 60 F_D}, \quad (9.5)$$

где  $\Phi$  — стоимость оборудования, руб., определяется как произведение оптовой цены  $C$  и коэффициента 1,122, учитывающего затраты на

транспортирование и монтаж станка;  $H_a$  — общая норма амортизационных отчислений, %.

Амортизационные отчисления от стоимости технологического оснащения, приходящиеся на одну деталь при расчетном сроке службы оснастки 2 года, определяются как

$$A_{m.o} = \Phi_{m.o} / (2N_z), \quad (9.6)$$

где  $\Phi_{m.o}$  — стоимость технологического оснащения, руб.;  $N_z$  — годовая программа выпуска деталей.

Затраты на ремонт и обслуживание оборудования

$$P_o = \frac{H_m K_m + H_z K_z \bar{t}_{um.k}}{60F_d K_T}, \quad (9.7)$$

где  $H_m$  и  $H_z$  — нормативы годовых затрат на ремонт соответственно механической и электрической частей оборудования, руб/год;  $K_m$  и  $K_z$  — категория сложности ремонта соответственно механической и электрической частей оборудования;  $K_T$  — коэффициент, зависящий от класса точности оборудования.

Затраты на режущий инструмент, отнесенные к одной детали,

$$I_p = \frac{1,4\Phi_u t_{um.k} \eta_m}{T_{сл.и}}, \quad (9.8)$$

где 1,4 — коэффициент, учитывающий затраты на повторную заточку инструмента;  $\Phi_u$  — цена единицы инструмента, руб.;  $\eta_m$  — коэффициент машинного времени, определяемый как отношение  $t_{мау}/t_{um.k}$ ;  $T_{сл.и}$  — срок службы инструмента до полного износа, мин.

Затраты на технологическую электроэнергию

$$П_z = N_z \eta_{з.о} t_{um.k} Ц_z / 7200, \quad (9.9)$$

где  $N_z$  — установленная мощность электродвигателей станка, кВт;  $\eta_{з.о}$  — общий коэффициент загрузки электродвигателей,  $Ц_z$  — цена 1 кВт·ч электроэнергии принимается равной 1,2 коп.

Затраты на содержание и амортизацию производственных площадей

$$П_n = H_n П_c K_{с.у} t_{um.k} / (60F_d), \quad (9.10)$$

где  $H_n$  — норматив издержек, приходящихся на  $1 \text{ м}^2$  производственной площади, руб/м<sup>2</sup>;  $P_c$  — площадь, занимаемая станком, умноженная на коэффициент, учитывающий добавочную площадь;  $K_{c.y}$  — коэффициент, учитывающий площадь для систем управления станков с ЧПУ, принимается равным 1,5...2,0.

Затраты на подготовку и эксплуатацию управляющих программ

$$P_{np} = \chi K_{\epsilon} / (N_z T_D), \quad (9.11)$$

где  $\chi$  — стоимость программы, руб.;  $K_{\epsilon}$  — коэффициент, учитывающий потребность в восстановлении программноносителя;  $T_D$  — срок выпуска данной детали, год. Принимая  $K_{\epsilon} = 1,1$  и  $T_D = 3$  года, получим

$$P_{np} = 0,37\chi / N_z. \quad (9.12)$$

Расчет технологической себестоимости нормативным методом может быть произведен с использованием таблиц, содержащих усредненные величины элементов структуры себестоимости для станков различных моделей.

При определении технологической себестоимости расчетом с использованием нормативов заработную плату рабочего и наладчика рассчитывают по уравнениям (9.3) и (9.4), а расходы, связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования, — по удельным затратам, отнесенным к 1 машино-ч работы оборудования,

$$C_{on} = Z_o + Z_{\epsilon.p} + \frac{H_o K_{M-ч} t_{шт.к}}{6000}, \quad (9.13)$$

где  $H_o$  — средние затраты, коп/ч, на содержание и эксплуатацию оборудования, имеющего коэффициент машино-ч  $K_{M-ч} = 1,0$ . Для станков с ЧПУ укрупненно можно принять  $K_{M-ч} = 4,5$  для токарных,  $K_{M-ч} = 3,0$  для сверлильных и  $K_{M-ч} = 4,0$  для фрезерных станков.

При расчете приведенных затрат капитальные вложения в оборудование, отнесенные к одной детали, определяются по уравнению

$$K_o = \frac{\Phi t_{шт.к}}{60 F_D}. \quad (9.14)$$

Задача 9.1. В существующих на участке условиях производства возможны два варианта обработки наружных поверхностей шпинделя: I — на универсальном токарно-винторезном станке; II — на токарном станке с ЧПУ. При исходных данных (таблица 9.1) определить более экономичный вариант по технологической себестоимости для двух случаев: I — на участке имеются оба станка,

Таблица 9.1 Исходные данные к задаче 9.1.

Данные	Вариант	
	I	2
Модель станка	16K20	16K20Ф3
Штучно-калькуляционное время $t_{шт. к}$ , мин	120	58,4
Разряд станочника	5	3
Разряд наладчика	—	5
Число станков, обслуживаемых в смену:		
станочником	1	2
наладчиком	—	7
Действительный годовой фонд времени работы станка, ч	4015	3890

II — необходимо приобретение этих станков. Режим работы—двусменный, годовая программа выпуска 120 шпинделей.

Решение 1. При наличии на участке сравниваемых станков выбор варианта производим по технологической себестоимости обработки, уравнение (9.1). Для расчета элементов себестоимости необходимы дополнительные данные:

	16K20	16K20Ф3
	5450	24 400
Масса станка, кг	2835	4 000
Размеры станка в плане, мм	2505x1190	3360x1710
Площадь станка в плане, м <sup>2</sup>	3,0	5,75



Установленная мощность электродвигателей $N_3$ , кВт	11,0	10,0
Категория ремонтной сложности:		
механической части, $K_M$	11,0	14
Электрической части, $K_3$	8,5	26

Расчет себестоимости нормативным методом ведем по уравнению (9.14). Для станка 16К20  $K_{M-ч} = 1,0$ , для станка 16К20Ф3 принимаем  $K_{M-ч} = 4,5$ . При двухсменном режиме работы в условиях мелкосерийного производства  $H_o = 31,2$  коп/ч, Тогда

$$C_{on1} = 4,0 + \frac{31,2 \cdot 1,0 \cdot 120}{6000} = 4,62 \text{ руб};$$

$$C_{on2} = 1,0 + 0,25 + \frac{31,2 \cdot 4,5 \cdot 58,4}{6000} = 2,64 \text{ руб.}$$

В случае необходимости приобретения станков в связи со значительной разницей по капитальным вложениям сравниваемые варианты оцениваем по приведенным затратам [см. уравнения (9.2) и (9.14)]:

$$K_{o1} = \frac{1,122 \cdot 5450 \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 3,04 \text{ руб};$$

$$K_{o2} = \frac{1,122 \cdot 24400 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 6,85 \text{ руб};$$

$$W_1 = 4,65 + 0,12 \cdot 3,04 = 5,01 \text{ руб};$$

$$W_2 = 2,31 + 0,12 \cdot 6,85 = 3,13 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов показывают экономическую целесообразность обработки шпинделя на станке с ЧПУ при обоих условиях, поставленных в задаче.

Задача 9.2. Токарная обработка наружных поверхностей деталей производится на различных станках. Определить более экономичный вариант обработки по технологической себестоимости при двухсменном режиме работы. Исходные данные приведены в таблице 9.2.

Таблица 9.2 часть 1. Исходные данные к задаче 9.2.

Исходные данные	Вариант задания		
	1		2
	Вариант обработки		
	I	II	I
Модель станка	16Б16А	16Б16Ф3	1Г340
Штучно-калькуляционное время обработки, мин	14,0	8,0	8,4
Разряд выполняемой работы	5	3	3
Разряд наладчика	—	5	4
Число станков, обслуживаемых в смену:			
станочником	1	2	1
наладчиком	—	6	8
Действительный годовой фонд времени работы станка, ч	4015	3890	4015
Годовая программа выпуска, шт.	1000	1000	5000

Таблица 9.2 часть 2.

Исходные данные	Вариант задания		
	2	3	
	Вариант обработки		
	II	I	II
Модель станка	1К282	Ш713	1Б290П-6К
Штучно-калькуляционное время обработки, мин	2,2	3,6	0,9
Разряд выполняемой работы	2	3	2
Разряд наладчика	5	4	5
Число станков, обслуживаемых в смену:			
станочником	2	2	3
наладчиком	3	5	5
Действительный годовой фонд времени работы станка, ч	4015	4015	4015
Годовая программа выпуска, шт.	5000	30000	30000

## 10. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ

При разработке технологических процессов сборки чаще всего приходится решать следующие задачи:

установление последовательности соединения деталей и сборочных единиц изделия и составление схем общей и узловой сборок изделия, разработка маршрутных технологических процессов сборки;

выявление размерных цепей и выбор методов их расчета и достижения точности замыкающего звена.

Точность замыкающего звена при сборке может быть достигнута методами полной, неполной или групповой взаимозаменяемости, пригонки, регулирования с применением компенсаторов.

Выбор метода достижения точности замыкающего звена зависит от величины его допуска и от числа составляющих звеньев размерной цепи, при этом принимают во внимание также реальные производственные возможности по обеспечению точности размеров составляющих звеньев и обеспечению соответствующего уровня организации сборочных работ.

Если число составляющих звеньев размерной цепи  $m \leq 4$ , то расчет цепи обычно производят методом полной взаимозаменяемости. При большем числе составляющих звеньев поступают следующим образом. На все составляющие звенья размерной цепи назначают экономически достижимые в данных производственных условиях допуски, а также предельные отклонения (с учетом назначения, детали в сборочной единице и принятых методов обработки). Фактические (производственные) допуск  $T'_{A_\Delta}$  замыкающего звена и координату середины его поля допуска  $E'cA_\Delta$  определяют по уравнениям

$$T'_{A_\Delta} = \sum_1^m \left| \xi_{A_i} \right| T_{A_i}; \quad (10.1)$$

$$E'cA_\Delta = \sum_1^m \xi_{A_i} E c A_i \quad (10.2)$$

Точность замыкающего звена методом полной взаимозаменяемости обеспечивается, если  $T'_{A_{\Delta}} \leq T_{A_{\Delta}}$  и  $E'cA_{\Delta} \cong EcA_{\Delta}$ , где  $T_{A_{\Delta}}$  и  $EcA_{\Delta}$  — заданные величина допуска и координата середины поля допуска замыкающего звена. Если данные условия не выполняются, то производят корректировку допусков на всех или части размеров составляющих звеньев, что вызывает удорожание механической обработки. Такая корректировка приводит иногда к трудновыполнимым или практически не выполнимым при обработке допускам составляющих звеньев. В этом случае расчет цепи производят методом неполной взаимозаменяемости, используя уравнения (10.2) и

$$T'_{A_{\Delta}} = t \sqrt{\sum_l^m \xi_{A_l}^2 \lambda^2 T_{A_l}^2}, \quad (10.3)$$

а также уравнение (1.2) (см. п. 1) для определения среднего качества точности составляющих звеньев размерной цепи. Если точность замыкающего звена не обеспечивается и методом неполной взаимозаменяемости, рассматривают методы групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования.

Метод групповой взаимозаменяемости используют в основном для размерных цепей с небольшим числом составляющих звеньев ( $m \leq 3$ ). Этим методом обычно обеспечивается точность замыкающего звена сборочных соединений, которые в процессе эксплуатации не подвергаются разборке, а заменяются комплектно. Сущность данного метода заключается в том, что требуемая точность замыкающего звена обеспечивается по методу полной взаимозаменяемости; при этом составляющие звенья выполняют с производственными (технологическими) допусками, а непосредственно на сборке изделия сортируют сопрягаемые детали на группы по их действительным размерам, при соединении деталей из одноименных групп обеспечивается заданный допуск замыкающего звена. Число групп  $n$ , на которое необходимо рассортировать готовые детали,

$$n = T'_{A_{\Delta}} / T_{A_{\Delta}}, \quad (10.4)$$

при этом при расчете допусков и предельных отклонений на размеры составляющих звеньев исходят из уравнений (10.2) и

$$\sum_1^{n_g} |\xi_{A_i}| \bar{T}_{A_i} = \sum_1^{n_l} |\xi_{A_i}| \tilde{T}_{A_i} = \frac{1}{2} T_{A_\Delta}', \quad (10.5)$$

где  $\bar{T}_{A_i}$ ; и  $\tilde{T}_{A_i}$  — допуски увеличивающих и уменьшающих звеньев, а  $n_g$  и  $n_l$  — соответственно их числа.

При использовании методов пригонки или регулирования в конструкцию изделия вводится специальная деталь — компенсатор, размеры которого могут изменяться при сборке путем удаления определенного слоя металла пригонкой (в чертежах сборочной единицы или изделия указывается, по каким поверхностям производится пригонка) или регулироваться при сборке (с помощью винтовой пары, набором прокладок разной или одинаковой толщины и т. п.). Расчет размерных цепей при этом осуществляется методами полной или неполной взаимозаменяемости; на все составляющие звенья размерной цепи, включая и компенсатор, назначают легкодостижимые в данных производственных условиях допуски. Величина необходимой компенсации в обоих случаях определяется по уравнению

$$\delta_\kappa = T_{A_\Delta}' - T_{A_\Delta}. \quad (10.6)$$

Для того чтобы на компенсаторе создать необходимый для пригонки слой материала, в координату середины его поля допуска следует ввести поправку

$$\Delta_\kappa = \frac{\delta_\kappa}{L} + E'cA_\Delta - EcA_\Delta. \quad (10.7)$$

Для упрощения расчета размеров неподвижных компенсаторов (при использовании метода регулирования)

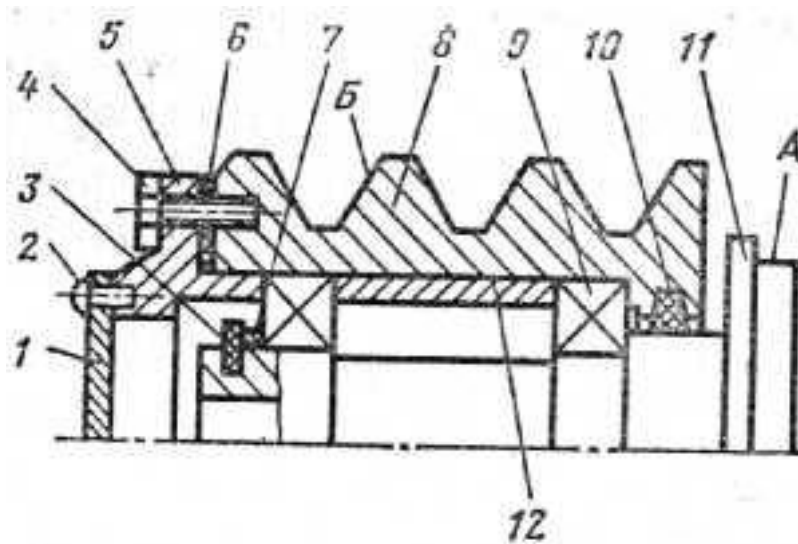


Рисунок 10.1 – Эскиз ступицы (к задаче 10.1):

1 — крышка; 2—винт (4 шт.); 3 — кольцо стопорное; 4 — винт (4 шт.); 5 — фланец; 6 — прокладка; 7 — кольцо компенсационное; B — шкив; 9 — подшипник (2 шт.); 10— кольцо уплотнительное; 11— ступица; 12 — втулка

рекомендуется назначать координаты средин полей допусков составляющих звеньев так, чтобы совместить одну из границ расширенного поля допуска  $T'_{A_{\Delta}}$  замыкающего звена с соответствующей границей его заданного поля допуска  $T_{A_{\Delta}}$  Число ступеней  $N$  такого компенсатора

$$N = T'_{A_{\Delta}} / (T_{A_{\Delta}} - T_{\kappa}), \quad (10.8)$$

где  $T_{\kappa}$  — допуск на изготовление компенсаторов. Если регулирование осуществляется с помощью подбора прокладок одинаковой толщины  $\delta_{\Delta}$ , их число

$$z = \delta_{\kappa} / \delta_{\Delta}. \quad (10.9)$$

При большом числе прокладок  $z$  их делают разной толщины.

Задача 10.1 Для сборочной единицы, изображенной на рисунке 10.1, разработать технологическую схему сборки и маршрутный технологический процесс сборки.

Решение. Технологическая схема сборки — графическое изображение порядка комплектования (последовательности сборки) изделия и сборочных единиц. На таких схемах каждый элемент изделия обозначен прямоугольником, в котором указывают наименование элемента, его номер (см. поз. на рисунке 10.1) и их количество (рисунок 10.2). Разработка технологической схемы сборки начинается с определения базовой детали (или сборочной единицы) и деления изделия на сборочные единицы и детали. От прямоугольника с изображением базового элемента до прямоугольника, изображающего готовое изделие (или сборочную единицу), проводится горизонтальная линия. Над ней располагают а порядке последовательности сборки прямоугольники, условно обозначающие детали, а ниже— прямоугольники, условно изображающие сборочные единицы. Для каждой сборочной единицы (первого, второго и более высокого порядков) могут быть построены аналогичные схемы.

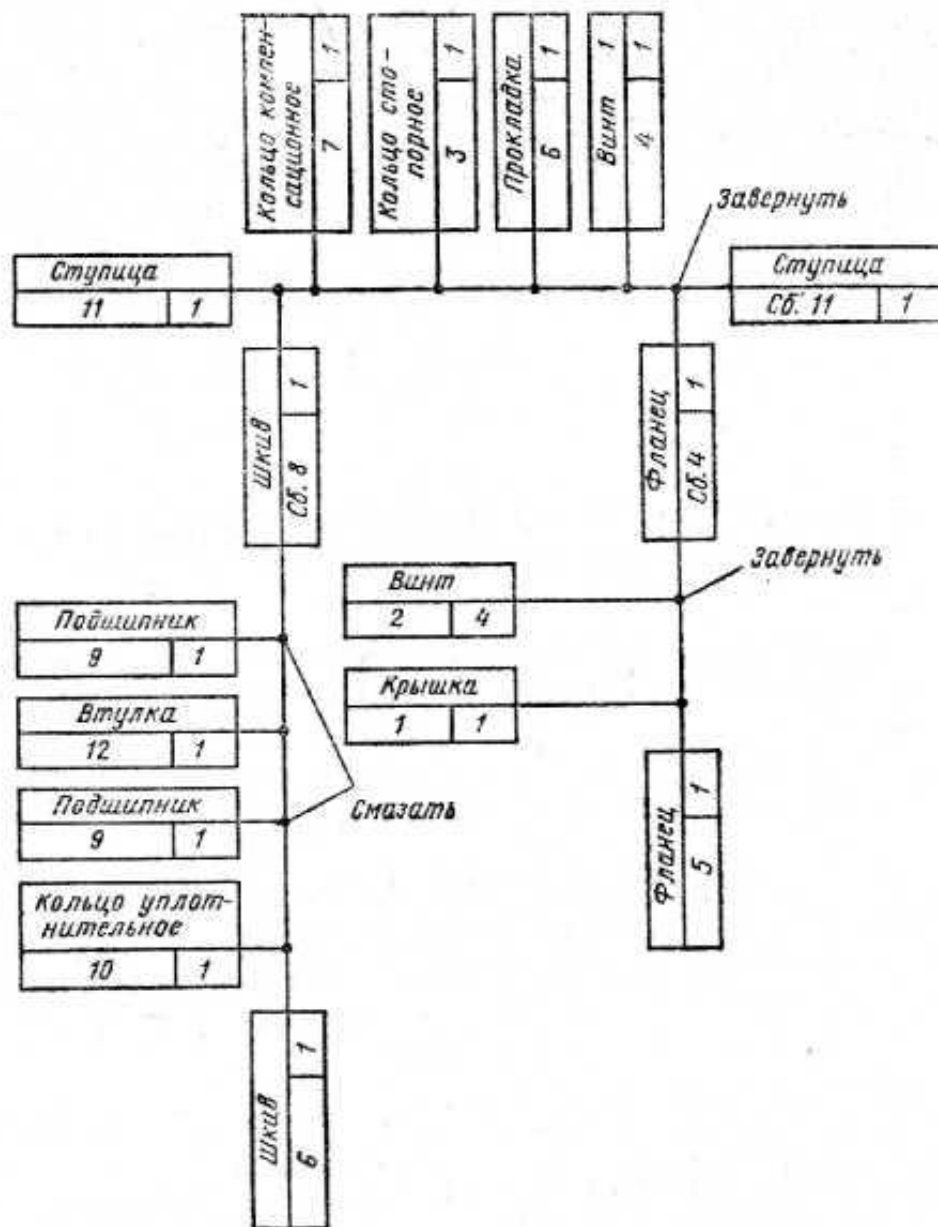


Рисунок 10.2 – Технологическая схема сборки ступицы (к задаче 10.1)

Технологическая схема сборки является основой для проектирования технологического процесса сборки. После разработки схем сборки устанавливают состав необходимых сборочных регулировочных, пригоночных, подготовительных и сборочных работ и определяют содержание технологических операций и переходов, производят нормирование сборочных работ.

