

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

*Кафедра «Технология машиностроения»*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных и практических работ по курсу

**«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ»**  
(для студентов специальности 6.050503 «Инженерная механика»)

**Донецк – 2014**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

*Кафедра «Технология машиностроения»*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению лабораторных работ по курсу

**«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ»**  
(для студентов специальности 6.050503 «Инженерная механика»)

Рассмотрена на заседании кафедры  
«Технология машиностроения»  
протокол № 15 от 07.05.14

Утверждено на заседании  
учебно-издательского совета  
ДонНТУ

Донецк – 2014

**УДК 621.75 – 52 (071)**

Методические указания к выполнению лабораторных и практических работ по курсу «Технологические основы машиностроения» (для студентов специальности 6.050503 «Инженерная механика») / Сост. И.А.Горобец, Е. А. Буленков, Л. Н. Феник. – Донецк, ДонНТУ, 2014.- 51 с.

Приведены описания лабораторных и практических работ по курсу «Технологические основы машиностроения», их объем и последовательность выполнения. Даны рекомендации по последовательности выполнения лабораторных работ, приведены схемы лабораторных установок и вопросы для самоконтроля.

Составители:

И.А.Горобец, проф.  
Е. А. Буленков, доц.  
Л. Н. Феник, ст.преп.

Ответственный за выпуск

А.Н. Михайлов, проф.

© И.А.Горобец, Е.А.Буленков, Л.Н.Феник, ДонНТУ, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

I. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ	5
1. АНАЛИЗ ТИПОВЫХ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ	5
2. ПОГРЕШНОСТИ ОТ ЗАКРЕПЛЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ УСТАНОВОК НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ	10
3. РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ	14
4. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ	33
II ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	38
5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ШПИНДЕЛЯ ТОКАРНОГО СТАНКА	38
6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫЛЕТА ЗАГОТОВКИ НА ВЕЛИЧИНУ ОТЖИМОВ	41
7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ВЫЛЕТА ЗАГОТОВКИ ИЗ УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ЗАГОТОВКИ	46
8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ В 3-Х КУЛАЧКОВОМ ПАТРОНЕ	49

# I. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

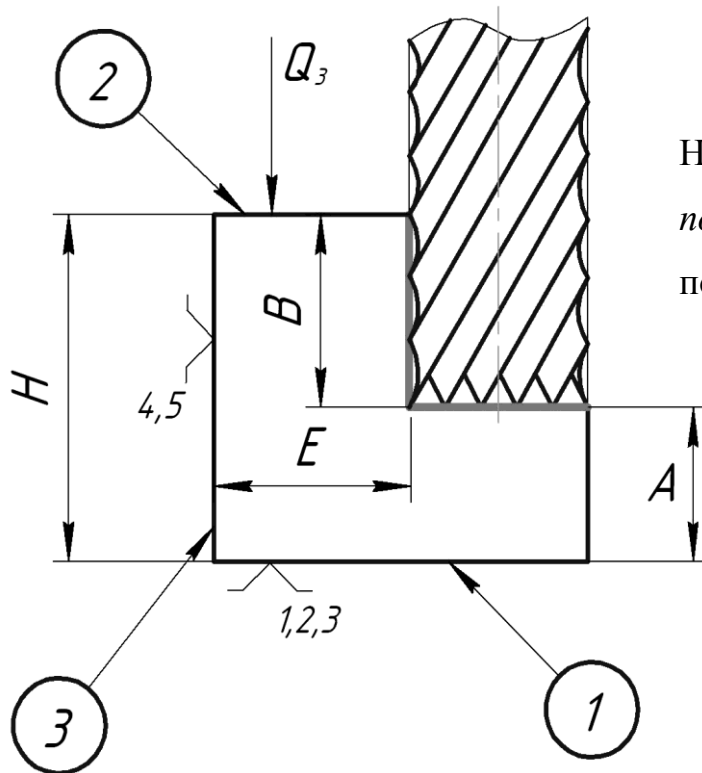
## 1. АНАЛИЗ ТИПОВЫХ СХЕМ БАЗИРОВАНИЯ

**Цель работы:** научиться выбирать наилучший способ базирования детали при ее изготовлении с точки зрения минимизации погрешности базирования

### 1.1 Теоретическая часть

#### 1.1.1 Установка плоскими поверхностями

Заготовка прижата силой  $Q_3$ , пальцевой фрезой фрезеруется уступ, выдерживая размеры  $A$ ,  $B$ ,  $E$ . Станок предварительно настроен.