Маршрутный технологический процесс сборки ступицы представлен в таблице 10.1.



Задача 10.2. Для сборочных единиц, показанных на рисунках 10.3—10.5, разработать технологические схемы сборки и маршрутные технологические процессы сборки.

Таблица 10.1 Маршрутный технологический процесс сборки ступицы (к задаче 10.1)

Номер операции	Наименование операции	Содержание операции (по переходам)
1	Сборка шкива (сб. 8)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закрепить шкив (дет. 8) в приспособлении</li> <li>2. Установить уплотнительное кольцо (дет. 10)</li> <li>3. Смазать и установить подшипник (дет. 9)</li> <li>4. Протереть и установить втулку (дет. 12)</li> <li>5. Смазать и установить подшипник (дет. 9)</li> </ol>
2	Установка шкива (сб. 8)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закрепить ступицу (дет. 11) в приспособлении</li> <li>2. Установить шкив (сб. 8) на ступицу (дет. 11)</li> <li>3. Протереть и установить кольцо компенсационное (дет. 7)</li> <li>4. Установить кольцо стопорное (дет. 3)</li> <li>5. Установить прокладку (дет. 6)</li> </ol>
3	Сборка фланца (сб. 4),	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закрепить фланец (дет. 5) в приспособлении</li> <li>2. Установить крышку (дет. 1)</li> <li>3. Закрепить крышку (дет. 1) винтами (дет. 2)</li> </ol>
4	Установка фланца (сб. 4)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить фланец (сб. 5)</li> <li>2. Закрепить фланец (сб. 5) винтами (дет. 4)</li> </ol>
S	Контрольная	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Проверить легкость вращения шкива</li> <li>2. Проверить биение поверхности А относительно поверхности Б</li> </ol>

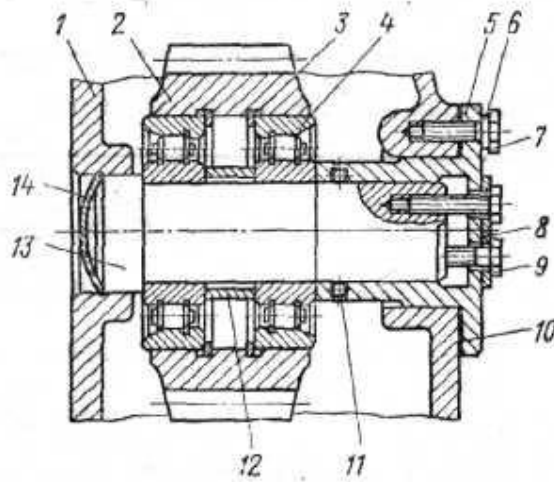


Рисунок 10.3 – Сборочная единица (к задаче 10.2):

1 — корпус; 2 — колесо зубчатое; 3 — кольцо (2 шт.); 4 — подшипник (2 шт.); 5 — фланец; 6 — шайба пружинная (6 шт.); 7 — болт (6 шт.); 8 — планка стопорная; 9 — болт (3 шт.); 10 — прокладка; 11 — уплотнение; 12 — уплотнение; 13 — вал; 14 — крышка.

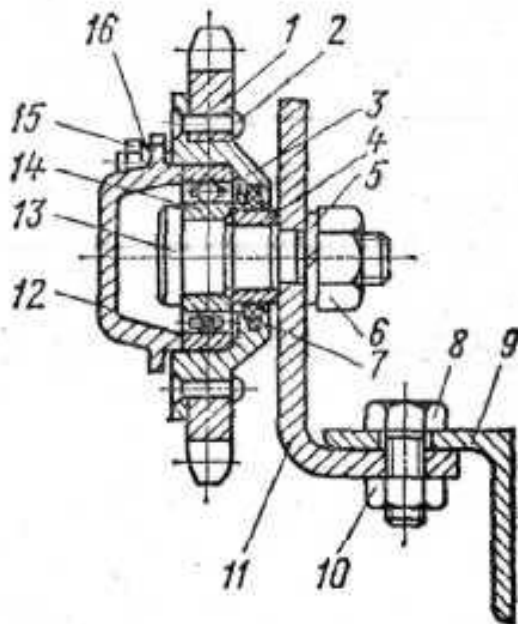


Рисунок 10.4 – Сборочная единица (к задаче 10.2):

1 — звездочка; 2 — заклепка (6 шт.); 3 — ступица; 4 — втулка; 5 — шайба пружинная; 6 — гайка; 7 — уплотнение; 8 — болт (2 шт.); 9 — уголок; 10 — гайка (2 шт.); 11 — кронштейн; 12 — крышка; 13 — ось; 14 — подшипник; 15 — болт (6 шт.); 16 — шайба пружинная (6 шт.)

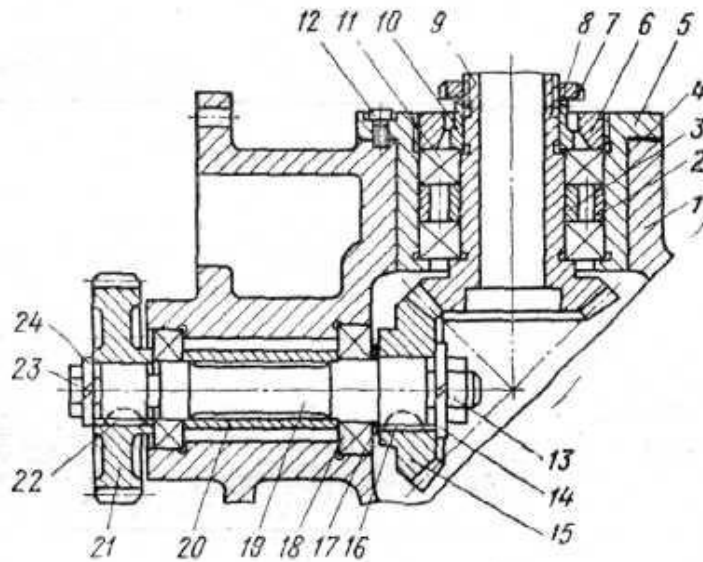


Рисунок 10.5 – Сборочная единица (к задаче 10.2):

1-корпус; 2 — втулка; 3 — втулка; 4 — прокладка; 5 — обойма; 6 — кольцо;  
 7 —шайба стопорная; 8 —гайка; 9 — вал-шестерня; 10 — втулка; 11 —  
 подшипник (2 шт.); 12 — винт (6 шт.); 13— гайка; 14 — шайба пружинная; 15  
 – колесо зубчатое; 16— шпонка; 17 — прокладка; 18 — подшипник (2 шт.);  
 19 — вал; 20 — втулка; 21 — колесо зубчатое; 22 — шпонка; 23 — болт;  
 24 – шайба пружинная.

## 11. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

При проектировании маршрута обработки заготовки необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ чертежа детали и качественная оценка ее Нелогичности.
2. Выбор исходной заготовки (см. п. 6).
3. Выбор технологических баз и схем установки заготовок. При выборе технологических баз и схем установки руководствуются основными принципами базирования.
4. Определение методов и маршрутов обработки отдельных поверхностей и комплектов поверхностей, которые следует обрабатывать с одного станка. Маршруты обработки отдельных поверхностей определяют исходя из требуемой точности и качества поверхности детали и выбранной заготовки. По заданной точности и шероховатости поверхности с учетом размеров, конфигурации детали и типа производства выбирают первый, завершающий и промежуточные методы обработки. Выбор конкретных методов производят с помощью таблиц экономической точности.
5. Выбор оборудования. С учетом заданного типа производства, габаритных размеров заготовки и выбранных методов обработки определяют соответствующие типы и модели станков. Для единичного производства используют универсальные станки, для серийного — универсальные станки с ЧПУ и полуавтоматы, для массового — полуавтоматы и автоматы.
6. Разработка маршрута обработки заготовки в целом, включая термические и контрольные операции. При разработке рациональной последовательности операций учитывают необходимость получения на первых операциях технологических баз, разделения операций на черновые, чистовые и отделочные, завершения технологического процесса обработкой наиболее ответственных поверхностей детали.

Разработанный вариант маршрута представляется в виде таблицы с перечнем операций, технологических баз и оборудования и иллюстрируется операционными эскизами с графическим обозначением опор, зажимов и установочных устройств по ГОСТ 3.1107—81. На эскизах выделяются обрабатываемые поверхности, указываются выдерживаемые размеры и шероховатость поверхности.

Методика проектирования маршрутных технологических процессов подробно изложена в учебной и справочной литературе.

Задача 11.1. Разработать маршрут обработки ступенчатого вала — шестерни (рисунок 11.1), изготовляемой из стали 45 ( $HRC_3$  40...45) в условиях крупносерийного производства.

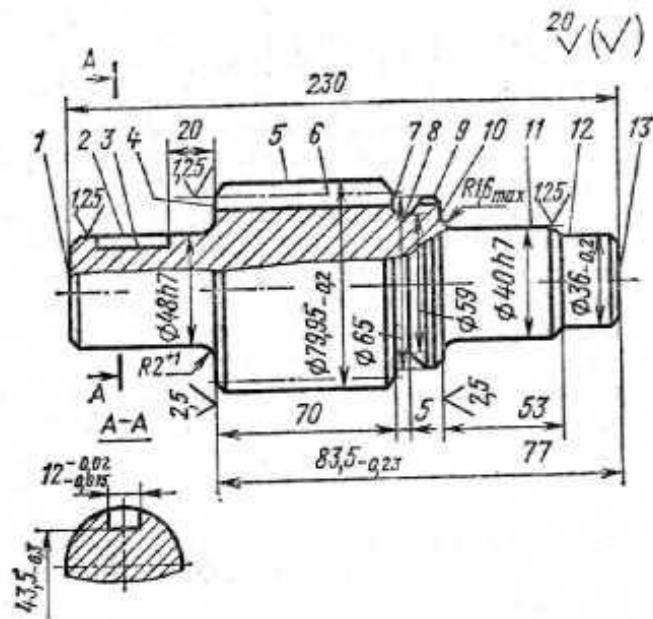


Рисунок 11.1 – Эскиз вала-шестерни (к задаче 11.1):  
 модуль зубьев — 6,5; число зубьев — 12; неуказанные предельные отклонения на размеры — по 14-му качеству точности

Решение. Анализ чертежа показывает, что наиболее высокие требования по точности и качеству предъявляются к опорным шейкам, прилегающим к ним торцам и зубчатой поверхности вала-шестерни. Конструкция детали в основном отработана на технологичность, обладает высокой жесткостью, обеспечивает свободный доступ инструмента к обрабатываемым поверхностям, что позволяет использовать при обработке многоинструментные наладки и высокопроизводительные режимы резания. Опорные шейки вала-шестерни обрабатывают на шлифовальных станках (с наклоном шлифовального круга), обеспечивающих высокую точность расположения торцов *4* и *10* (см. рисунок 11.1) к поверхностям опорных шеек и снижение трудоемкости операций за счет одновременной обработки этих поверхностей. Заданные чертежом точность размеров поверхностей, их относительного расположения и параметры качества поверхностных слоев могут быть достаточно экономично обеспечены традиционными методами обработки.

Вместе с тем, предусмотренная чертежом форма шпоночного паза нетехнологична, так как требует обработки малопродуктивным методом — многопроходным фрезерованием концевой фрезой. Очевидно, что без ущерба для прочности вала форму этого паза целесообразно было бы заменить либо на сегментную, либо на полуоткрытую и применить более производительные дисковые фрезы. Недостаточно технологичной делают конструкцию также различные радиусы переходных поверхностей от опорных шеек к торцам *4* и *10* ( $R2^{+1}$  и  $R1,6_{\max}$ ).

Учитывая конфигурацию, размеры вала и крупносерийный характер производства, в качестве исходной выбираем штампованную заготовку нормальной точности. Выбор технологических баз производим исходя из основных принципов базирования. При обработке валов, как правило, в качестве баз используют ось вала и один из торцов. На первой операции эта база реализуется при установке исходной заготовки в самоцентрирующие призмы (двойная направляющая база) с упором в торце *10* (опорная база).

Общая ось двух центровых отверстий, обработанных на этой операции, является постоянной базой для выполнения большинства последующих операций обработки заготовки. Опорные базы в направлении линейных размеров выбираем с учетом характера их простановки на чертеже и возможности совмещения технологических и измерительных баз. Так, на операциях обработки торца 4 в качестве опорной базы целесообразно использовать торец 10, так как от него задаются операционные размеры, а при фрезеровании шпоночного паза 3 — торец 4.

Объем обработки каждой из поверхностей вала-шестерни определим исходя из предъявляемых к ней требований по точности и качеству. Так, общий план обработки наружных поверхностей вращения заготовки может быть принят следующим: черновое обтачивание всех поверхностей, чистовое обтачивание и однократное шлифование после термообработки шеек 11, 2 и торцов 10, 4. Требования к зубьям детали (7-я степень точности и шероховатость  $Ra=1,25$  мкм) могут быть выполнены зубофрезерованием и шевингованием, однако, учитывая потерю точности и ухудшение шероховатости поверхностей после термической обработки, целесообразно введение операции зубохонингования.

Тип производства и конфигурация детали определяют выбор оборудования, которое должно обеспечить высокопроизводительную обработку и автоматическое получение заданной точности путем настройки. В наибольшей степени при заданных условиях этим требованиям удовлетворяют фрезерно-центровальные, гидрокопировальные, шпоночно-фрезерные, зубофрезерные, зубошевинговальные и торцекруглошлифовальные полуавтоматы.

Разработанный маршрут обработки вала-шестерни представлен в таблице 11.1.

Задача 11.2. Вал-шестерню (рисунок 11.2) изготавливают из сырой или закаленной до  $HRC_{40..45}$  стали 45. Разработать маршруты обработки

заготовки вала-шестерни соответственно для условий единичного, серийного и массового производств.

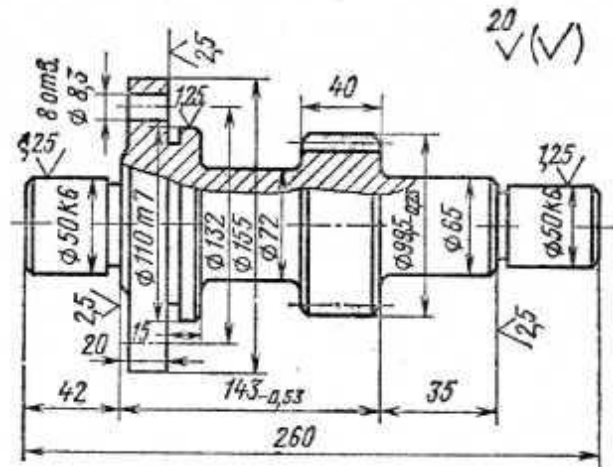
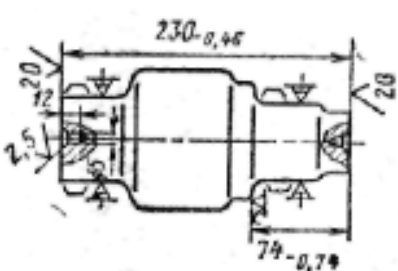


Рисунок 11.2 – Эскиз вала-шестерни (к задаче 11.2):

модуль — 6; число зубьев—14; степень точности зубчатого венца — 7;  
неуказанные предельные отклонения на размеры — по 14-му  
квалитету точности

Таблица 11.1 Технологический маршрут обработки вала-шестерни (к задаче 11.1)

№ операции	Наименование и краткое содержание операций	Технологическая база	Станок
1	Фрезерно-центральная 	Ось и торец исходной заготовки	Фрезерно-центровальный полуавтомат МР73М
2	Фрезеровать торцы 1 и 13 (см. рисунок 3.12) Зацентрировать с двух сторон Токарно-копировальная	Ось и торец 1	Токарный копировальный полуавтомат 7Н13



	Точить поверхности 11, 12, 5, фаски, подрезать торец 10		
3	Токарно-копирвальная  <p>Точить поверхность 2, фаски, подрезать торцы 4 и 7, прорезать канавку 8</p>	Ось и торец 10	То же
4	Токарно-копирвальная Точить под шлифование поверхность 11 и подрезать торец 10	Ось и торец 4	Токарный копиральный полуавтомат 7Н13
5	Токарно-копирвальная Точить под шлифование поверхность 2 и подрезать торец 4	Ось и торец 10	—
6	Шпоночно-фрезерная Фрезеровать шпоночный паз 3	Поверхности 2, 11 и торец 4	Шпоночно фрезерный 6Д91
7	Зубофрезерная Фрезеровать зубья 6	Ось вала	Зубофрезерный полуавтомат 5В312
8	Зубошевинговальная Шевинговать зубья 6	То же	Зубошевинговальный 5702
9	Контрольная	—	—
10	Термическая Калить и отпустить до $HRC_9$	—	—

	40...45		
11	Зубохонинговальная Хонинговать зубья <i>b</i>	Ось вала	Зубохонинговальный 5A913
12	Круглошлифовальная Шлифовать одновременно поверхности <i>10</i> и <i>11</i> , выдерживая <i>R 1,6</i>	Ось и торец <i>4</i>	Торцекруглошлифовальный ЗТ161А
13	Круглошлифовальная Шлифовать одновременно поверхности <i>2</i> , <i>4</i> , выдерживая <i>R2</i>	Ось и торец <i>10</i>	То же
14	Контрольная	—	—

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования**  
**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Невинномысский технологический институт (филиал)

## **Технология машиностроения**

методические указания к курсовому проектированию  
для студентов направления 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Невинномысск 2021

Методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Основы технологии машиностроения» разработаны в соответствии с требованиями федеральным государственным образовательным стандартом в части содержания и уровня подготовки выпускников по направлению 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Методические указания предназначены для студентов очной и заочной форм обучения, выполняющих курсовые проекты по ОТМ. Указания включают требования к содержанию и оформлению курсового проекта, методические рекомендации по расчету основного и вспомогательного оборудования, список рекомендуемой литературы.

Рекомендации по проектированию аппаратов и машин могут быть использованы и при выполнении соответствующих разделов ВКР.

Составители: *к.т.н. Казаков Д.В.*

Рецензент: *доц. А.Л. Проскурнин*

## Введение

Курсовое проектирование проводится с целью привития студентам навыков самостоятельной работы и закрепления знаний, полученных при изучении специальных дисциплин, а также самостоятельного решения технологических и экономических задач при проектировании технологических процессов механической обработки деталей.

Курсовая работа дает возможность установить степень усвоения учебного материала и умение студентов применять знания, полученные при прохождении производственной, учебной и технологической практики, а также подготовить их к выполнению дипломного проекта.

Пояснительная записка курсовой работы должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2.105\*. «Общие требования к текстовым документам» и ГОСТ 2.106\* "Текстовые документы».

Пояснительная записка курсового проекта выполняется в печатном варианте или пишется разборчиво и аккуратно, без сокращений слов, за исключением общепринятых сокращений, а также установленных в стандартах. Текст пояснительной записки пишется на одной стороне листа писчей бумаги формата А4 (297x210 мм) ГОСТ 2.301\* по формам 5 и 5а ГОСТ 2.106 \*

Пояснительная записка курсового проекта должна иметь титульный лист, бланк задания на курсовое проектирование, содержание проекта, список использованных источников.

При защите курсовой работы руководитель работы должен проверять: качество работы, ее соответствие заданию по курсовому проектированию и основным требованиям на курсовое проектирование, усвоение учащимся основного теоретического учебного материала, умение защищать выдвигаемые варианты и другие проблемные вопросы.

## **1 Тематика курсовых работ**

Тематика курсовых работ должна отражать конкретно производственные задачи технической подготовки менеджеров машиностроительного производства механических и сборочных цехах. При составлении задания на курсовое проектирование необходимо исходить из примерно одинаковой сложности заданий для каждого учащегося. Задания на курсовое проектирование, выполняемые индивидуально, предусматривают разработку технологического процесса изготовления детали или нескольких деталей с установленным годовым объемом выпуска. Примерная тематика курсовых проектов:

1. Разработать единичный операционный технологический процесс изготовления детали — колесо зубчатое, чертеж. Годовой объем выпуска изделия - 162 000 шт.

2. Разработать единичный операционный технологический процесс изготовления детали — вал-шестерня, чертеж. Годовой объем выпуска изделия — 89000 шт.

3. Разработать единичный операционный технологический процесс изготовления детали сателлита чертеж. Годовой объем выпуска изделия—220000 шт.

Темы курсовых проектов могут выполняться учащимися по заказам предприятий для конкретных производственных условий.

### ***1.1 Содержание курсовой работы***

Курсовой проект состоит из пояснительной записки, комплекта технологической документации изготовления детали, графической части.

Структура курсового проекта

- Задание на курсовое проектирование;
- Введение

1 Описание и технологический анализ проектируемого изделия

2 Разработка технологического процесса изготовления детали

2.1 Исходные данные

2.2 Анализ технологических требований чертежа, выявление технологических задач и условий изготовления деталей

2.3 Характер типа производства и методы работы

2.4 Технологичность конструкции

2.5 Выбор заготовки и метода ее изготовления

2.6 Разработка маршрутной, технологической и операционной карт

2.6.1 Маршрутная карта

2.6.2 Технологическая карта

2.6.3 Операционная карта

2.7 Расчет припусков размеров исходной заготовки и заготовки по переходам обработки

2.8 Техничко-экономические показатели разрабатываемого технологического процесса

3 Техника безопасности

4 Охрана окружающей среды

- Заключение
- Список используемых источников
- Приложения

Графическая часть курсового проекта по заданию преподавателя должна состоять из следующих рабочих чертежей: детали, заготовки данной детали; специального режущего инструмента на одну операцию или переход, измерительного инструмента или чертежа общего вида контрольного приспособления.

Комплект технологической документации изготовления детали должен содержать: титульный лист комплекта технологической документации на механическую обработку; маршрутный технологический процесс обработки; операционный технологический процесс обработки; карты эскизов на технологические операции; карты технологического контроля.

Комплектность технологических документов в зависимости от типа и характера производства рекомендуется устанавливать по ГОСТ 3.1108 или по согласованию с предприятием (учебным заведением).

## **2 Общие требования к выполнению курсовой работы**

Курсовые работы должны выполняться на основе последних достижений науки и техники, новейших прогрессивных форм организации производства, при высоком уровне механизации и автоматизации технологических процессов. Это значит, что учащийся должен разрабатывать курсовую работу для технически передового производства, строго соблюдая единую систему конструкторской и технологической документации, государственные и отраслевые стандарты.

### **2.1 Требования к выполнению пояснительной записки курсовой работы**

Для обеспечения единства правил выполнения и оформления пояснительной записки курсового проекта следует выполнять требования ГОСТ 2.105\* «Общие требования к текстовым документам» и ГОСТ 2.106\* «Текстовые документы».

Содержание пояснительной записки необходимо разделить на составные части: разделы, подразделы, пункты и подпункты.

Каждая составная часть должна иметь порядковый номер. Нумерация производится арабскими цифрами в пределах документа. Номер каждой составной части должен включать в себя все номера соответствующих составных частей более высоких ступеней деления. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных точкой.

Наименование разделов и подразделов должно быть кратким, соответствовать содержанию документа и записываться в виде заголовков (в красную строку) прописными буквами, например:

#### **2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

##### **2.1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛИ**

##### **2.2. ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ВИДА ЗАГОТОВКИ**

##### **2.3. РАСЧЕТ ПРИПУСКОВ И ОПЕРАЦИОННЫХ РАЗМЕРОВ**

Переносы слов и их сокращения в заголовках не допускаются, и точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух и более предложений, их разделяют точкой. Каждый раздел пояснительной записки начинают с новой страни-



цы. Цифры, указывающие номера пунктов, не должны выступать за границы абзаца. Для разделов и подразделов расстояние между последней строкой и последующим заголовком должно быть примерно-15 мм.

Терминология и определения должны быть едиными и соответствовать общепринятым в научно-технической литературе.

Условные буквенные обозначения механических, химических, математических и других величин в пояснительной записке должны соответствовать государственным стандартам.

Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены под формулой. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле, начиная со слова «где», без двоеточия после него, например:

$$T_o = \frac{L_{расч}}{ns} i \quad (2.1.1)$$

где  $L_{расч}$  — расчетная длина обработки, мм;

$n$ —частота вращения шпинделя станка, об/мин;

$s$ —подача обрабатываемого инструмента, мм/об;

$i$ —число рабочих ходов.

Размерность одного и того же параметра в пределах единого документа (пояснительной записки) в одной из установленных единиц измерения должна быть постоянной.

В пояснительной записке формулы нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой. Номер формулы указывают с правой стороны на уровне формулы в круглых скобках, например,

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{C}_c'' - \mathcal{C}_c' \widehat{N} \quad (2.1.2)$$

Ссылки в тексте на порядковый номер формулы дают в круглых скобках например: «Экономический эффект выбранного вида изготовления заготовки определяется по формуле (3.21)».

Допускается нумерация формул в пределах части документа.

Вес размещаемые иллюстрации в пояснительной записке если их более одной, нумеруют арабскими цифрами по разделам. Номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой, например, рис. 1.1. рис. 1.2 Ссылки на ранее упомянутая иллюстрации дают с сокращенным словом «смотри», например, «см. рис. 1».

Допускается нумерация иллюстраций в пределах части пояснительной записки.

Цифровой материал необходимо оформлять в виде таблиц. Диагональное деление головки таблиц не допускается. Графу «№ по пор.» в таблицу не включают, и при необходимости нумерацию параметров и других данных указывают в графе перед их наименованием. При переносе таблицы на другой лист необходимо головку таблицы повторить и над ней дать слово «Продолжение». Если в документе имеется несколько таблиц, то после слова «Продолжение» необходимо указывать номер таблицы, например: «Продолжение табл. 3.1». Тематический заголовок таблицы помещают только над первой ее частью. Заголовок таблицы указывают в единственном числе.

При использовании в пояснительной записке или другом документе справочных материалов необходимо давать ссылки на использованные источники с указанием, в квадратных скобках порядкового номера источника, помещенною в конце пояснительной записки.

## ***2.2 Требования к выполнению графической части курсового проекта***

Графическая часть курсового проекта выполняется в полном соответствии с действующими стандартами ЕСКД и другими требованиями, установленными государственными стандартами на отдельные изделия.

Графическая часть проекта выполняется на листах любых форматов, установленных ГОСТ 2.301\* при этом основную надпись на чертежах выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104\*

Форматы для чертежей выбирают с учетом размеров проектируемой детали или сборочного чертежа (станочного приспособления) и удобства их размещения.

Изображение на чертежах располагают относительно фронтальной плоскости проекции так, чтобы оно давало наиболее полное представление о форме предмета.

Толщина линии должна быть, одинакова для всех изображений на данном чертеже, вычерчиваемых в одинаковом масштабе, и удовлетворять требованиям ГОСТ 2.303\* «Линии».

При выполнении рабочего чертежа детали общее число разрезов, сечений, видов и размеров должно быть минимальным, но достаточным для его изготовления и контроля.

Справочные размеры на чертежах отмечают условным знаком «\*», а в технических требованиях чертежа записывают: «Размеры для справок». Не допускается повторять, размеры одного и того же элемента на разных изображениях, технических требованиях, основной надписи и спецификации. Предельные отклонения размеров указывают непосредственно после номинальных размеров, а многократно повторяющиеся на чертеже предельные отклонения линейных и других размеров 12 квалитета и грубее допускается оговаривать, общей записью в технических требованиях, например: «Неуказанные предельные отклонения размеров: отверстия – по *H14*. валов—по *h14*. остальных – по  $\pm \frac{IT14}{2}$ ».

Нанесение предельных отклонений размеров на чертежах следует производить, но ГОСТ 2.307\* но с учетом условных обозначений полей допусков и посадок, а также числовых значений предельных отклонений, принятых по ГОСТ 25347. Способ нанесения предельных отклонений на чертежах курсового проекта не ограничен, но более эффективным для учащихся является обозначение, когда у числовых размеров указывается буквенный символ посадок, номер квалитетов и в скобках числовое значение предельных отклонений, например.  $\varnothing 18H7^{(+0,018)}$ . Предельные отклонения, указываемых числовыми величинами (десятичной дробью), записывают до последней значащей цифры включительно, выравнивая число знаков в верхнем и нижнем отклонении с добавлением нулей, например,  $\varnothing 20_{-0,20}^{+0,24}$

Допуски формы и расположения поверхностей указывают на чертежах условными обозначениями или текстом в технических требованиях по ГОСТ 2.308

Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей приведены в Табл. 2.1.

При условном обозначении данные о допусках формы и расположения поверхностей указывают в прямоугольной рамке, разделенной на две или три части (рис. 2.1 ). в которых помещают: в первой — знак допуска по таблице (см. табл. 2.1); во второй — числовое значение допуска; в третьей — буквенное обозначение базы или другой поверхности, к которой относится допуск формы и расположения поверхностей; если несколько баз, то вписывают все их обозначения (рис. 2.1),

Рамки вычерчивают сплошными тонкими линиями. Высота цифр, букв и знаков, вписываемых в рамки, должна быть равна размеру шрифта размерных чисел. Наклон линий в знаках должен быть приблизительно  $75^\circ$ , а высота рамки на 2-3 мм превышает размер принятого для данного чертежа шрифта.

Рамку с данными допусков формы или расположения поверхностей соединяют с элементом, к которому относятся допуски формы и расположения поверхностей. Пересекать рамку какими-либо линиями не допускается.

Таблица 2.1 Знаки условного обозначения допусков по ГОСТУ 2.308 – 79

Группа допуска	Вид допуска	Знак
Допуск формы	Допуск прямолинейности	
	Допуск плоскости	
	Допуск круглости	
	Допуск цилиндричности	
	Допуск профиля продольного сечения	
Допуск расположения	Допуск параллельности	
	Допуск перпендикулярности	
	Допуск наклона	
	Допуск соосности	
	Допуск симметричности	
	Позиционный доступ	
	Допуск пересечения осей	
Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радианного биения	
	Допуск торцевого биения	
	Допуск биения в заданном направлении	
	Допуск полного радиального биения	
Допуск полного торцевого биения		
Допуск формы заданного профиля		
Допуск формы заданной поверхности		

Для обозначения шероховатости поверхности применяют следующие знаки

— обозначение шероховатости поверхностей, вид обработки которой конструктором не устанавливается. Этот знак на чертежах является предпочтительным.

— обозначение шероховатости поверхностей, которая должна быть образована удалением слоя материала в процессе обработки заготовки, например: точением, сверлением, фрезерованием, шлифованием полированием, травлением и т.п.

— обозначение шероховатости поверхности, обрабатываемой без удаления слоя материала, например: литьем, ковкой, объемной штамповкой, прокатом, волочением и т.п., а также поверхности изделий, не обрабатываемых по данному чертежу

*Шабрить*  
— знак шероховатости применяется, когда вид обработки является единственным.

— обозначение шероховатости поверхности с разъяснением в технических требованиях чертежа.

{ $\sqrt{\quad}$ } — обозначение одинаковой шероховатости поверхности элементов детали. Данное обозначение помещается в правом верхнем углу чертежа со знаком обозначения одинаковой шероховатости всех элементов обрабатываемой заготовки (рис. 2.3).



Рис. 2.1 – Условные обозначения допусков формы и расположения на чертежах и технологических эскизах

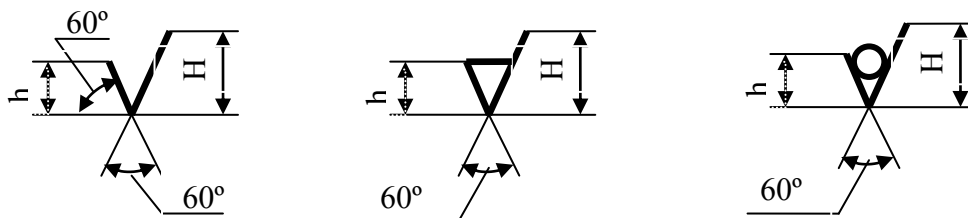


Рис. 2.2. Условные обозначения шероховатости поверхности в зависимости от вида обработки

При выполнении рабочих чертежей деталей необходимо обозначать шероховатость поверхностей по ГОСТ 2.309\*. Шероховатость поверхностей должна быть указана на всех поверхностях детали, выполняемых по данному чертежу незави-

симо от метода их образования. В обозначении шероховатости поверхностей детали применяют один из знаков, изображенных на рис. 2.2.

Высота  $h$  знаков приблизительно равна высоте цифр размерных чисел.

Высота  $H$  равна 1,5-3,0 высоты принятых знаков. Толщина линий знаков должна быть, приблизительно равна половине толщины сплошной основной линии, применяемой на данном чертеже.

Базовую длину в обозначении шероховатости поверхности не указывают, если требования к шероховатости нормируют указанием параметра  $R_a$  или  $R_z$ . Определение параметра производится в пределах базовой длины, соответствующей значению параметра в таблице по ГОСТ 2789\*\*.

При выполнении графической части курсового проекта необходимо правильно обозначать шероховатость поверхностей изображенного изделия. Обозначение шероховатости поверхностей изделий располагают на линиях контура или выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках выносок, а также при недостатке места допускается располагать обозначения шероховатости на размерных линиях или на продолжениях выносной линии (рис. 2.3). На линии невидимого контура допускается наносить обозначения шероховатости только в случаях, когда от этой линии вынесен размер.

Если на изображении чертежа все поверхности одинаковой шероховатости, то обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рис. 2.3). Знак шероховатости, вынесенный в правый верхний угол чертежа, должен быть приблизительно в 1,5 раза больше, чем на изображении чертежа.

Чтобы не перегружать рабочий чертеж многократно повторяющимися знаками одинаковой шероховатости, или когда часть поверхности не обрабатывается по данному чертежу, целесообразно выносить их в правый верхний угол чертежа.

Обозначение шероховатости поверхностей повторяющихся элементов изделия (отверстий, пазов, зубьев и т.п.), число которых указано на чертеже, а также обозначение шероховатости одной и той же поверхности наносят один раз независимо от чертежа изображений. Обозначение шероховатости поверхности, в которых

знак не имеет полки, располагают относительно надписи чертежа так, как показано на рис. 2.5.

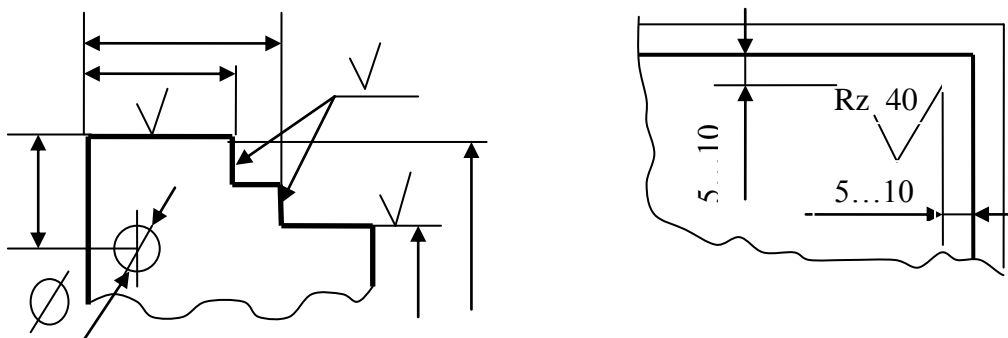


Рис. 2.3. Методы расположения обозначения шероховатости поверхности детали при не достатке места на изображении чертежа

На чертежах изделий, подвергаемых термической и другим видам обработки, указывают показатели свойств материалов, полученных в результате обработки, например: твердость  $HRC_3$ ,  $HRA$ ,  $HB$ ; временное сопротивление  $\sigma_B$ ; предел упругости  $\sigma_y$ . Величина глубины обработки  $h$  и твердости материалов на чертежах указываются предельными значениями «от...до», например  $h\ 0,7...0,9$ ;  $HRC_3\ 40...45$ .

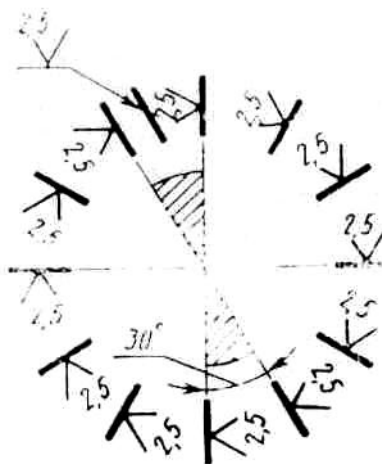


Рис. 2.4 Обозначение шероховатости для всех поверхностей детали

Поверхности деталей, подвергаемых термической электрохимической, гальванической обработке, отмечают штрих - пунктирной утолщенной линией на той проекции, на которой они ясно определены.

При выполнении курсового проекта учащийся разрабатывает сборочные чертежи (станочных приспособлений, приспособления для контроля обрабатываемой



заготовки, специальных режущих и измерительных инструментов и т.д.), которые должны удовлетворять требованиям ГОСТ 2.109\*. Сборочные чертежи должны содержать:

- 1) изображение сборочной единицы, дающее полное представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу;
- 2) номера позиций вставных частей, входящих в сборочную единицу;
- 3) габаритные размеры сборочной единицы, а также установочные, присоединительные и другие необходимые справочные и исполнительные размеры;
- 4) техническую характеристику сборочной единицы или технические требования (при необходимости).

Номера позиции наносят на полках линий выносок, проводимых от изображений составных частей, и располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют в колонку или строчку.

Номера позиций наносят на чертеже, как правило, один раз, но допускается и повторно указывать номера позиций одинаковых составных частей изделия для более ясного понимания чертежа. Размер шрифта позиций должен быть на один-два номера больше, чем размер шрифта, принятого для размерных чисел. Текст на чертеже, таблицы и надписи должны быть краткими и точными, без сокращений слов, за исключением общепринятых или усвоенных в стандартах.

Текстовую часть, помещенную на поле чертежа, располагают над основной надписью. Между текстовой частью и основной надписью не допускается помещать различные изображения (сечения, виды, выносные элементы), таблицы.

Для обозначения на чертеже изображений (видов, разрезов, сечений), поверхностей, размеров и других элементов изделия применяют прописные буквы русского алфавита (за исключением букв Й, О, Х, Ъ, Ы, Ь) по ГОСТ 2.316\* «Правила нанесения на чертежах надписей технических требований и таблиц».

Буквенные обозначения присваивают в алфавитном порядке без пропусков. Размер шрифт буквенных обозначений должен быть в 2 раза больше размерных чисел.

Пункты технических требований должны иметь сквозную нумерацию, и каждый пункт записывают с новой строки (без заголовка «Технические требования»).

Технические требования на чертеже излагают, группируя вместе однородные и близкие по своему характеру, в следующем порядке:

- требования к материалу, заготовке, термической обработке, твердости, влажности, к свойствам материала готовой детали и т.п.;
- размеры, предельные отклонения размеров допусков формы и расположения поверхностей, массы и т. п.
- требования к качеству поверхностей, указания об их отделке, покрытиях;
- расположение отдельных элементов конструкции;
- требования, предъявляемые к настройке и регулированию.

Техническую характеристику изделия размещают отдельно от технических требований с самостоятельной нумерацией пунктов на свободном поле чертежа под заголовком «Техническая характеристика», а над техническими требованиями помещают заголовок «Технические требования». Оба заголовка не подчеркивают.

В основной надписи чертежа наименование детали должно соответствовать принятой терминологии и быть по возможности кратким. Наименование детали записывается в именительном падеже единственного числа, например: «Приспособление», «Вал», «Фланец», «Крышка» и т.д.

Наименование детали, состоящее из нескольких слов, на первом месте помещают имя существительное, например: «Колесо зубчатое», «Вал первичный», «Вал промежуточный» и т.д.

В наименование детали не включают, как правило, сведения о назначении детали и ее местоположение.

Обозначение материала должно содержать наименование материала, марку, если она для данного материала установлена, и номер стандарта или технических условий например: Сталь 45 ГОСТ 1050\*\*; Ст3 ГОСТ 380\*: Чугун СЧ 15 ГОСТ 1412\* и т.д.