Необходимо проанализировать погрешность базирования при получении размеров  $A$ ,  $B$ ,  $E$ .

$H$  – высота детали,

$A$  – настроечный размер.

Рисунок 1.1 - Пример схемы базирования плоскими поверхностями

$\varepsilon_A = 0$  и  $\varepsilon_E = 0$  - т. к. технологическая и измерительная базы совпадают,

$\varepsilon_B \neq 0$  - так как измерительной базой является поверхность 2, а технологической базой - поверхность 1.

Составляем размерную цепь

$$B = H - A$$

$A$ - настроечный размер, значит  $A = const$ .

Таким образом, действительная погрешность базирования для размера  $B$ , будет зависеть от допуска на размер  $H$ :

$$\varepsilon_H = \delta H .$$

Чтобы получить  $\varepsilon_B = 0$ , необходимо совместить ТБ с ИБ (перевернуть заготовку), т.е. переустановить ее на поверхность 2.

### 1.1.2 Установка наружными цилиндрическими поверхностями

Размеры валов в обрабатываемой партии всегда имеют некоторый разброс по диаметру. Так, при фрезеровании лысок и шпоночных пазов на валах размеры последних могут быть заданы как  $h_1$ ,  $h_2$  или  $h_3$ .

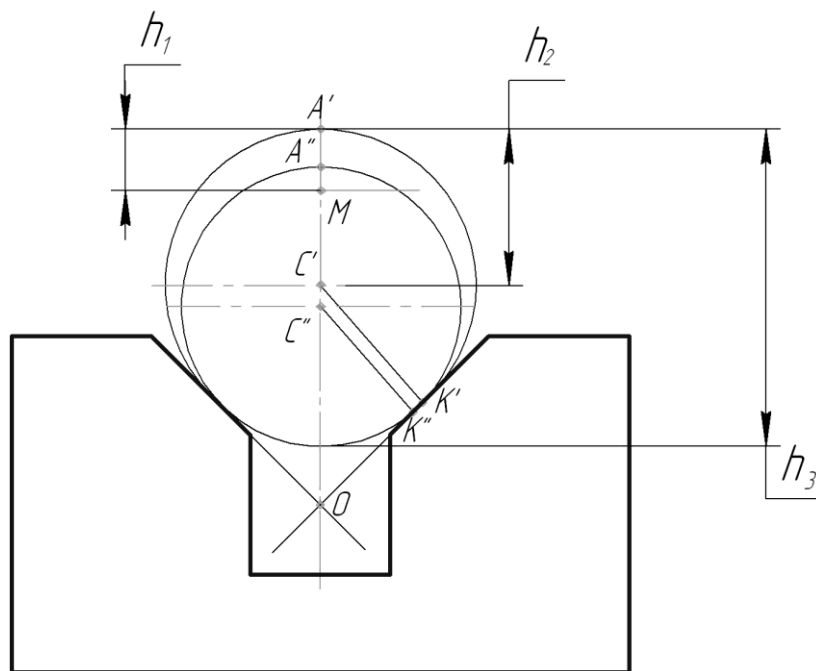


Рисунок 1.2 - Пример базирования наружными цилиндрическими поверхностями.

Но так как диаметральные размеры обрабатываемых валов изменяются от некоторого минимального до максимального значений, положение из осей может быть расположено в точках  $C'$  или  $C''$ . Соответственно положение верхней точки  $A$  также может изменяться.

Требуется проанализировать возникающие погрешности базирования когда размер задан одним из трех способов: как  $h_1$ ,  $h_2$  или  $h_3$ .

а) выдерживаемый размер задан как  $h_3$ .