Если в установленное обозначение материала входит сокращенное наименование данного материала «Ст», «СЧ», «КЧ», «Бр» и др., то полное наименование «Сталь», «Серый чугун», «Ковкий чугун», «Бронза» в графе материалов не указывают, например: Ст3 ГОСТ 380\*; СЧ 10 ГОСТ 1412\*

Если деталь изготовлена из сортового материала определенного профиля и размера, то такой материал записывают в соответствии с присвоенным ему в стандарте обозначением, например: сталь горячекатаная, круглого сечения, диаметром 80 мм, обычной точности В по ГОСТ 2590 \* марки 30, для горячей осадки или высадки — подгруппы а, категории 2:

$$\text{Круг} \frac{80 - В - \text{ГОСТ} 2590 - 71}{30 - а - 2 - \text{ГОСТ} 1050 - 74}$$

сталь горячекатаная, квадратного сечения, со стороной квадрата 40 мм, обычной точности прокатки В по ГОСТ 2591 \* марки 30, для горячей осадки или высадки подгруппы а, категории 2:

$$\text{Квадрат} \frac{40 - В - \text{ГОСТ} 2591 - 71}{30 - а - 2 - \text{ГОСТ} 1050 - 74}$$

В графе «Материал» указывают один вид материала, а если предусматриваются для изготовления детали заменители, то их указывают в технических требованиях чертежа или в технических условиях на изделие. Если деталь состоит из двух разнородных материалов (в целях экономии дорогостоящего материала или по эксплуатационным требованиям детали), то в графе «Материал» указывают основной материал, а в технических требованиях — вспомогательный.

На каждую сборочную единицу чертежа составляют спецификацию по формам 1 и 1а или 2 и 2а ГОСТ 2.108\*.

При заполнении спецификации на сборочную единицу перечня составных частей рекомендуется располагать в следующем порядке: «Документация», «Комплекс», «Сборочные единицы», «Детали», «Стандартные изделия», «Прочие изделия», «Материалы», «Комплексы».

Наличие тех или иных составных частей определяется составом специфицируемого изделия. Название всех разделов указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают тонкой сплошной линией. Спецификацию допускается помещать в пояснительную записку после описания специфицируемого изделия (Сборочной единицы) или в графическую часть курсового проекта. Спецификацию рекомендуется заполнять чернилами черного цвета пастой или тушью.

Допускается совмещать спецификацию со сборочным чертежом, при этом спецификацию располагают ниже графического изображения изделия над основной надписью и заполняют ее в том же порядке и по той же форме.

### **2.3 Требования к выполнению технологического процесса изготовления детали**

В курсовом проекте разрабатывается технологический процесс изготовления детали, соответствующий современному достижению науки и техники, а также передовому опыту новаторов производства. Технологический процесс механической обработки является основой курсового проекта, от которого зависят экономические показатели себестоимости изделия, производительность труда, экономия материалов, электроэнергии, культура производства.

Технологический процесс изготовления детали должен выполняться в полном соответствии с действующими стандартами ЕСТД и другими требованиями стандартов. Термины и определения основных понятий в области технологических процессов, установленных ГОСТ' 3.1109 «Процессы технологические», обязательны для производственных и учебных документов. ГОСТ 3.1109 устанавливает следующую технологическую документацию.

На комплектность технологических документов:

- комплект документов технологического процесса;
- комплект технологической документации;
- комплект проектной технологической документации;
- стандартный комплект документов технологического процесса.

На детализацию описания технологических процессов:

- маршрутное описание технологического процесса;
- операционное описание технологического процесса;
- маршрутно-операционное описание технологического процесса.

На организацию производства:

- единичный технологический процесс;
- типовой технологический процесс;

- групповой технологический процесс.

В курсовых проектах рекомендуется применять операционное описание технологического процесса изготовления детали для крупносерийного и массового производства.

Разработка операционного технологического процесс механической обработки заготовки дает возможность учащимся применить, в полном объеме свои теоретические и практические знания, применить новейшие достижения науки и техники в области машиностроения, новаторов производства.

В курсовом проекте можно разрабатывать любые виды технологических процессов изготовления деталей в зависимости от задания на курсовое проектирование, где при составлении его учитываются все возможные варианты для повышения качества подготовки будущего специалиста по обработке металлов резанием.

Какой бы технологический процесс не разрабатывался, следует добиваться минимальных затрат по изготовлению проектируемой детали.

Комплектность документов, необходимых для описания технологического процесса, зависит от его организации, вида работ и типа производства. Комплектность технологических документов устанавливается по ГОСТ 3.1108 «Комплектность документов в зависимости от типа и характера производства». Комплектность документа технологического процесса механической обработки в курсовых проектах можно использовать из маршрутной карты: операционной карты; карты эскизов; карты технической контроле и ведомости технологических документов.

Комплектность технологических документов зависит от специализации и специфики работы.

Описание технологического процесса механической обработки выполняется на форматах, установленных стандартами ЕСТД в зависимости от метода обработки и организации технологического процесса.

Правила записи технологических операций и переходов обработки резанием установлены ГОСТ 3.1702\*.

Наименование операции обработки резанием должно отражать применяемый вид технологического оборудования и записываться именем прилагательным в

именительном падеже, например: зубошлифовальная, хонинговальная, продольно-строгальная, сверлильно-центровальная, шлиценакатная и т.п.

Запись содержания технологической операции следует выполнять в форме маршрутного или операционного описания. В содержании операции необходимо отражать все действия выполняемые в технологической последовательности. В содержании операции (перехода) необходимо включать ключевые слова, характеризующие метод обработки, выраженные глаголом в неопределенной форме. Например: фрезеровать, шлифовать, галтовать, установить, снять, зенковать, хонинговать и т.д.

В содержании технологической операции допускается полная или сокращенная форма записи. Полную форму записи следует выполнять при отсутствии графических изображений, а сокращенную — при наличии графических изображений, которые посуточно полно отражают всю необходимую информацию по изготовлению детали.

Пример 1. Полная запись: «Сверлить 8 сквозных отверстий с последующим зенкованием фасок, выдерживая  $d = 12^{+0,2}$ ,  $d = 90 \pm 0,08$ ,  $L90^\circ \pm 30'$  и  $1,6 \times 45^\circ$ , согласно чертежу»,

2. Сокращенная запись: «Сверлить 8 отв., выдерживая размеры 1,2,3 и 4».

Установление полной или сокращенной записи содержания технологической операции для каждого конкретного случая определяется разработчиком документов. Запись вспомогательных переходов следует выполнять в соответствии с правилами для технологических переходов.

При заполнении документов рукописным способом — вместо условного обозначения  $d$  применять знак  $\emptyset$  и не указывать условные обозначения длины, ширины, фаски. Например: Расточить поверхность, выдерживая размеры  $\emptyset 120^{+0,24}$ ,  $60 \pm 0,2$  и  $1,6 \times 45^\circ$

В записи содержания операции следует использовать следующие ключевые слова:

- для технологических переходов - вальцевать, врезаться, галтовать, гравировать, довести, долбить, закруглить, заточить, затыловать, зенкеровать, накатать, нарезать, обкатать, опилить, отрезать, подрезать, полировать, притирать, прирабо-

тать, протянуть, развернуть, развальцевать, раскатать, рассверлить, расточить, сверлить, строгать, суперфинишировать, точить, хонинговать, шевинговать, шлифовать, цековать, центровать, фрезеровать:

- для вспомогательных переходов — выверить, закрепить, настроить, переустановить, переустановить и закрепить, переместить, поджать, проверить, смазать, снять, установить, установить и выверить, установить и закрепить.

В содержании операции следует оставлять свободные строки между описаниями переходов для дальнейшей корректировки текста.

При разработке технологических эскизов на операции или отдельные технологические переходы необходимо выполнять все требования, предъявляемые к графическим документам.

Технологический эскиз разрабатывается на каждую операцию в крупносерийном и массовом производстве, а при необходимости и на отдельный технологический переход. Технологический эскиз является исходным данным для подробного описания операции по переходам или позициям. На технологическом эскизе указываются все необходимые данные для качественной обработки детали; указываются необходимые размеры обрабатываемых элементов детали с отклонениями, а также необходимыми справочными размерами, которые будут использованы в процессе определения режимов резания и норм времени по технологическим переходам на операцию. На свободном поле карты эскиза указываются необходимые технические требования на изготовление детали (обрабатываемых поверхностей на данной операции).

На каждый обрабатываемый элемент заготовки устанавливается шероховатость поверхности и указывается условное обозначение шероховатости в зависимости от метода обработки и степени точности. Одинаковые значения шероховатости поверхности группируют и выносят в правый верхний угол эскиза.

На технологическом эскизе необходимо указывать условные обозначения опор, зажимов на базовых поверхностях детали согласно ГОСТ 3.1107 «Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения».

Необходимое число изображений (видов, разрезов, сечений и выносок) на эскизе устанавливается из условий обеспечения наглядности и ясности изображения

обрабатываемых поверхностей детали. Поверхности, подлежащие обработке, на эскизе следует обводить сплошной линией, равной  $2s \dots 3s$  по ГОСТ 2.303\*.

В курсовом проекте для наглядности допускается изображать обрабатываемые поверхности на эскизе красным цветом. Все обрабатываемые поверхности условно нумеруют арабскими цифрами в технологической последовательности и соединяют с размерной линией. Номера поверхностей обводят знаком окружности диаметром  $6 \dots 8$  мм.

Технологические эскизы на операцию или переходы выполняются от руки без масштаба, однако эскизы следует выполнять аккуратно и четко. Условные обозначения, применяемые на технологических эскизах, должны соответствовать установленным стандартам. Нестандартные обозначения необходимо разъяснять в примечаниях к данному эскизу.

Титульный лист является первым листом технологического документа. На титульном листе указывают наименование министерства или ведомства, в систему которого входит учебное заведение, наименование учебного заведения, наименование темы технологического документа курсового проекта, наименование изделия, шифр курсового проекта на данный документ, фамилию и подпись разработчика (студента), фамилию и подпись руководителя курсового проекта.

### **3 Методика выполнения разделов курсового проекта**

Основные вопросы, касающиеся курсового проектирования, прорабатывают в процессе изучения технических дисциплин, при выполнении лабораторных и практических работ, но вместе с тем имеется необходимость изложить, ряд общих методических положений и требований, которые обеспечат эффективную работу студента над курсовым проектом по данной специальности.

Изложенные методические рекомендации позволят студентам и руководителям курсовых проектов обеспечить единство требований и решение отдельных вопросов, а также подготовить студентов к выполнению курсовых и дипломных проектов.

Работая над каждым вопросом, студент должен подходить творчески, критически анализировать и принимать самые оптимальные решения.



### **3.1 Вводная часть**

Во вводной части (введении) курсового проекта рассматривают важность и актуальность выбранной темы. Необходимо отметить дальнейшее повышение технологического уровня машиностроения, механизации и автоматизации производственных процессов, а также повышения качества выпускаемой продукции и эффективности производства. Особое внимание учащийся должен обратить на развитие той отрасли машиностроения, к которой относится тема проекта.

Введение должно быть увязано с темой курсового проекта и по объему, не должно превышать двух страниц проекта.

Мероприятия, предусмотренные в проекте для получения высоких технико-экономических показателей, перечисляют после их обоснования.

### **3.2 Описание и технологический анализ проектируемого изделия**

При описании изделия, сборочной единицы, детали согласно заданию на курсовое проектирование необходимо указать назначение, условия работы, краткую характеристику изделий и эксплуатационную характеристику составных его частей.

Необходимо указать, каким факторам подвергается данное изделие в процессе эксплуатации (условия рабочего места, среда, динамические нагрузки и др.) и при отработке детали на технологичность следует учитывать все эти факторы.

При описании сборочной единицы, в которую входят детали по заданию курсового проекта, необходимо более подробно остановиться на ее конструктивных особенностях и условиях работы. В курсовом проекте необходимо давать подробное описание детали, ее эксплуатационное назначение, характер соединения (подвижное, неподвижное), конструктивную особенность.

### **3.3 Разработка технологического процесса изготовления детали**

В данном разделе изложена последовательность разработки технологического процесса изготовления для наиболее представительных деталей машин хими-

ческой промышленности, выносимых на курсовое проектирование. Рекомендуется литература, в которой содержатся методики проектирования технологических процессов изготовления и сборки оборудования, справочные данные. Разработка технологического процесса изготовления детали сопровождается необходимыми эскизами и рисунками, выполненными в соответствии с рекомендациями кафедры МАХП.

Для элементов разрабатываемой детали составляются: маршрутная, технологическая и операционная карты.

Маршрутная карта - документ, содержащий описание технологического процесса изготовления и контроля изделия в технологической последовательности с указанными данными о технологической оснастке, материалах и оборудовании в соответствии с указанными формами. В маршрутной карте приведены указания на следующие операции: правка, очистка, разметка, резка, обработка кромок, вальцевание, сборка, сварка, калибровка, контроль оборудования. Приведены размеры заготовки, изделия, масса заготовки и изделия.

Составлению маршрута изготовления детали в целом обычно предшествует определение маршрутов обработки отдельных поверхностей заготовки. Разработка маршрута обработки заготовок неразрывно связана с выбором технологических баз (схем установки заготовки).

Требуется определить маршрут обработки отдельных поверхностей. Ряд операций обработки необходимы для получения каждой поверхности детали и расположенных в порядке повышения точности, образуют маршруты обработки отдельных поверхностей. Такие маршруты необходимы также для расчета промежуточных и общих припусков на механическую обработку, а также промежуточных размеров заготовки по технологическим переходам (или операциям) обработки. Маршрут обработки назначают на основании технических требований чертежа детали и чертежа заготовки, начиная с выбора метода окончательной обработки, обеспечивающей заданные чертежом детали точность и состояние поверхностного слоя.

Число этапов обработки (предварительной, промежуточных, окончательной) зависит не только от точности размеров, например диаметральных, но и от уровня относительной геометрической точности формы поверхности (допусков цилинд-

ричности, круглости, профиля продольного сечения, плоскости). При высокой относительной геометрической точности поверхности деталей промежуточных этапов обработки больше, чем при нормальной. Менее точная заготовка, вернее ее рассматриваемая поверхность, потребует большего числа этапов обработки по сравнению с более точной заготовкой. У заготовок высокой точности может быть достаточной однократная обработка поверхностей. На число этапов обработки может влиять и необходимость выполнения термической обработки, которая может вытекать не только из требований чертежа, но и из условий улучшения обрабатываемого материала термическая обработка вызывает деформации заготовки в целом и коробление отдельных ее поверхностей, поэтому для уменьшения их влияния на точность предусматривают дополнительную механическую обработку.

Выделить особенности выбора схем установки заготовки. Перед обработкой заготовки на станках необходимо выполнить процедуру ее базирования и закрепления, другими словами — установку заготовки. Поэтому выбор схем установки заготовки неразрывно связан с маршрутом ее изготовления и для такого выбора следует ясно представлять общий (укрупненный) план обработки заготовки.

В зависимости от геометрической формы заготовки применяют различные схемы установки, отличающиеся между собой формой и расположением технологических баз, числом опорных точек на каждой из них, числом лишаемых степеней свободы и схемой закрепления заготовки. Выбор схемы установки заготовки облегчается использованием типовых схем базирования. Рассмотрим их более подробно.

*Установку на плоскости* применяют при обработке заготовок станин, корпусов, плит, рам, кронштейнов. При этом заготовку можно базировать на три взаимно перпендикулярные плоскости по схеме  $\Pi^3_1 \perp \Pi^2_2 \perp \Pi^1_3$ , лишив ее шести степеней свободы, что обеспечивает, в свою очередь, автоматическое получение размеров  $x, y, z$ , по трем направлениям осей системы координат. Если заготовку ориентировать по двум взаимноперпендикулярным плоскостям по схеме  $\Pi^3_1 \perp \Pi^2_2$ , то, лишив ее пяти степеней свободы, можно обеспечить автоматическое получение размеров  $x, y$  по двум направлениям. Когда же при обработке, например, плоско-

сти на фрезерном станке, необходимо автоматически выдержать один размер, заготовку базируют на одну плоскость по схеме  $\Pi^3$ .

*Установку заготовок на наружную поверхность вращения и перпендикулярную к ее оси плоскости* осуществляют при обработке заготовок деталей типа «тело вращения»: валов, осей, штоков, поршней, плунжеров и т.п. Для заготовок, обрабатываемых на токарных и круглошлифовальных станках и вращающихся относительно продольной оси, применяют установку в патроны по схеме  $\text{ПВН}^4 \perp \Pi^1$ , лишая их по наружной поверхности вращения четырех степеней свободы и еще одной по плоскости. Заготовки, не имеющие вращения при обработке, базируют по наружным поверхностям вращения в призмах по схеме  $\text{ПВН}^4 \perp \Pi^1$  или во втулках по схеме  $\text{ПВН}^2 \perp \Pi^3$ .

*Установку на внутреннюю поверхность вращения и перпендикулярную к ее оси плоскость* выполняют при обработке заготовок деталей типа «тело вращения» с главным центральным отверстием: втулок, гильз, стаканов, обечаек, рубашек, дисков с отверстиями, колец и др. При обработке вращающихся заготовок их размещают в патронах с кулачками враспор по отверстию, на оправках с раздвижными элементами или на оправках с натягом, реализуя схему  $\text{ПВ}^4 \perp \Pi^1$ . В том случае, когда заготовку надевают на оправку или палец с зазором, закрепляя ее силой вдоль оси, формула схемы установки будет  $\Pi^3 \perp \text{ПВ}^2$  (отличается от предыдущей).

*Установку на два отверстия с параллельными осями и перпендикулярную им плоскость* применяют при обработке заготовок станин, корпусов, рам, плит, опор, подшипников, кронштейнов, шатунов и др. Формула схемы имеет вид  $\Pi^3 \perp (\text{ПВ}_1 \parallel \text{ПВ}_2)^3$ . Эта схема весьма удобна, так как занимая под технологическую базу практически одну плоскую поверхность, она лишает заготовку шести степеней свободы, что позволяет выдерживать размеры автоматически во всех направлениях. Схему широко применяют при обработке заготовок корпусных деталей на универсальных станках и автоматических линиях, поскольку два технологических базовых отверстия с параллельными осями несложно выполнить в случае их отсутствия в конструкции детали. По данной схеме устанавливают в рабочих позициях автоматических линий приспособление - спутники.

Установку на наружные цилиндрические поверхности с пересекающимися осями выполняют при обработке заготовок тройников, крестовин, задвижек, патрубков и тому подобных деталей на фрезерных, сверлильных, расточных, агрегатных многошпиндельных станках. В качестве основных установочных элементов используют призмы, осуществляя схему  $ПВН^4_1 \perp ПВН^2_2$  и лишая заготовку шести степеней свободы.

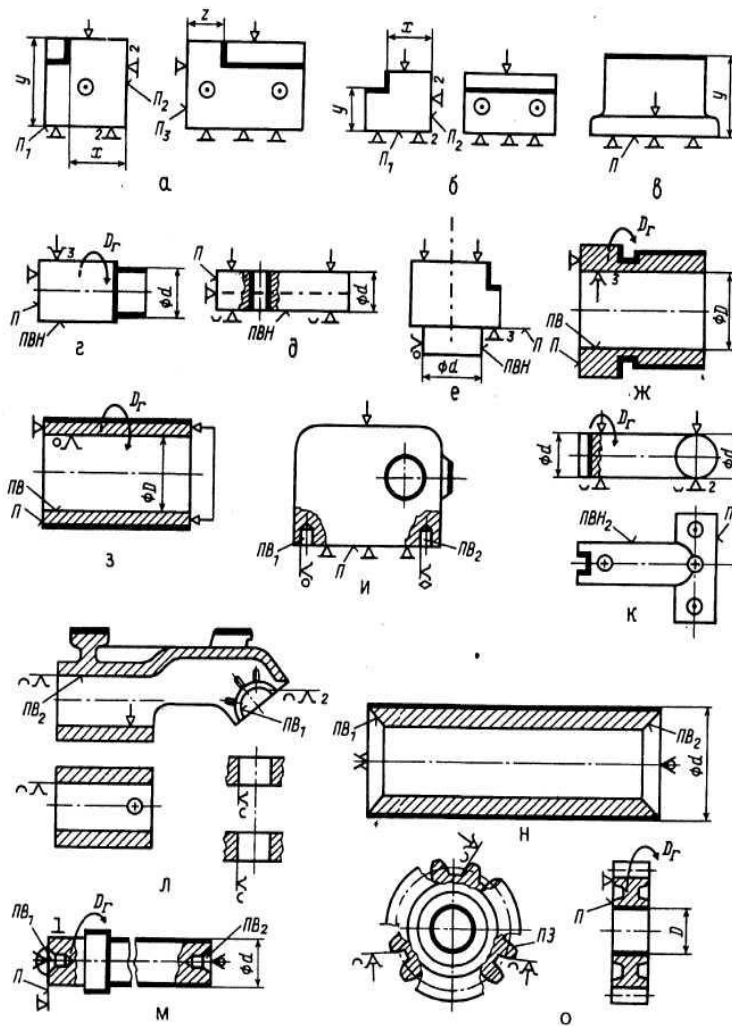


Рис. 3.3.6.1 Типовые схемы установки заготовок на плоскости (о - в), на наружную цилиндрическую поверхность вращения и перпендикулярную к ее оси плоскость (г - е), на внутреннюю цилиндрическую поверхность вращения и перпендикулярную к ее оси плоскость (ж, з), на два цилиндрических отверстия с параллельными осями и перпендикулярную им плоскость (и), на цилиндрические поверхности с пересекающимися осями (к), на внутренние цилиндрические поверхности отверстия с пересекающимися перекрещивающимися осями (л), на центровые гнезда отверстия и конические фаски (м,н) и на зубчатые поверхности и плоскости, перпендикулярные оси главного отверстия (о)

Установка на внутренние цилиндрические поверхности с пересекающимися (скрещивающимися) осями может быть применена при обработке заготовок ста-

нин, корпусов, рам, кронштейнов, опор на фрезерных, сверлильных, расточных и агрегатных станках. Если база — замкнутое отверстие, выполняют регулируемые и самоустанавливающиеся опоры, если же база — незамкнутое отверстие, используют также и жесткие опоры, реализуя схему  $ПВ^4_1 \perp ПВ^2_2$ .

*Установку на центровые отверстия* осуществляют при обработке заготовок валов, осей, штоков, поршней, плунжеров и других тел вращения на токарных, круглошлифовальных и других станках, а также при обработке заготовок на центровых оправках. В качестве установочных элементов и приспособлений применяют центры (и полуцентры) различных конструкций и уровня точности. Для повышения точности базирования в осевом направлении используют плавающие центры, осуществляющие схему  $(ПВ_1 — ПВ_2)^4 \perp П_1$ .

*Установку на конические фаски* (схема  $(ПВ_1 — ПВ_2)^4$ ) применяют при изготовлении на токарных, круглошлифовальных и других станках полых деталей с внутренними фасками и деталей малых диаметров с наружными фасками, используя для последних обратные центры.

*Установку на зубчатые поверхности и торец* (схема  $ПЗ^3 \perp П^3$ ) осуществляют при шлифовании осевых отверстий заготовок цилиндрических и конических зубчатых колес. В качестве установочных элементов применяют три ролика для прямозубых цилиндрических колес и шесть шариков (по два в каждую впадину) для цилиндрических колес со спиральным зубом и конических колес. При использовании роликов и шариков применяют самоцентрирующие патроны мембранного и клинового типов.

Необходимо составить маршрут изготовления детали. Требуется в соответствии с ЕСКД выполнить маршрутное описание ТП, при котором произвести сокращенное описание всех технологических операций в маршрутной карте в последовательности их выполнения без указания переходов и технологических режимов, но с указанием типа оборудования (станка). Маршрутное описание ТП обычно является основным в единичном и мелкосерийном производствах и сопроводительным (дополнительным) в других типах производств. Исходные данные для разработки маршрутной технологии: чертеж детали с техническими требованиями, чертеж заготовки с техническими условиями, ранее установленный

тип производства, ранее проведенная отработка технологичности конструкции детали; предварительно определенные маршруты (планы) обработки отдельных поверхностей ранее выбранные технологические базы с предварительно намеченным планом обработки заготовки. Разработка маршрута — сложная задача с большим числом вариантов ее решения.

При установлении последовательности обработки (для изготовления деталей нормальной геометрической точности) нужно руководствоваться следующими соображениями:

1. В первую очередь следует обрабатывать поверхности, принятые за чистые (обработанные) технологические базы.

2. Последовательность обработки зависит от системы простановки размеров. В начало маршрута выносят обработку той поверхности, относительно которой на чертеже координировано большее число других поверхностей. Так, при простановке размеров сначала должна быть обработана поверхность 1, затем 2, ..., 5 и далее остальные поверхности.

3. При невысокой точности исходной заготовки сначала следует обрабатывать поверхности, имеющие наибольшую толщину удаляемого материала (для раннего выявления литейных и других дефектов, например раковин, включений, трещин, волосовин и т.п., и отсеивания брака). Далее последовательность операций необходимо устанавливать в зависимости от требуемой точности поверхности: чем точнее должна быть поверхность, тем позднее ее необходимо обрабатывать, так как обработка каждой последующей поверхности может вызывать искажение ранее обработанной поверхности (снятие каждого слоя металла с поверхности заготовки приводит к перераспределению остаточных напряжений, что и вызывает деформацию заготовки). Последней нужно обрабатывать ту поверхность, которая является наиболее точной и ответственной для работы детали в машине.

4. Операции обработки поверхностей, имеющих второстепенное значение и не влияющих на точность основных параметров детали (сверление мелких отверстий, снятие фасок, прорезка канавок, удаление заусенцев и т.п.), следует выполнять в конце ТП, но до операций окончательной обработки ответственных поверхностей. В конец маршрута желательно также выносить обработку легкопо-

вреждаемых поверхностей, к которым относят, например, наружные резьбы, наружные зубчатые поверхности, наружные шлицевые поверхности и т.п.

5. В том случае, когда заготовку подвергают термической обработке, для устранения возможных деформаций нужно предусматривать правку заготовок или повторную обработку отдельных поверхностей для обеспечения заданных точности и шероховатости. Однако некоторые виды термической, химико-термической и гальванической обработок усложняют ТП. Например, при цементации требуется науглеродить отдельные участки заготовки. Остальные участки защищают омеднением или оставляют на них припуск, который удаляют при механической обработке после цементации, но до закалки.

Требуется определить тип оборудования и оснастки. Уточнение наименования и содержания операции механической обработки позволяет правильно выбрать станок из имеющегося парка (по паспорту) или по каталогу. По виду (методу) обработки устанавливают группу станка классификационная таблица станков. В соответствии с назначением станка, его компоновкой, автоматизации или видом применяемого инструмента определяют тип станка: токарный одношпиндельный, токарный многошпиндельный, токарно-револьверный, токарно-револьверный полуавтомат, отрезной с дисковой пилой, отрезной ножовочный, вертикально-фрезерный консольный, вертикально-фрезерный бесконсольный и т.п. Выбор типа станка прежде всего определяется возможностью обеспечить определенное формообразование, выполнение технических требований, предъявляемых к изготавливаемой детали в отношении точности формы, расположения и шероховатости поверхностей. Если эти требования выполнимы на различных станках, то при выборе учитывают следующие факторы:

1) соответствие основных размеров станка габаритным размерам обрабатываемой заготовки или нескольких одновременно обрабатываемых заготовок;

2) соответствие производительности станка годовой программе выпуска деталей, учет типа производства;

3) возможность полного использования станка как по времени, так и по мощности;

4) наименьшая затрата времени на обработку (минимальное станковремя);



- 5) наименьшая себестоимость обработки (ориентировочная или сравнительная);
- 6) наименьшая отпускная цена станка;
- 7) реальная возможность приобретения станка;
- 8) необходимость использования имеющихся станков.

Одновременно с выбором станка надо установить вид станочного приспособления, необходимого для выполнения на данном станке намеченной операции. Если требующееся приспособление является принадлежностью станка (патрон, тиски, люнет и т.п.), то указывают только его наименование. При использовании универсально-сборного приспособления делают соответствующее указание. Если же для данной операции требуется специальное приспособление, то технолог обычно разрабатывает только схему приспособления, то технолог обычно разрабатывает только схему приспособления или указывает только принцип его устройства.

Образец маршрутной карты на изготовление детали представлена в приложении 1.

Технологическая карта применяется для более детальной разработки процесса (в сравнении с маршрутной). Она составляется на каждую деталь, узел. В технологической карте, в отличие от маршрутной, дополнительно предусмотрена разработка операций по участкам, переходам, позициям указываются режимы операций. Технологическая карта охватывает весь процесс изготовления и контроля детали или узла.

Образец технологической карты на изготовление детали представлен в приложении 2.

Операционная карта - технологический документ, содержащий описание технологической операции с расчленением её по переходам и указанием параметров режимов обработки, расчётных норм и трудовых нормативов. В операционной карте выделено место для операционного эскиза где графически отражено состояние заготовки во время выполнения данной операции или перехода.

На этапе разработки операций обработки заготовок требуется решать следующие задачи:

- 1) определить рациональную структуру операции, что позволяет составить или уточнить содержание, последовательность выполнения и возможность совмещения во времени переходов операции;
- 2) выбрать СТО;
- 3) выбирать средства механизации и автоматизации выполнения операции (например, определяют модель оборудования), включая и транспортные устройства для перемещения заготовок;
- 4) назначать и рассчитывают режимы резания;
- 5) определить нормы времени;
- 6) установить настроечные размеры и составляют схемы наладки.

Построение операции — многовариантная задача. Возможные варианты оценивают по производительности и себестоимости. Разрабатывая операцию, стремятся к уменьшению времени выполнения технологической операции (нормы времени). При поточном методе работы время изготовления единицы продукции увязывают с заданной производительностью поточной линии — тактом выпуска.

Выбрать схему построения операции обработки.

Структуру операции механической обработки определяют числом и последовательностью выполнения технологических и вспомогательных переходов. Число объединяемых в операцию переходов зависит от серийности производства, такта выпуска и характеризует степень концентрации или дифференциации переходов.

Степень дифференциации и концентрации операций зависит от серийности производства. Для ТП единичного и мелкосерийного производств характерны операции, построенные по принципу концентрации переходов. По этому же принципу строят ТП в крупном и тяжелом машиностроении с использованием переносных станков.

В условиях крупносерийного и массового производств ТП составлены по принципу дифференциации операций для конвейерных автоматических линий, составленных из простых узкоспециализированных станков, и по принципу кон-

центрации операций для линий, содержащих сложные многошпиндельные автоматы.

В среднесерийном производстве принцип концентрации операций применяют для построения операций обработки на станках с ЧПУ и быстропереналаживаемых агрегатных станках и автоматах, а принцип дифференциации — для переменнo-поточных линий групповой обработки заготовок.

Вспомогательное время  $t_B$  — часть оперативного времени, затрачиваемая на выполнение приемов, необходимых для обеспечения изменения и последующего определения состояния предмета труда. Оно состоит из следующих пяти составляющих:

$$t_B = t_{уст} + t_{упр} + t_{инд} + t_{с.и} + t_{изм},$$

где  $t_{уст}$  — время установки заготовки и съема ее после окончания обработки;  $t_{упр}$  — время на приемы управления станков (время пуска и останова шпинделя станка, а также время на переключения скоростей, изменение направления вращения шпинделя и подачи суппорта, время перемещения суппортов, кареток и других частей станка);  $t_{инд}$  — время индексации (продолжительность перемещения частей станка в новые позиции и их фиксации, время поворота шпиндельных блоков, столов, барабанов, делительных устройств и кондукторов);  $t_{с.и}$  — время смены инструмента при выполнении отдельных технологических переходов в операции (время смены инструмента в патроне при последовательной обработке отверстия сверлом, зенкером, разверткой; время поворота резцовых или револьверных головок);  $t_{изм}$  — время установки инструмента на стружку и время проведения контрольных измерений при работе методом индивидуального получения размеров (например, при автоматизированном контроле размеров шлифуемых шеек валов).

Возможности перекрытия элементов оперативного времени  $t_{оп}$  при совмещении технологических переходов зависят от схемы построения операции. Схемы различают по следующим признакам:

а) по числу одновременно устанавливаемых для обработки заготовок (одноместные и многоместные схемы);

б) по числу участвующих в обработке инструментов (одноинструментальные и многоинструментальные схемы);

в) по последовательности работы инструментов при выполнении операции (последовательная, параллельная и параллельно-последовательная схемы обработки).

Последовательное вступление инструментов в работу или последовательное расположение нескольких заготовок в приспособлении по отношению к направлению движения подачи при обработке характеризует операцию с последовательной обработкой. Одновременная обработка инструментом нескольких поверхностей одной или нескольких заготовок определяет операцию с параллельной обработкой. К параллельно-последовательной обработке относят операции при многоместной обработке заготовок, расположенных в приспособлении в несколько рядов параллельно и перпендикулярно направлению движения подачи.

После определения структуры операции осуществляют проектирование инструментальных наладок в следующей последовательности:

1. Определяют минимальный настроечный размер и допуск на настройку.
2. Составляют варианты плана размещения инструментов в наладке с предварительным расчетом режимов резания и выбором наиболее производительного.
3. Окончательно размещают инструменты в наладке станка и определяют режимы резания.
4. Оформляют схему наладки станка, проводят необходимые расчеты (например, расчет циклов работы станка).
5. Конструируют специальную оснастку для наладки станка (например, конструирование специальных режущих инструментов).

Установленная степень концентрации переходов и схема построения операции влияют на выбор модели технологического оборудования.

Выбрать средства технологического оснащения СТО производства включают технологическое оборудование (в том числе контрольное и испытательное), технологическую оснастку (в том числе приспособления, режущие инструменты и средства контроля), средства механизации и автоматизации производства (в том числе технологические и транспортные роботы). СТО выбирают с учетом типа

производства, вида и программы выпуска изделия, выбранной технологии получения изделий, содержания и схемы построения операций (ГОСТ 14.301-85).

Выбор СТО проводят в три этапа: 1) при определении маршрута изготовления детали устанавливают вид оснащения (группа оборудования, система приспособлений, тип приспособления и инструмента); 2) при разработке содержания операции находят конкретные модели оборудования, конструкции приспособлений, типоразмер инструмента; 3) после выбора схем построения операции, инструментальных наладок и режимов резания проверяют возможность использования найденного объекта СТО для конкретных условий. На каждом этапе возможны варианты решений, что позволяет находить приемлемые и рациональные в итоге варианты технологического оснащения операции механообработки.

Исходными данными для определения группы автоматизированного оборудования являются вид и содержание операции, схема установки заготовки, форма и габаритные размеры заготовки, объем годового выпуска или размер партии деталей. Правила выбора оборудования определены ГОСТ 14.304—85. На первом этапе оборудование выбирают в зависимости от типа производства и предполагаемого уровня его специализации.

Выбирая модель оборудования, следует руководствоваться следующими основными правилами:

- 1) размеры рабочей зоны оборудования должны соответствовать габаритным размерам обрабатываемых заготовок или групп заготовок;
- 2) выбранная модель станка должна обеспечивать заданные точность и качество обрабатываемой поверхности;
- 3) мощность, жесткость и кинематическая схема оборудования должны обеспечивать высокопроизводительные оптимальные режимы обработки;
- 4) требуемая производительность оборудования должна соответствовать заданной программе выпуска изделий.

Необходимо установить режимы резания. Режимы резания определяются глубиной резания  $t$ , подачей  $S$  и скоростью резания  $v$ . Значения  $t$ ,  $S$ ,  $v$  влияют на точ-

ность и качество получаемой поверхности, производительность и себестоимость обработки.

В порядке возрастания влияния на стойкость инструментов составляющие режимов резания располагаются следующим образом:  $t \rightarrow S \rightarrow v$ . Поэтому для одноинструментальной схемы обработки вначале устанавливают глубину резания, а затем подачу и скорость резания.

При обработке поверхности на предварительно настроенном станке глубина резания равна припуску на заданный размер этой поверхности по выполняемому технологическому переходу.

Подача должна быть установлена максимально допустимой. При черновой обработке она ограничивается прочностью и жесткостью элементов технологической системы станка, а при чистовой и отделочной — точностью размеров и шероховатостью обрабатываемой поверхности. Определенная расчетом или по нормативам подача должна соответствовать паспортным данным станка.

Скорость резания зависит от выбранной глубины резания, подачи, качества и марки обрабатываемого материала, геометрических параметров режущей части инструмента и ряда других факторов. Скорость резания рассчитывают по соответствующим формулам теории резания или устанавливают по нормативным данным. Скорость резания в общем виде определяют так:

$$v = A / T_n^m, \quad (3.3.1)$$

где  $A$  — постоянная, характеризующая условия обработки, материал заготовки, глубину резания и подачу;  $T_n$  — стойкость режущего инструмента;  $m$  — показатель стойкости.

Произвести расчеты точности получения размеров, формы, расположения поверхностей. Задачу обеспечения требуемой точности обработки решают в два этапа. На первом этапе определяют такие условия выполнения технологических операций, при которых суммарная погрешность обработки  $\Delta$  не превышает поле допуска  $T$ , т.е.  $\Delta \leq T$ . Кроме того, устанавливают вероятную погрешность формы и расположения поверхностей обрабатываемых заготовок.

Назначение второго этапа — расположить поле погрешности  $\Delta$  в поле допуска  $T$ . Это обеспечивается размерной наладкой технологической системы, которую в отличие от первого этапа выполняют в сфере самого производства. Размерная наладка — это процесс обеспечения требуемого взаимного положения заготовки и инструмента, определенного наладочными размерами.

При определении настроечных размеров наиболее рациональным является такой размер, при котором поле погрешности располагается максимально близко к нижней (для вала) или верхней (для отверстия) границе поля допусков. При этом обеспечивается более полное использование поля допусков на износ инструмента  $\Delta_{\text{и}}$  одновременно с уменьшением числа регулировок инструмента за время его стойкости.

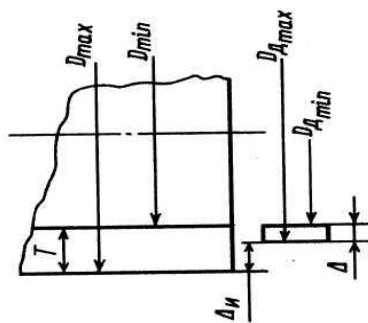


Рис. 3.3.8.1. Положение поля суммарной погрешности обработки  $\Delta$  размеров детали  $\Delta_{\text{Dmax}}$  и  $\Delta_{\text{Dmin}}$  в поле допуска  $T$

Расчет настроечного размера следует выполнять для конкретного выбранного поперечного сечения детали, в котором будут выполнять наладку и контролировать настроечный размер. Целесообразно настроечный размер определять для минимального поперечного сечения детали, в котором будут выполнять наладку и контролировать настроечный размер. Целесообразно настроечный размер определять для минимального поперечного сечения  $I-I$

В общем виде настроечные размеры при наладке по пробным деталям определяют по формулам

$$L_{\text{н.п.д}}^{\text{min}} = L_{\text{min}} + \frac{\Delta_{\text{изм}}}{2} + \frac{\Delta_{\text{рI-I}}}{2} - \left( \frac{\Delta_{\text{I-I}}}{2} - \left| \frac{\Delta_{\text{I-I}}}{2} \right| \right)$$

— для вала и

$$L_{\text{н.п.д}}^{\text{min}} = L_{\text{max}} - \frac{\Delta_{\text{изм}}}{2} - \frac{\Delta_{\text{рI-I}}}{2} + \left( \frac{\Delta_{\text{I-I}}}{2} + \left| \frac{\Delta_{\text{I-I}}}{2} \right| \right)$$

(3.3.2)

— для отверстия.

Здесь  $Z_{\min}$ ,  $L_{\max}$  — минимальный и максимальный предельные размеры соответственно;  $A_{\text{изм}}$  — погрешность изменения размеров пробных деталей;  $A_p$  I-I поле рассеяния размеров пробных деталей (случайная составляющая погрешности размера в минимальном сечении I-I);  $A_{I-I}$  — суммарная погрешность, обусловленная закономерно изменяющимися факторами в минимальном сечении I-I (например, тепловыми деформациями элементов технологической системы).