Составим размерную цепь

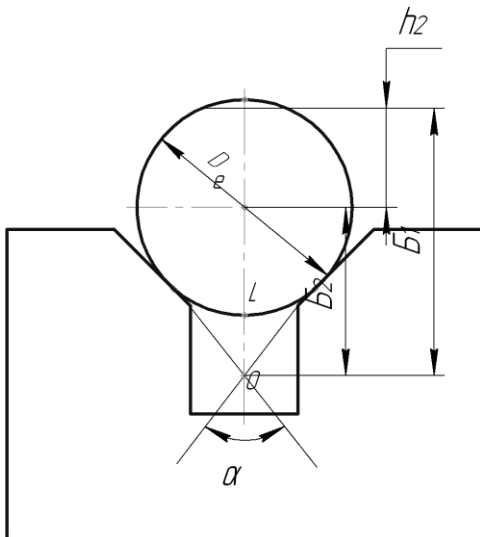
$$h = OA - OM$$

$AO$  - настроечный размер (отрезок),  $AO = const$  и на погрешность базирования не влияет.

После тригонометрических преобразований получим, что погрешность базирования будет определяться формулой

$$E_B = \frac{TD}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right)$$

б) выдерживаемый размер задан как  $h_2$



Строим размерную цепь

$$H_2 = B_1 - B_2$$

$B_1$  – является настроечным размером, значит вся погрешность связана с размером  $B_2$ .

$$E_B = \frac{TD}{2} \frac{1}{\sin \alpha/2}$$

Рисунок 1.3 - Пример базирования вала на призме

в) размер задан как  $h_1$  (от верхней точки) и, проведя аналогичные рассуждения получим:

$$E_B = \frac{TD}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} + 1 \right).$$

Таким образом, рассмотрев три возможных варианта простановки размеров:  $h_1$ ,  $h_2$  или как  $h_3$  делаем вывод, что минимальная погрешность базирования будет иметь место, если выдерживаемый размер задан как  $h_3$ .

В практике встречаются и другие подходы к снижению погрешности базирования:

А) за счет изменения положения призмы,

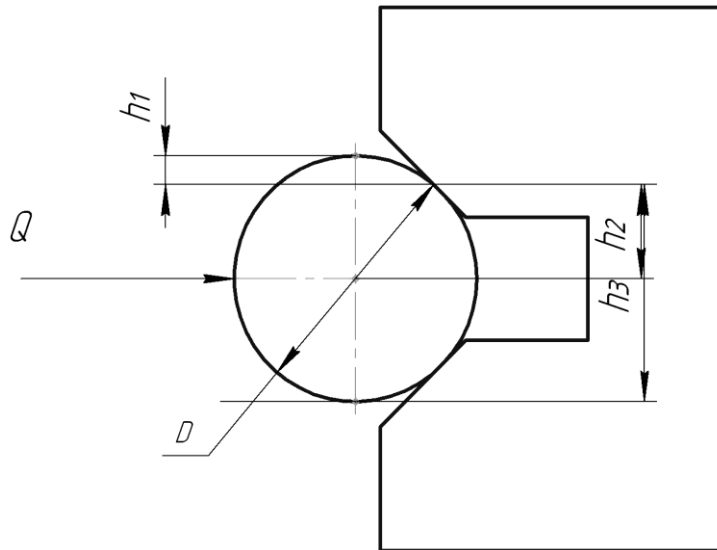


Рисунок 1.4 - Пример изменения базирования вала с использованием призмы

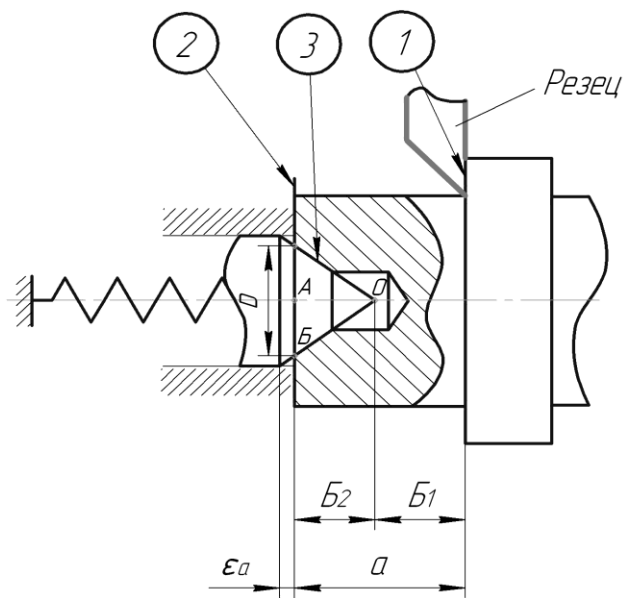
Б) за счет уменьшения допусков на диаметр  $D$ ,

В) за счет изменения (замены) схемы базирования.