При наладке по эталону определенный по выше приведенным формулам размер  $L_{\text{н.п.д}}$  должен быть уменьшен (для вала) или увеличен (для отверстия) на значение средних упругих отжатий технологической системы  $y_{I-I}$  в сечении I-I и на высоту микронеровностей  $Rz$ , т.е.

$$L_{\text{н.э.}}^{\min} = L_{\text{н.п.д.}} - (\bar{y}_{I-I} + Rz) \quad \text{— для вала и} \quad (3.3.3)$$

$$L_{\text{н.э.}}^{\min} = L_{\text{н.п.д.}} + (\bar{y}_{I-I} + Rz) \quad \text{— для отверстия} \quad (3.3.4)$$

Определенные значения  $L_{\text{н.э.}}^{\min}$  и  $L_{\text{н.п.д.}}^{\min}$  являются минимальными настроечными размерами. Максимальные значения вычисляют по формулам

$$L_{\text{н.э.}}^{\max} = L_{\text{н.э.}}^{\min} + \Delta_{\text{н.э.}}; \quad L_{\text{н.п.д.}}^{\max} = L_{\text{н.п.д.}}^{\min} + \Delta_{\text{н.п.д.}}, \quad (3.3.5)$$

где  $\Delta_{\text{н.э.}}$  и  $\Delta_{\text{н.п.д.}}$  — погрешность настройки соответственно по эталону и пробным деталям.

Проектирование многоинструментальных наладок связано с необходимостью размерной настройки для нескольких поверхностей с различными требованиями по точности. Настроечный размер следует рассчитывать и проводить наладку оборудования прежде всего для поверхности с наиболее жесткими допусками. Обязательно должны быть назначены настроечные размеры и для других поверхностей, так как иногда обработка этих поверхностей протекает в неблагоприятных условиях, что приводит к появлению брака.

Образец операционной карты на изготовление детали представлен в приложении 3.



В зависимости от условий производства и назначения применяют различные виды и формы ТП. Вид определяется количеством изделий, охватываемых процессом (одно изделие, группа однотипных или разнотипных изделий).

*Единичные* ТП разрабатывают для оригинальных изделий, которые не имеют общих конструктивных и технологических признаков с изделиями, ранее изготавливаемыми на предприятии.

*Унифицированные* ТП создают для группы изделий, характеризующихся общностью конструктивных и технологических признаков. Унифицированные процессы подразделяют на типовые и групповые

*Типовой ТП* характеризуется общностью содержания и последовательности большинства технологических операций группы изделий с общими конструктивными и технологическими признаками.

*Групповой ТП* состоит из комплекса групповых технологических операций и представляет собой процесс обработки заготовок различной формы на специализированных рабочих местах в последовательности изготовления определенной группы изделий. Процесс изготовления может идти при общей наладке и частичных подналадках оборудования для отдельных заготовок из группы. Групповой ТП может состоять из одной групповой операции. Групповая технологическая операция характеризуется общностью используемого оборудования, технологической оснастки и наладки при незначительных подналадках СТО.

*Перспективный ТП* — процесс, соответствующий современным достижениям науки и техники, методы и средства осуществления которого полностью или частично предстоит освоить на предприятии.

*Рабочий ТП* — процесс, выполняемый по рабочей технологической или (и) конструкторской документации. Рабочий ТП разрабатывают только на уровне предприятия для изготовления или ремонта конкретного предмета производства. Рабочие процессы создают по унифицированным, перспективным или единичным ТП, которые используют в качестве информационной базы.

*Комплексный ТП* — процесс, в состав которого включены не только технологические операции, но и операции по перемещению, контролю и очистке обра-

батываемых заготовок. Комплексные ТП разрабатывают при создании автоматических линий и гибких автоматизированных производственных систем.

### **3.3.1 Исходные данные и этапы разработки технологических процессов**

Исходную информацию для разработки ТП подразделяют на базовую, руководящую и справочную.

При разработке ТП для новых заводов или производств базовыми исходными данными являются: рабочий чертеж, на котором указаны материалы, конструктивные формы и размеры детали; технические условия и требования на изготовление детали, определяющие точность и качество обрабатываемых поверхностей; особые требования, оговаривающие, например, твердость отдельных поверхностей детали, структуру материала некоторых участков изделия, виды термической обработки, необходимость балансировки; объем выпуска изделий, который включает количество необходимых для сборки изделия деталей и запасных частей; планируемый интервал времени выпуска изделий и запасных частей. Если выпуск во времени неравномерный, то его указывают по годам или другим периодам времени.

При разработке ТП для действующих или реконструируемых заводов в дополнении к вышеуказанным базовым данным необходимо также располагать сведениями о наличии оборудования, СТО, производственных площадях и других местных условиях.

Разработку ТП выполняют в последовательности взаимосвязанных этапов.

1. Проводят анализ технических требований и условий изготовления изделия на данном предприятии, т.е. устанавливают возможности получения и контроля конструктивных и технологических параметров детали и выявляют технологические задачи.

2. Устанавливают тип производства и методы работы по программе выпуска и планируемому интервалу времени выпуска изделия данной конструкции и технологических признаков.

3. Проводят технологический контроль чертежа детали на соответствие требованиям технологичности для условий данного или проектируемого предприятия.

4. Определяют вид заготовки и метод ее получения.

5. Устанавливают маршруты обработки основных поверхностей заготовки, т.е. последовательность переходов, обеспечивающих получение требуемой по рабочему чертежу точности и качества поверхностного слоя от заготовки до конечных характеристик поверхности.

6. Составляют маршрут изготовления детали с выбором схемы установки, определением последовательности выполнения технологических операций, а при необходимости и операций, например, по транспортированию изделий, а также с выбором типа оборудования и оснастки.

7. Рассчитывают припуски и определяют промежуточные размеры по переходам и исходные размеры заготовок.

8. Проводят завершающие технологические разработки: выбирают схему построения операций; определяют режимы выполнения технологических переходов; проводят расчеты точности получения размеров, формы и расположения поверхностей; выбирают модели технологического оборудования, СТО (например, приспособлений), видов режущих инструментов

9. Определяют технико-экономические показатели созданных возможных вариантов ТП, из которых выбирают наиболее рациональный.

10. Оформляют необходимую для данного типа производства технологическую документацию

### **3.3.2 Анализ технологических требований чертежа, выявление технологических задач и условий изготовления деталей**

Разработке ТП предшествует подробное изучение рабочего чертежа детали и условий ее работы в изделии сборочной единицы. Деталь входит составной частью в изделие, и ее размеры являются звеньями сборочных размерных цепей или оказывают влияние на характеристики качества сборочных сопряжений.

Рабочий чертеж должен давать полное представление о детали, иметь достаточное количество проекций, разрезов и видов; размеры всех поверхностей с допусками на их выполнение; технические требования по форме и расположению поверхностей, а также по их специфическим свойствам (например, твердости поверхностного слоя и его глубине). Чертеж по оформлению должен соответствовать стандартам ЕСКД.

Технические требования на изготовление детали содержат:

предельные отклонения размеров и шероховатости поверхностей;

допуски формы, плоскостности, некруглости и профиля сечения;

допуски расположения, параллельности плоскостей, соосности шеек вала, симметричности профиля сечений;

вид термической обработки и твердость рабочих поверхностей, вид покрытия;

специфические свойства (необходимость балансировки, допустимую неуравновешенность).

При рассмотрении технических требований выявляют технологические задачи получения данной детали. Для этого выделяют наиболее ответственные поверхности, совокупность требований к которым определяет заключительные методы и маршрут обработки, необходимое технологическое оборудование. Специфические требования к изготовлению детали требуют наличия в маршруте обработки соответствующих операций (например, операций по динамической балансировке детали). Анализ технических требований по расположению осей отверстий, плоскостей и других поверхностей деталей устанавливает технологические задачи по выбору поверхностей заготовки для базирования при обработке, схем базирования и закрепления заготовок в операциях, схем выполнения обработки заданного профиля детали, а также типов приспособлений и режущих инструментов.

### **3.3.3 Характер типа производства и методы работы**

Установление типа производства необходимо при разработке ТП для новых производств или заводов. В условиях массового и серийного производств размер программы выпуска изделия служит основой для установления такта, или ритма выпуска продукции, обеспечивающего изготовление заданной программы в срок.

На этапе проектирования тип производства можно определить лишь ориентировочно. При проектировании механических цехов и участков изготовления деталей можно руководствоваться данными табл. 4.1. При известной годовой программе по чертежу детали оценивают размеры изделия, что в итоге позволяет ориентировочно выбрать тип производства заданной продукции.

Серийность производства оценивают также по коэффициенту закрепления операций  $K_{з.о.}$ .

$$K_{з.о.} = O/P \quad (3.3.3.1)$$

Коэффициент закрепления операций является одной из основных характеристик типа производства. В машиностроении различают три типа производства: *массовое, серийное, единичное* (ГОСТ 14.004-83).

*Массовое производство* характеризуется большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых или ремонтируемых продолжительное время, в течение которого на большинстве рабочих мест выполняется одна рабочая операция. Для массового производства  $K_{з.о.} = 1$ .

*Серийное производство* характеризуется изготовлением или ремонтом изделий периодически повторяющимися партиями. В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают крупносерийное, среднесерийное и мелкосерийное производства. Для крупносерийного производства  $1 \leq K_{з.о.} \leq 10$ , для среднесерийного  $10 < K_{з.о.} \leq 20$ , для мелкосерийного  $20 < K_{з.о.} \leq 40$ .

*Единичное производство* характеризуется малым объемом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление и ремонт которых, как правило, не

предусмотрено. Изделия выпускаются широкой номенклатуры в относительно малых количествах и часто индивидуально.

Данные производства по типам относительно. На одном и том же предприятии, осуществляющем, например, серийный выпуск продукции, отдельные цехи могут работать в условиях крупносерийного или даже массового производства.

В машиностроении применяют два метода работы: *поточный* и *непоточный*. Поточный метод наиболее полно реализуется в одноименном производстве. поточное производство характеризуется расположением СТО в последовательности выполнения операций ТП и определенным интервалом выпуска изделий. интервал времени, через который периодически производят выпуск изделий или заготовок определенных наименований, типо-размера и исполнения, называют тактом выпуска  $t_d$ :

$$t_d = 60\Phi_d / N, \quad (3.3.3.2)$$

где  $\Phi_d$  – действующий фонд времени в планируемом периоде (год, месяц, сутки, смена), ч;  $N$  – объем выпуска за этот же период, шт.

действительный фонд времени работы оборудования учитывает потери времени на ремонт оборудования и этим отличается от номинального (календарного) фонда времени.

Номинальный годовой фонд времени работы оборудования составляет 2070 ч. Для работы в одну смену, 4140 ч. для двух смен и 6210 ч. для трех смен. действительный годовой фонд времени работы оборудования для одной, двух и трех смен составляет соответственно 2030, 4015 и 5965 ч. номинальный фонд времени для рабочих составляет 2070 ч., а действительный – 1860 ч. (при 15-дневном отпуске).

**Таблица 3.3.3.1. Количество изготавливаемых в год деталей одного наименования и типоразмера для различных производств**

Тип про-	Крупные тяжелого строения	Изде- них	Мел-
Единиц-	<5	< 10	< 100
Мелкосе-	5 - 100	10- 200	100 -
Средне-	100 - 300	200 -	500 -
Крупно-	300 - 1000	500 -	5000 -
Массовое	1000	5000	50000

Значение коэффициента  $K_{30}$  на этой стадии разработки процессов обработки вычисляют по формуле

$$K_{3.0} = t_d / t_m,$$

где  $t_d$  — такт выпуска, определяемый по формуле;  $t_m$  — среднее штучное время по операциям.

Для нахождения  $t_m$  нужно либо выполнить нормирование по укрупнённым нормам (см. гл. 1), либо использовать данные по трудоемкости существующей на производстве аналогичной детали. Среднее штучное время рассчитывают по формуле

$$t_{ш} = \sum_1^n t_{ши} / n, \quad (3.3.3.4)$$

где  $t_{mi}$  — штучное время  $i$ -й операции изготовления детали;  $n$  — число основных операций в маршруте.

При вычислении  $t_{ш}$  следует брать в расчет лишь основные операции, исключая, например, операции термообработки, зачистки заусенцев, маркирования и промывки детали. Кроме того, если отдельные операции в маршруте имеют  $t_{ui}$  значительно превышающее  $t_d$ , и их выполняют на нескольких станках-дублерах, например операции получения зубчатого профиля, то при определении  $t_{ш}$  для таких операций в качестве  $t_{ui}$  следует взять значение  $t_d$ , так как иначе может быть получено завышенное среднее штучное время для операций разрабатываемого процесса.

По значению  $K_{зо}$ , можно принять решение о типе производства. Если, например,  $K_{зо}$  лежит в пределах от 1 до 2, то ориентировочно можно принять массовое производство.

Решение по типу производства, установленное с помощью коэффициента  $K_{зо}$ , сравнивают с типом производства, выбранным по табл. 3.3.3.1. При несовпадении решений следует принять тип производства, выбранный по коэффициенту закрепления операций.

Кроме типа производства для проектирования ТП необходимо установить еще и метод работы. На современных предприятиях изготовление основных деталей производят поточным методом, при котором СТО располагают в последовательности выполнения операций ТП со специализацией рабочих мест.

Поточные линии объединяют все рабочие места в единый производственный механизм. Бесперебойную работу линии обеспечивают:

а) тщательно разработанной технологией производства изделий, с ритмичной работой всех звеньев в соответствии с тактом выпуска  $t_d$ ;

б) планомерным питанием рабочих мест заготовками, для чего организуют межоперационные запасы (заделы) заготовок для случаев вынужденной остановки отдельных станков линии;

в) перемещением обрабатываемых заготовок от одного рабочего места к другому в последовательности выполнения операции вручную (например, тележками) либо транспортирующими механизмами (например, конвейером).

При коэффициенте загрузки рабочих мест  $K_{з.о.} > 0,6$  принимают поточный метод работы. При разработке ТП для поточных линий необходимо установить тип линии (непрерывная, прямоточная, переменнo-поточная, групповая), последовательность обработки деталей на линии, степень технологической специализации и способы переналадки рабочих мест.

### **3.3.4 Технологичность конструкции деталей машин**

Требуется изложить параметры технологичности конструкции детали. В процессе разработки конструкции детали требуется придать ей не только необхо-



димые свойства, выражающие полезность будущего изделия, но и свойства, определяющие уровень затрат ресурсов на его создание, изготовление, техническое обслуживание и ремонт.

Совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ, представляет собой *технологичность конструкции изделия* (ТКИ).

ТКИ выражает не функциональные свойства изделия, а его конструктивные особенности: состав и взаимное расположение его узлов; форму и расположение поверхностей деталей и соединений; их состояние, размеры, материалы и т.д. В свою очередь конструктивное исполнение изделия во многом определяет такие его свойства, как функциональность (способность изделия реализовывать основную функцию для достижения заданного технического эффекта), надежность, эргономичность, эстетичность, экономичность, безопасность и экологичность.

ТКИ на виды и разновидности подразделяют по трем признакам: методу воздействия на конструкцию изделия, области проявления ТКИ и виду затрат.

По методу воздействия на конструкцию изделия различают преемственность и технологическую рациональность конструкции изделия, выражающие ее техническую сущность.

*Преемственность* конструкции изделия представляет собой совокупность тех свойств изделия, которые выражают технологичность его конструкции с позиции единства повторяемости и изменяемости принятых в ней инженерных решений. При этом различают *конструктивную и технологическую* преемственность конструкции изделия.

*Технологическая рациональность* конструкции изделия представляет собой совокупность тех свойств изделия, которые выражают технологичность его конструкции с позиции соответствия принятых конструктивных решений условиям производства, эксплуатации и ремонта.

Уровень технологической рациональности конструкции изделия регулируют посредством целесообразного по условиям производства, эксплуатации и ремон-

та выбора состава конструктивных элементов, материалов, схем соединений составных частей изделия и т.п.

В зависимости от производимых затрат показателями ТКИ являются *трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость и хроноёмкость*. Они выражают ее экономическую сущность, которая проявляется в одной или нескольких конкретных областях. Как виды ТКИ трудоемкость, материалоемкость и энергоемкость изделия представляет собой свойства его конструкции, определяющие соответствующие затраты ресурсов (труда, материалов и энергии) при производстве, эксплуатации и ремонте для заданных показателей качества изделия, объема его выпуска и условий выполнения работ.

*Оценка* ТКИ подразумевает комплекс взаимосвязанных мероприятий, включающих последовательное выявление ТКИ в целом или отдельных рассматриваемых ее свойств, сопоставление выявленных свойств данного изделия со свойствами изделия, конструкция которого принята в качестве базы для сравнения, и представление результатов сопоставления в форме, приемлемой для принятия управленческих решений по совершенствованию конструкции разрабатываемого изделия.

В зависимости от используемых методов различают качественную и количественную оценку ТКИ.

*Качественная оценка* ТКИ основана на инженерно-визуальных методах оценки по отдельным конструктивным и технологическим признакам для достижения высокого уровня ТКИ.

*Количественная оценка* ТКИ основана на инженерно-расчетных методах, посредством которых определяют и сопоставляют расчетным путем численные значения показателя ТКИ проектируемого изделия  $K$  и соответствующего показателя  $K_6$  конструкции изделия, принятой в качестве базы для сравнения.

Результатом количественной оценки ТКИ является формирование целевой функции  $Z$  и алгоритма обеспечения ТКИ, пригодных для принятия решений по совершенствованию конструкции изделия. Наиболее распространены методы абсолютной, относительной и разностной оценки ТКИ, т.е. оценки, выполняемой по результатам вычисления абсолютного показателя ТКИ соответственно:

$$K=(K_1, K_2, \dots, K_N);$$

$$K_y=K/K_6;$$

$$\Delta K'=\left| K-K_6 \right|; \Delta K''=\left| 1-K_y \right|.$$

Целевая функция обеспечения ТКИ  $Z_a$ ,  $Z_c$ ,  $Z'_p$  и  $Z''_p$  для рассматриваемых случаев ее количественной оценки соответственно имеет вид

$$K \rightarrow K_6; K_y \rightarrow 0; \Delta K' \rightarrow 0; \Delta K'' \rightarrow 0.$$

Показатели ТКИ подразделяются на виды в зависимости от исходного признака. Все их многообразие можно свести к приведенным ниже семи группам показателей:

- 1) технологической рациональности конструкции изделия;
- 2) преемственности конструкции изделия;
- 3) ресурсоемкости изделия (по одной или нескольким областям проявления ТКИ);
- 4) производительности ТКИ;
- 5) эксплуатационной ТКИ;
- 6) ремонтной ТКИ;
- 7) общей ТКИ.

По значимости для оценки различают основные и дополнительные показатели. *Основные показатели* характеризуют наиболее важные, самые существенные свойства, входящие в ТКИ, и, как правило, выражающее ее в целом. Это трудоемкость, материалоемкость, энергоемкость, продолжительность изготовления (эксплуатации, ремонта), себестоимость изделия.

*Дополнительные показатели* характеризуют технологическую рациональность и преемственность конструкции изделия применительно к отдельным областям проявления ТКИ. Дополнительные показатели позволяют эффективно и целенаправленно совершенствовать конструкцию в процессе проектирования для последующего улучшения основных показателей ТКИ.

Представить технологические требования к конструкции деталей машин. Общие технологические требования к конструкции деталей машин конфигурация детали должна представлять собой сочетание простых геометрических форм, обеспечивающих удобную, надежную базу для установки заготовки в процессе ее

обработки и дающих возможность применения высокопроизводительных технологических методов изготовления.

Охарактеризовать заготовки, получаемые методами литья. Для обеспечения технологичности конструкции отливок и необходимо прежде всего учитывать выбранный способ литья, исходные механические и эксплуатационные свойства, влияющие на уровень производственных и эксплуатационных затрат. Отливки должны иметь очень близкую к очертаниям готовых деталей конфигурацию, минимальные припуски на механическую обработку и малую шероховатость поверхности. Конструкция заготовки должна иметь простое внешнее очертание (без резких углов, поворотов, высоких ребер и выступов), а также минимальное число внутренних плоскостей; обеспечивать направленное затверждение металла и достаточную сопротивляемость усадочным и термическим напряжениям; предусматривать технологические уклоны, обеспечивающие легкое извлечение модели из формы или стержня из них; иметь стенки оптимальной толщины, удовлетворяющей условиям заливки металла в соответствии с выбранным способом литья; обеспечивать технологичность моделей, а также возможность изготовления и применения простой и дешевой технологической оснастки. Для обеспечения технологичности заготовок деталей изготовление которых предусматривает операции обработки резанием необходимо следующее:

1) сокращать объем механической обработки резанием, уменьшая протяженность обрабатываемых поверхностей; предусматривать допуски только на размеры поверхностей с сопряжением (рис. 3.3.4.1, а); стремиться к применению более точных заготовок, что также значительно уменьшает объем обработки резанием;

2) обеспечивать удобные и надежные технические базы для установки заготовок в процессе их обработки, предусматривая при этом возможность совершения технологических измерений без баз, а также соблюдение принципа постоянства баз;

3) предусматривать возможность удобного и надежного закрепления заготовки на станке; повышать жесткость заготовки, что уменьшает ее деформацию от сил резания и закрепления, позволяет увеличить режим резания и одновременно использовать несколько режущих инструментов путем совмещения технологических переходов в процессе обработки;

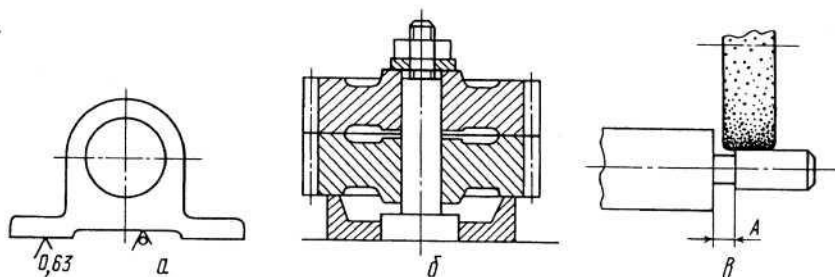


Рис. 3.3.4.1. Примеры улучшения конструкторского оформления деталей машин

4) предусматривать возможность удобного подвода высокопроизводительного режущего инструмента к обрабатываемым поверхностям, сокращать путь вращения инструментов и уменьшать вспомогательное время предусматривая конструкции, допускающие возможность одновременной установки нескольких установок для обработки (рис. 3.3.4.1, б); для обработки на проход предусматривать выход режущего инструмента (рис. 3.3.4.1, в, размер А);

5) обеспечивать выбором измерительных баз и системы простановки размеров наибольшее удобство, надежность и производительность контроля, возможность применения простых по конструкции контрольно-измерительных инструментов и приспособлений, а также проверки нескольких размеров детали при одной ее установки; недопустима простановка размеров, проверка которых связана с выполнением подсчетов и косвенных методов контроля;

б) максимально использовать унифицированные элементы, формы деталей (резьбы, канавки, выточки, модулей, размеры шлицев, шпоночных пазов и т.д.), так как унификация элементов деталей и их размеров создает предпосылки для унификации применяемого при изготовлении деталей режущего и измерительного инструмента, а также необходимого инструмента при их техническом обслуживании и ремонте.

### 3.3.5 Выбор заготовок и методов их изготовления

Дать основные понятия и общие положения о заготовках. *Заготовка* – это предмет производства, из которого изменением формы и размеров, свойств материала и шероховатости поверхности изготавливают деталь или неразъемную сборочную единицу – узел.

Выбрать заготовку – это значит определить ее рациональный вид, определяющий конфигурацию заготовки, напуски, уклоны, толщину стенок, размеры отверстий, припуски на обработку, размеры заготовки, допуски на точность их выполнения, назначить технические условия на выполнение заготовки и выбрать оборудование.

Конфигурация заготовки вытекает из конструкции детали и определяется ее размерами и материалом, условиями работы детали в машине с учетом статистических, динамических, температурных и других нагрузок.

1. Технологическая характеристика материала, его свойства, определяющие возможность применения литья, пластической деформации, сварки, порошковой металлургии.
2. Физико-механические свойства материала в процессе формоизменения. С целью их повышения в процесс вводят методы, обеспечивающие изготовление поковок с мелкозернистой и направленной волокнистой структурой; создают направленную кристаллизацию путем охлаждения форм; вакуумируют расплавы; используют комбинированные заготовки, позволяющие изготавливать нагруженные элементы конструкций из легированной стали; применяют другие мероприятия, вызывающие структурные изменения материала заготовки.
3. конструктивные формы, размеры детали, ее масса. В процессе отработки детали на технологичность, конструктивные формы упрощают для реализации выбранного метода изготовления исходной заготовки; проверяют соответствие напусков, уклонов, сопряжений, толщин стенок, правильность выбора разъемов штампов и форм. Основная цель при этом - возможность беспрепятственного заполнения металлом формы

или штампа с последующим легким извлечением заготовки. При этом руководствуются ГОСТ 2665-85 для отливок и ГОСТ 7505089 для поковок.

4. объем выпуска. В единичном и мелкосерийном производствах в качестве заготовок применяют отливки, изготовленные в песчано-глинистых формах, полученные ковкой, и заготовки из горячекатаного проката. Все они имеют большие припуски и напуски. Стоимость материала заготовки составляет до 50 % себестоимости детали.

В крупносерийном и массовом производствах применяют заготовки, изготовленные специальными методами, которые уменьшают припуски на механическую обработку в среднем на 25...30%.

5. Наличие технологического оборудования, литейного, кузнечного, сварочного и других производств, возможность получения заготовок от специализированных заводов по кооперации.

Дать характеристику выбора заготовок, его последовательность. В производственных условиях заготовительного и механического цехов могут встретиться с ситуацией, когда выбор заготовки predetermined, т.е. метод изготовления заготовки определенного вида производства задан конструктором.

Вторая ситуация, когда выбор заготовки конструктор оставляет за технологом.

Первая ситуация характерна для массового, крупносерийного производства, вторая – для единичного, мелкосерийного и серийного.

Имея чертеж исходной заготовки, чертеж детали с указанием ее конфигурации, размеров, материала, технических условий, данные по объему выпуска, нормативные материалы, заготовку выбирают в следующей последовательности: процесс, метод, оборудование. Основой процесса является принятый метод изготовления заготовки. Структура процесса, его содержание определяется степенью сложности изготавливаемой заготовки и соответственно требует применения одного или нескольких методов для его выполнения.

Выбор оптимального варианта изготовления исходной заготовки на основе системного анализа и критериев по массе заготовки, трудоемкости, себестоимости

сти, комплексным и другим критериям, характеризующим весь производственный цикл изготовления детали.

Представить описание наиболее рационального метода получения заготовок.

Метод литья в песчано-глинистые формы применяют для всех литейных сплавов, типов производств, заготовок любых масс, конфигураций и габаритов. В общем объеме производства отливок литьем в песчано-глинистые формы получают 80 % всех отливок и лишь 20 % отливок производят специальными методами литья. Он отличается технологической универсальностью и дешевизной. Изменяя способы формовки, материалы моделей и составы формовочных смесей, заготовки изготавливают с заданной точностью и качеством поверхностного слоя. Метод отличается большим грузопотоком формовочных и вспомогательных материалов, для него характерны большие припуски на механическую обработку, в стружку уходит 15...25 % металла от массы заготовки.

Литьем в оболочковые формы получают заготовки сложной конфигурации: коленчатые и кулачковые валы, ребристые цилиндры, крыльчатки. Часть поверхностей заготовок не требует механической обработки. Ко времени затвердевания металла форма легко разрушается, не препятствуя усадке металла, остаточные напряжения в отливке незначительные. Расход формовочных материалов меньше в 10...20 раз, чем при литье в песчано-глинистые формы. В то же время работа с горячими металлическими моделями представляет определенную сложность, является дорогой.

Литье по выплавляемым моделям - метод для изготовления сложных и точных заготовок из труднодеформируемых и труднообрабатываемых сплавов с высокой температурой плавления. Применение заготовок, полученных литьем по выплавляемым моделям, вместо штампованных снижает расход металла до 55...75 %, трудоемкость механической обработки до 60 % и себестоимость детали на 20 %.

Литье в металлические формы (кокиль). Сущность процесса заключается в многократном применении металлической формы. Стойкость кокилей зависит от технологических факторов: температуры заливки металла, материала кокиля, размеров, массы и конфигурации отливки. Особенностью формирования отливок в кокиль является большая интенсивность теплообмена между отливкой и формой.



Быстрое охлаждение расплава снижает жидкотекучесть, поэтому толщина стенок при литье в кокиль значительная. Для алюминиевых и магниевых сплавов она составляет 3...4 мм, для чугуна и стали 8... 10 мм. Металл отливки имеет мелкозернистую структуру, его физико-механические свойства на 15...30 % выше, чем у песчаных отливок. Метод полностью устраняет пригар, увеличивает выход годных заготовок до 75...95 %. Процесс исключает трудоемкие операции формовки, сборки и выбивки форм, легче автоматизируется.

Литье под давлением обеспечивает получение заготовок, близких по форме к готовой детали, с высокой точностью и шероховатостью поверхности. Этим методом производят сложные тонкостенные отливки из цветных сплавов (алюминия, магния, цинка, меди). Сочетание в процессе литья металлической формы и давления на жидкий металл позволяет получать отливки с прочностью на 15...20 % большей, чем при литье в песчано-глинистые формы. Механической обработке подвергают только посадочные места и поверхности сопряжения.

Центробежное литье. Характерной особенностью метода является утяжеление частиц под действием центробежных сил при заливке и затвердевании. Это улучшает питание отливок, однако химическая неоднородность (ликвация) у таких заготовок выражена более ярко, чем у других. Этим методом получают заготовки типа тел вращения: втулки, гильзы цилиндров, диски, трубы из чугуна, сталей, твердых сплавов и цветных металлов.

Штамповка жидкого металла — разновидность литья под давлением. Сущность метода состоит в том, что жидкий металл подается в металлическую форму, где под давлением пуансона происходит его уплотнение.

Указать особенности обработки давлением. Ковка является универсальным методом производства поковок на молоте или прессе. Ковкой получают заготовки для самых разнообразных деталей массой от 10 г до 350 т с допусками от  $5^{+1}_{-2}$  до  $34 \pm 10$  мм (ковка на молотах) и от  $10 \pm 3$  мм до  $80 \pm 30$  мм\*<sup>2</sup> (ковка на прессах). Для уменьшения расхода металла при ковке заготовок партиями 30...50 шт. применяют кольца и подкладные штампы.

Горячая объемная штамповка — основной способ получения заготовок для ответственных деталей массой от 0,5 до 20...30 кг. Поковки массой в 100 кг для

объемной штамповки считаются крупными. В зависимости от типа применяемого штампа различают штамповку в открытых или закрытых штампах, а также в штампах для выдавливания (рис. 4.21). В зависимости от применяемого оборудования штамповку подразделяют на штамповку на молотах, прессах, КГШП, ГКМ, гидравлических прессах, а также на специальных машинах.

Холодной объемной штамповкой получают заготовки с высокими физико-механическими свойствами благодаря холодному течению металла в штампе. Точность размеров соответствует 12-му... 15-му квалитетам и выше, шероховатость  $Ra = 5... 10$  мкм достигается высадкой на прессах автоматах производительностью сотни заготовок в час.

Прокаткой получают заготовки, которые непосредственно применяют для изготовления деталей на металлорежущих станках. Штучные заготовки из проката используют для производства поковок и штамповок.

Товарные заготовки, сортовые и фасонные профили общего, отраслевого и специального назначения, трубный и листовой прокат, гнутые и периодические профили, специальный прокат представляют собой широкий выбор исходных заготовок, обеспечивая экономию металлов и энергии на этапе заготовительных процессов.

Комбинированные методы применяют для изготовления крупных и сложных заготовок ответственных машин: станин крупных прессов и станков, корпусов паровых турбин низкого давления, сложных по конструкции корпусов. Такие заготовки разделяют на отдельные простые элементы, которые отливают, штампуют, вырезают газовой резкой или другими методами, обрабатывают по сопрягаемым поверхностям и соединяют сваркой в одну крупную и сложную заготовку.

Методом порошковой металлургии изготавливают заготовки различных составов со специальными свойствами. Применение метода для производства заготовок конструкционного назначения оправдано лишь значительным эффектом. Технология получения заготовок методом порошковой металлургии включает следующие основные этапы: подготовку порошков исходных материалов, прессование заготовки из подготовленной шихты в специальных пресс-формах; терми-

ческую обработку, обеспечивающую окончательные физико-механические свойства материала.

### 3.3.6 Расчет припусков размеров исходной заготовки и заготовки по переходам обработки

Представить классификацию припусков. При обработке резанием заданные чертежом форма, геометрические размеры и параметры качества поверхностного слоя (шероховатости, волнистости и т.д.) получают за один или несколько переходов обработки. При этом на каждом переходе механической обработки с элементарной обрабатываемой поверхности в виде стружки снимается слой материала. Толщину этого удаляемого слоя называют припуском на обработку и обозначают буквой  $Z$ . Смежные технологические переходы принято так: выполняемый  $i$ , предшествующий  $i-1$ . Припуск является случайной величиной, т.е. имеет разные значения в разных точках элементарной поверхности заготовок.

Различают промежуточные и общие средние припуски на обработку. *Промежуточный средний припуск*  $\bar{Z}_i$  — это слой материала, удаляемый при выполнении 1-го технологического перехода.

Наибольшие и наименьшие размеры заготовок на предшествующем переходе определяют по формулам

$$\begin{aligned} H_{i-1 \max, \min} &= \bar{H}_{i-1} \pm 0,5TH_{i-1}; \\ h_{i-1 \max, \min} &= \bar{h}_{i-1} \pm 0,5Th_{i-1}. \end{aligned} \quad (3.3.7.1)$$

Промежуточный припуск всегда указывают на сторону. Например, припуск на номинально цилиндрическую поверхность — радиус  $R$  — равен  $\bar{Z}_i(R_i)$ ; припуск на диаметр  $D_i$  равен двум припускам на радиус, т.е.  $2\bar{Z}_i(R_i)$ .

*Общим средним припуском*  $Z_0$  называют толщину слоя материала, удаляемого с элементарной поверхности при выполнении всей совокупности технологических переходов, т.е. всего процесса обработки данной элементарной поверхности от исходной заготовки до детали. Общий средний припуск  $\bar{Z}_0$  при использовании на

всех переходах фиксированного способа установа заготовки определяют либо как разность средних размеров исходной заготовки и детали, либо как сумму средних промежуточных припусков:

$$\bar{Z}_0 = \bar{H}_0 - \bar{H}_{i=n}; \quad \bar{Z}_0 = \bar{h}_{i=n} - \bar{h}_0;$$

$$\bar{Z}_0 = \sum_i^n \bar{Z}_i, \quad (3.3.7.2)$$

где  $H_0, h_0$  — средний размер элементарной поверхности исходной заготовки ( $i = 0$ ) соответственно для наружной и внутренней поверхности;  $H_{i=n}, h_{i=n}$  — средний размер элементарной поверхности детали ( $i = n$ ) соответственно для наружной и внутренней поверхности;  $n$  — число переходов обработки данной поверхности.

Припуск всегда ассиметричен, так как при обработке номинально цилиндрических поверхностей или при двусторонней обработке поверхностей (например, фрезерованием, шлифованием) в реальных условиях с разных сторон всегда удаляется разный слой материала.

Припуск не является параметром режима обработки. Как известно, режим обработки определяется только тремя параметрами: глубиной резания  $t$ , подачей  $S$  и скоростью резания  $v$ . Припуск — это важнейший технологический параметр, имеющий в механической обработке весьма существенное научно-теоретическое и технико-экономическое практическое значение. Зная припуск, определяют размеры исходной заготовки и заготовки по технологическим переходам обработки. При обработке номинально цилиндрических поверхностей в этих соотношениях размеры  $H$  и  $h$  принимают равными радиусами  $R$  и  $r$  (для наружной и внутренней поверхности соответственно). Припуск на диаметры  $D$  и  $d$  равен  $2\bar{Z}_i(R_i)$  и  $2\bar{Z}_i(r_i)$  соответственно (рис. 3.3.7.2)

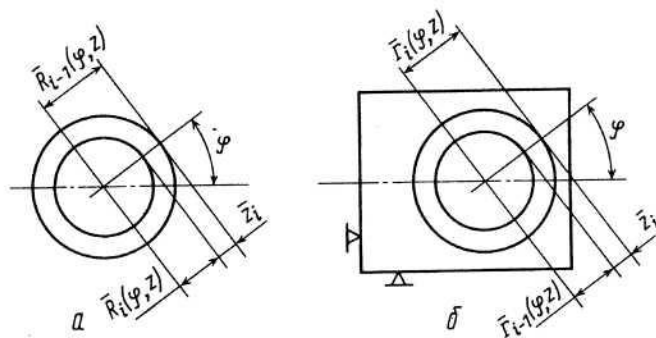


Рис3.3.7.2. Средний промежуточный припуск (на сторону) при обработке наружной поверхности (а) и внутренней цилиндрической поверхности (б)

Точный расчет размеров заготовки можно выполнить только при установлении оптимальных (рациональных) припусков на обработку поверхностей на всех этапах изготовления детали. Это является одной из основных задач технологии машиностроения, а теория припусков является одним из основополагающих разделов проектирования процессов механической обработки.

Назначенный припуск может быть признан оптимальным, если он обеспечивает:

1) удаление с установленной в рабочей зоне заготовки всех отклонений геометрических параметров обрабатываемой поверхности (размера, формы, расположения поверхности относительно технологической базы, высотных параметров волнистости и шероховатости поверхности), а также дефектного поверхностного слоя;

2) получение заданных геометрических параметров без следов "черноты", т.е. следов от предшествующей обработки;

3) минимально необходимый снимаемый слой материала.

Указать методы определения припусков. *Опытно-статистический метод* дает наименее точный результат, так как основан на \ использовании данных, которые описывают прошлый, быстро стареющий опыт. При применении опытно-статистического метода чаще всего устанавливают общий припуск, т.е. припуск на всю совокупность технологических переходов механической и химико-термической обработки поверхности.

*Расчетно-аналитический метод* предполагает, что при анализе различных условий обработки установлены основные факторы, определяющие промежуточный припуск. Так, минимальный припуск на диаметр цилиндрической поверхности вычисляют по формуле

$$2Z_{i \min} = 2 \left[ (Rz + h)_{i-1} + |\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\epsilon}_{yi}| \right], \quad (3.3.7.3)$$

где  $Rz_{i-1}$  — высотный параметр шероховатости элементарной обрабатываемой поверхности;  $h_{i-1}$  — глубина дефектного поверхностного слоя;  $\bar{\rho}_{i-1}$  — суммарное

значение пространственных отклонений, оставшихся от предшествующей обработки (векторная величина для цилиндрических поверхностей);  $\bar{\epsilon}_{yi}$  — погрешность установки заготовки на выполняемом переходе (векторная величина для цилиндрических поверхностей).

При обработке поверхностей вращения векторы  $\bar{\rho}_{i-1}$  и  $\bar{\epsilon}_{yi}$  могут принимать любое угловое положение, предвидеть которое заранее не представляется возможным. Поэтому в целях получения наиболее вероятного суммарного значения сложение векторов следует производить по правилу квадратного корня

$$|\bar{\rho}_{i-1} + \bar{\epsilon}_{yi}| \approx \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_{yi}^2}. \quad (3.3.74)$$

Но при обработке плоскостей принимают, что векторы направлены перпендикулярно обрабатываемой плоскости, поэтому

$$Z_{i \min} = (Rz + h)_{i-1} + \rho_{i-1} + \epsilon_{yi}. \quad (3.3.7.5)$$

*Вероятностно-статистический метод* определения припусков является дальнейшим развитием расчетно-аналитического метода, однако в основу исследования факторов и расчета припусков и размеров заготовок в нем положен вероятностный подход, что более оправдано теоретически и дает более близкий к практике результат.

### 3.3.7 Техничко-экономические показатели разрабатываемого технологического процесса

ТП изготовления каждой детали можно разработать в нескольких вариантах, обеспечивающих выполнение заданных технических условий. Наиболее приемлемый вариант выбирают, сопоставляя технико-экономические показатели, характеризующие сравниваемые варианты. Выбор показателей по степени их полноты и значимости зависит от того, на каком этапе сопоставляют варианты ТП. На первых этапах проводят предварительную оценку вариантов, которая позволяет по внешним признакам эффективности (снижение материалоемкости, трудоемкости обработки и т.п.) отобрать наиболее приемлемый.

На этапе выбора заготовки в качестве показателей предварительной оценки используют:

1) коэффициент использования материала

$$K_{и.м} = m_d/m_z, \quad (3.3.8.6)$$

где  $m_d$ ,  $m_z$  — масса детали и заготовки. При технически равнозначных методах выбирают тот, где значение коэффициента использования материала выше. Для повышения  $K_{и.м}$  необходимо приближать форму заготовки к конфигурации готовой детали, повышать точность ее изготовления и улучшать качество поверхностного слоя.

2. Снижение материалоемкости

$$\Delta M = (m_{з.б} - m_{з.н})B, \quad (3.3.8.7)$$

где  $m_{з.н}$ ,  $m_{з.б}$  - соответственно масса заготовки при новом и базовом (сравниваемом) варианте;  $B$  — объем выпуска деталей, шт. Значимость показателя  $\Delta M$  возрастает при значительном увеличении объема выпуска деталей при разработке нового ТП.

На этапе разработки технологической операции используют следующие показатели:

1. Коэффициент основного времени

$$\eta_o = t_o/t_{ш}. \quad (3.3.8.8)$$

Чем выше значение  $\eta_o$ , тем производительнее используется станок. Коэффициент может быть применен и для оценки всего процесса в комплексе. Тогда  $\eta_o$  будет представлять собой отношение суммарного основного времени по всем операциям обработки к сумме штучных времен по всем операциям. 2. Трудоемкость механической обработки детали

$$T_d = \sum_{i=1}^n t_{ш}^i, \quad (3.3.8.9)$$

где  $n$  — число операций в данном ТП. В серийном производстве определяют трудоемкость изготовления партии деталей

$$T_n = t_{п.з} + t_{ш}n_d,$$

где  $t_{n3}$  — подготовительно-заключительное время;  $я_d$  — число деталей в партии.

Для различных заготовок или изделий, существенно отличающихся по массе, имеется определенная взаимосвязь между трудоемкостью и массой:

$$T_{д.н} = T_{д.б} \sqrt[3]{(m_{з.н} / m_{з.б})^2}, \quad (3.3.8.10)$$

где  $T_{д.н}$ ,  $T_{д.б}$  — соответственно трудоемкость изготовления детали по новому и базовому маршруту;  $m_{з.н}$ ,  $m_{з.б}$  — масса заготовки при новом и базовом (сравниваемом) варианте. 3. Сокращение нормы времени на операцию

$$H_{вр} = \frac{t_{ш1} - t_{ш2}}{t_{ш1}} \cdot 100\%; \quad H_{вр} = \frac{T_{парг1} - T_{парг2}}{T_{парг1}} \cdot 100\%, \quad (3.3.8.11)$$

где  $t_{ш1}$ ,  $t_{ш2}$  — нормы штучного времени в сравниваемых вариантах;  $T_{парг1}$ ,  $T_{парг2}$  — трудоемкость изготовления партий деталей в сравниваемых вариантах.

#### 4. Рост производительности труда

$$П = 100H_{вр} / (100 - H_{вр}). \quad (3.3.8.12)$$

Перечисленные выше относительные показатели используют на первых этапах разработки ТП. Самостоятельного значения для оценки технологических вариантов они не имеют.

На завершающем этапе разработки ТП проводят полную оценку вариантов путем сравнения себестоимости обработки заготовок, отражающей затраты живого и овеществленного труда.

Существует два основных метода определения себестоимости: бухгалтерский и метод прямого калькулирования (поэлементный).

При бухгалтерском методе себестоимость изготовления детали определяют по формуле

$$C = M_o + Z_o + Ц, \quad (3.3.8.13)$$

где  $M_o$  — стоимость основных материалов или исходной заготовки за вычетом стоимости реализуемых отходов;  $Z_o$  — заработная плата основных производственных рабочих;  $Ц$  — цеховые расходы, связанные с амортизацией и ремонтом оборудования, а также с затратами на силовую электроэнергию режущий измери-



тельный, вспомогательный инструмент и приспособления,\* на заработную плату вспомогательных рабочих цеха (инструментальная группа, ремонтные рабочие и т.п.) инженерно-технических работников, управленческого и обслуживающего персонала цеха и т.д.

Цеховые расходы при калькулировании себестоимости определяют в процентах от заработной платы основных рабочих цеха; тогда себестоимость (текущие затраты) можно выразить так:

$$C = M_o + Z_o \left( 1 + \frac{Ц}{100} \right), \quad (3.3.8.14)$$

где  $Ц$  — процент цеховых (накладных) расходов. Процент накладных расходов зависит от типа, степени автоматизации и организационной структуры производства и изменяется в широких пределах.

Такой метод прост, но не пригоден для сравнения вариантов, так как не позволяет выделить составляющие цеховых расходов. Его можно использовать при приближенном определении себестоимости однородной продукции цеха, изготавливаемой на оборудовании и оснастке, одинаковых по степени сложности и размерам.

Наиболее точным является метод прямого расчета всех составляющих себестоимости. В этом случае полную себестоимость продукции определяют по формуле

$$C = M_o + Z_o + Z_e + A_o + И + A_{m.o} + Л + P_o + П + P \quad (3.3.8.15)$$

где  $Z_e$  — заработная плата вспомогательных рабочих;  $A_o$  — амортизационные отчисления от стоимости оборудования;  $И$  — затраты на инструмент и малоценные приспособления;  $A_{m.o}$  — амортизационные отчисления от\* стоимости технологического оснащения;  $Л$  — затраты на энергию для технологических целей;  $P_o$  — затраты на ремонт оборудования;  $П$  — затраты на амортизацию и содержание производственных площадей;  $P$  — затраты на ремонт и обслуживание управляющих устройств и программ (для станков с ЧПУ).

Метод прямого расчета себестоимости трудоёмок. При сопоставлении разрабатываемых вариантов допустимы приближенные расчеты. Так, при сопоставлении вариантов можно ограничиться учетом изменений первых пяти статей расхо-

дов, составляющих наибольшую долю в себестоимости продукции. Остальные затраты учитывают тогда, когда применение разрабатываемого нового варианта приводит к значительному их изменению. Далее себестоимость обработки детали рассчитывают по тем статьям затрат, которые изменяются в сравниваемых вариантах, т.е. по технологической себестоимости. Сократить трудоемкость расчета себестоимости можно также, применив так называемый нормативный метод расчета.

При этом методе расчета используют таблицы, в которых указаны периодически корректируемые расходы по всем элементам себестоимости, приведенные к одному часу или минуте работы станка. Расчет себестоимости сводится к выбору из этих таблиц расходов по каждому элементу, суммированию их и умножению полученной суммы на штучное время проектируемой операции.

Сравнение вариантов на основе минимума себестоимости проводят в том случае, если сравниваемые варианты не требуют для своего выполнения дополнительных капиталовложений. В этом случае экономию определяют по формуле

$$\mathcal{E} = (C_6 - C_n)V_n, \quad (3.3.8.16)$$

где  $C_6$ ,  $C_n$  — себестоимость изготовления одной детали по базовой и новой технологии;  $V_n$  — объем выпуска деталей по новой технологии, шт.

Если новый ТП требует дополнительных капиталовложений, оценку вариантов следует вести путем сопоставления суммарных затрат

$$П = C + K, \quad (3.3.8.17)$$

где  $K$  — капиталовложения по данному ТП.

Суммарные затраты  $П$  определяют для каждого сравниваемого варианта. Лучшим признается вариант с минимальными затратами  $П_{i \min}$ .

Годовой экономический эффект от внедрения лучшего варианта по сравнению со сравниваемым определяется разностью суммарных затрат этих вариантов:

$$\mathcal{E}_r = П_i - П_{i \min}. \quad (3.3.8.18)$$

При существенных различиях сравниваемые варианты приводят в сопоставимый вид по объему выпуска и качеству продукции, а также по срокам осуществления варианта. Например, если по новой технологии объем выпуска деталей воз-

рос по сравнению с базовым, то себестоимость продукции и капитальные вложения по базовому варианту нужно пересчитать на объем выпуска по новой технологии:

$$\mathcal{E} = (C_6 + K_6) \frac{B_n}{B_6} - (C_n + K_n), \quad (3.3.8.19)$$

где  $C_6$ ,  $C_n$  — себестоимость объема выпуска деталей по базовой и новой технологии;  $K_6$ ,  $K_n$  — капиталовложения по базовой и новой технологии;  $B_6$ ,  $B_n$  — объем выпуска деталей по базовой и новой технологии.

В дополнение к годовому экономическому эффекту целесообразно определять срок окупаемости дополнительных капиталовложений на оборудование СТО по новому варианту:

$$\tau_{\text{расч}} = \frac{K_n - K_6}{C_6 - C_n}. \quad (3.3.8.20)$$

Срок окупаемости сравнивают с тем сроком, на какой предприятие, государство, банк или какие-либо другие организации могут выделить необходимые средства для совершенствования старого или разработки нового ТП.

## 4 Техника безопасности

При освещении данного вопроса студентам рекомендуется придерживаться следующего плана.

*Производственная стратегия:* социальное значение опасного и вредного производственных факторов; физическая природа вредного фактора; единицы измерения; действие на человека, профессиональные заболевания; гигиенические и техническое нормирование; защита на путях распространения; средства индивидуальной защиты; медико-профилактические мероприятия, измерения и контроль, расчет и анализ.

*Техника безопасности:* социальное значение опасного фактора; физическая природа и физические характеристики опасных факторов; воздействие на человека опасных факторов и нормирование; технические методы обеспечения безопасности; средства индивидуальной защиты; организационные методы (обучение,

информация, окраска, знаки безопасности, учет безопасности при проектировании, обеспечение безопасности в процессе изготовления, приемочных испытаний, периодических испытаний и осмотров, техобслуживания и ремонта); учет и анализ травматизма; управление охраной труда.

*Пожарная безопасность*: физическая природа горения и взрыва; причины возникновения пожаров; объективные методы обеспечения безопасности от пожаров и взрывов; тушение пожаров и взрывов; организация пожарной охраны.

## **5 Охрана окружающей среды**

Окружающая среда - совокупность компонентов природной среды, природных и природно - антропогенных объектов, а также антропогенных объектов;

Охрана окружающей среды - деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленная на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий (далее также - природоохранная деятельность);

Загрязнение окружающей среды - поступление в окружающую среду" вещества и (или) энергии, свойства, местоположение или количество которых оказывают негативное воздействие на окружающую среду;

Основные принципы охраны окружающей среды: 1) соблюдение права человека на благоприятную окружающую среду; 2)обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности человека; 3)научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях обеспечения устойчивого развития и благоприятной окружающей среды; 4)охрана, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов как необходимые условия обеспечения благоприятной окружающей среды и экологической безопасности; 5)ответственность органов государственной власти Рос-

сийской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления за обеспечение благоприятной окружающей среды и экологической безопасности на соответствующих территориях;

б) платность природопользования и возмещение вреда окружающей среде;

7) независимость контроля в области охраны окружающей среды; и т. д.

Объектами охраны окружающей среды от загрязнения, истощения, деградации, порчи, уничтожения и иного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности являются: земли, недра, почвы; поверхностные и подземные воды; леса и иная растительность, животные и другие организмы и их генетический фонд; атмосферный воздух, озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство.

## **6 Заключение**

В заключительной части курсового проекта требуется сделать выводы о рациональности разрабатываемого технологического процесса. Представить выводы о необходимости полноты исходных данных для разработки ТП; о выявленных технологических задачах, привести характеристику геометрических особенностей детали, на которую разрабатывается ТП; подчеркнуть рациональность выбранного метода изготовления заготовки и схемы базирования. Подчеркнуть инвариантность ТП, обеспечивающих выполнение заданных для курсового проекта условий; сделать выводы о значимости технико-экономических показателей разрабатываемого технологического процесса.

## **7 Список использованных источников**

Список должен содержать перечень источников, использованных при выполнении проекта (работы). Источники следует располагать в порядке появления ссылок в тексте. Ссылки необходимо приводить в квадратных скобках, например: [1, с.16], [2] и т.д.

Сведения об источниках, включенных в список, необходимо давать в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32\*.

Сведения о книгах должны включать: фамилию и инициалы автора, название книги, место издания, издательство, год издания и количество страниц. При числе авторов до трех:

- Дальский А.М. Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин. – М.: Машиностроения, 2003. – 223 с.
- Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, 2004. – 496 с.

Если книга имеет число авторов более трех, ссылку дают следующим образом:

- Основы технологии машиностроения: Учебник для вузов/Под ред. В.С. Корсакова. – М.: Машиностроение, 2000. – 592 с.

Сведения о статьях из периодического издания должны включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, наименование журнала, наименование серии, год выпуска, том, номер журнала, страницы.

При числе авторов до трех:

- Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2005. – 118 с.

При числе авторов более трех:

- Технологичность конструкции изделияб Справочник/Ю.Д. Амиров, Т.К. Алферова, П.В. Волкова и др.; Под общ. Ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 2004. – 786 с.

Сведения о ГОСТ дают непосредственно по тексту.

Допускается включать в список ведомственные и производственные источники (каталоги организаций и фирм, технологические и промышленные регламенты, типовые проекты и т.п.). Указанные материалы должны иметь необходимые выходные данные, как и другие источники (см. выше).

## **8 Приложения**

Приложения к тексту пояснительной записки курсовой работы выполняются с целью обеспечения наибольшей наглядности и содержания представляемого в отдельных разделах и подразделах материала. Приложениями могут быть, например

графический материал, таблицы большого размера, технологические карты, расчеты, описания приспособлений и стендов и т.д.

Приложения оформляют как продолжение данной записки на последующих ее листах или выпускают в виде самостоятельного документа. Приложения могут быть обязательными и информационными. Информационные приложения могут быть рекомендуемого или справочного характера. В тексте пояснительной записки на все приложения должны быть ссылки. Степень обязательности при ссылке не указывается. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте пояснительной записки. Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием наверху, посередине страницы слова «приложение» и его обозначение

значение, а под ним в круглых скобках для обязательного приложения пишут слово «обязательное», а для информационного – слово «рекомендуемое» или «справочное». Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой.

Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «ПРИЛОЖЕНИЕ» следует буква, обозначающая его последовательность.

Допускается обозначение приложений буквами латинского алфавита, за исключением букв I, O.

В случае полного использования букв русского и латинского алфавитов допускается обозначать приложения арабскими цифрами.

Если в записке одно приложение, то оно обозначается «ПРИЛОЖЕНИЕ А».

Приложения, как правило, выполняют на листах формата А3, А4, А4.4, А2 и А1 по ГОСТ2.301.

Текст каждого приложения, при необходимости, может быть разделён на разделы, подразделы, пункты, подпункты, которые нумеруют в пределах каждого приложения. Перед номером ставится обозначение этого приложения, например:

А.2- второй раздел приложения А

А.4.6- шестой подраздел четвёртого раздела.

Приложения должны иметь общую с остальной частью пояснительной записки сквозную нумерацию страниц. Все приложения должны быть перечислены в содержании пояснительной записки с указанием их обозначений и заголовков

Приложения, выпускаемые в виде самостоятельного документа, оформляются по общим правилам - первый лист с основной надписью по форме 2, последующие листы - по форме 2а по ГОСТ 2.104, ГОСТ 21.1101. При необходимости такое приложение может иметь лист «СОДЕРЖАНИЕ».

Допускается в качестве приложения к пояснительной записке использовать другие самостоятельно выпущенные конструкторские документы (габаритные чертежи, схемы и д.р.). Правила оформления приложений по ГОСТ 2.105, раздел 4.

## **9 Компоновка и брошюрование**

Текстовые материалы курсового проекта компонуют следующим образом:

- титульный лист на проект,
- задание на проектирование,
- титульный лист на пояснительную записку,
- разделы пояснительной записки,
- заключение
- список использованных источников,
- приложения
- Курсовой проект (работу) оформляют согласно требованиям кафедры, помещая в папку, на лицевой стороне которой размещают титульный лист.



Приложение 1

Изм./Лист															
№ док.м.															
Подп.															
Дата															
КП ХМА Н-ТМО-Б-э-13-1 00.00.00 ПЗ															
Лист															
Таблица 2.2 – Маршрутная карта															
Лист № 1		Маршрутная карта					Наименование изделия		№ чертежа		Наименование детали или узла (№ по спецификации)				
Всего листов 2							Абсорбер				Днище				
Материал (марка, ГОСТ)		Заготовка	№ п/п	Род	Размер	Количество	Масса, кг		Количество единиц в изделии	Основные размеры детали или узла					
09Г2С ГОСТ 5632-72							черновой							чистовой	
							1							Лист	
								1		D = 2600 мм H = 716 мм					
Цех или участок	№ пор. операции	Операция			Размер обрабатываемой поверхности в единицах нормирования	Оборудование		Профессия	Состав бригады, разряд	Подготовительно-заключительное			Примечание		
						Наименование	Тип			штучное	общее	время на изм.			
1	2	3			4	5		6	7	8	9	10	11	12	13
	1	Правка			3500×1800×16	Правильная машина	Roundo PRH 280 / 2000								
	2	Очистка			3500×1800×16	Дробомётная установка	MUN KEBO								
	3	Разметка			3500×1800×16	Станок для пламенной резки	MESSER								
	4	Резка заготовки в соответствии с размерами			3500×1800×16	Станок для пламенной резки	MESSER								
	5	Обработка кромок			3400×1700×16	Станок для пламенной резки	MESSER								

Приложение 2

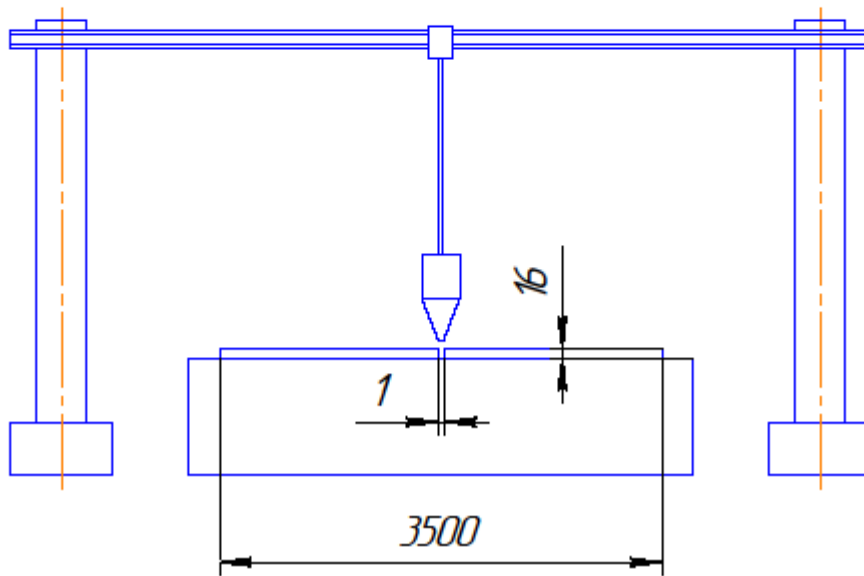
Лист №1		Технологическая карта №										Наименование изделия		№ чертежа		Наименование детали или узла																													
		Технологическая карта №										Абсорбер				Днище																													
Всего листов 2		Материал		Заготовка		№ Род		Размер		Количество		Масса, кг		Количество единиц в изделии		Основные размеры детали или узла																													
						1 лист		3500×1800×16		2		791 570																																	
09Г2С ГОСТ 5632-72												1		D = 2600 мм H = 716 мм																															
Цех или участок		№ операции		Оборудование		№№		Наименование установки, позиции, перехода		Размер обрабатываемой поперекности		Инструмент		Составляющие режимов операций				Профессия		Состав бригады, разряд		Норма времени на единицу нормирования																							
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23	
1		Правка		Правильная машина		Roundo PRH 280 / 2000		A		1 Подать заготовку в машину 2 Выправить заготовку		3500×1800×16		Мостовой кран, захват		V <sub>н</sub> =10 мм/с																													
2		Очистка		Дробомётная установка		MUNKEBO		Б		1 Подать заготовку на стэнд 2 Очистить лист		3500×1800×16																																	
3		Разметка		Станок для плазменной резки		MES SER		В		1 Установить заготовку на стэнд 2 Разметить в соответствии с разверткой		3500×1800×16		Захват																															
4		Контр. разметки		Станок для плазменной резки		MES SER		Г		1 Проверить соответствие размеров развертки		3500×1800×16		Захват																															

КП ХМА Н-ТМО-Б-э-13-1 00.00.00 ПЗ

Приложение 3

Таблица 2.4 – Операционная карта

Лист №1	Операционная карта №1
---------	-----------------------



№ установки	№ перехода	№ позиции	Содержание перехода, установки, позиции	Инструмент	
				рабочий	мерительный
1	2	3	4	5	6
А		1	Установить заготовки на сварочный стол	Мостовой кран	
Б		1	Переместить аппарат к месту сварки	I-Gantry	
В		1	Произвести сварку стыкового шва	I-Gantry	

					КП ХМА Н-ТМО-б-э-13-1 00.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		