Возможны и другие решения.

### 1.1.3 Установка на «короткие конуса» (в центрах)





- 1 - обрабатываемая поверхность,
- 2- измерительная (конструкторская) база,
- 3- технологическая (установочная) база,
- $a$  – выдерживаемый размер.

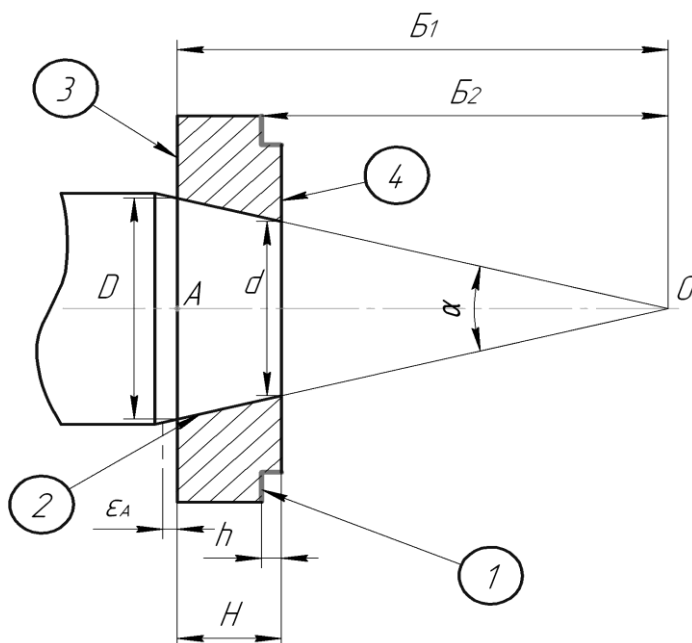
$$\delta D \neq 0$$

Рисунок 1.5 - Пример базирования по схеме «короткий конус».

Тогда искомая погрешность базирования для размера  $a$

$$E_a = \frac{TD}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}.$$

#### 1.1.4. Установка на длинный центр (конус Морзе)



- $H$  – высота втулки,
- $h$  - выдерживаемый размер,
- 1- обрабатываемая поверхность,
- 2- установочная (технологическая) база,
- 3- измерительная база.

Составляем размерную цепь:

$$h = H - (B2 - B1)$$

Рисунок 2.6 - Пример базирования по схеме «длинный конус».

$B1 = const$  , так как является настроечным размером, значит вся погрешность при получении размера  $h$  будет обусловлена колебаниями размеров  $B2$  и  $H$ .

$$B2=OA= \frac{D}{2} \operatorname{ctg} \alpha/2 \qquad \operatorname{ctg} \alpha/2 = \frac{D-d}{2H} \qquad B2=D/K.$$

$K$ -конусность.

Искомая погрешность базирования для размера  $h$ .

$$E_h = \sqrt{\delta H^2 + \left(\frac{TD}{K}\right)^2}.$$

В том случае, если установка детали будет выполнена на подпружиненную оправку - базирования для размера  $h$  может быть снижена:  $E_h = \delta H$ .

## 1.2 Содержание отчета

- 2 Тема, цель работы.
- 3 Краткое описание работы.
- 4 Схемы базирования заготовок.
- 5 Расчеты погрешностей базирования.
- 6 Выводы.

## 1.3 Вопросы для самоконтроля

1. В каких случаях погрешность базирования равна погрешности размера заготовки?
2. За счет каких мероприятий возможно уменьшить погрешность базирования цилиндрической детали в призмах?
3. Как определяется погрешность базирования заготовки по центровым отверстиям?
4. Как рассчитывается погрешность базирования по длинному конусу?

## 2 ПОГРЕШНОСТИ ОТ ЗАКРЕПЛЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ. ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ УСТАНОВОК НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

**Цель работы:** Приобретение навыков по выполнению анализа вариантов погрешностей закрепления для выбора наилучшего варианта.

## 2.1 Теоретическая часть работы

В общем случае понятие *погрешность установки*, включает:

$$E_y = \sqrt{E_B^2 + E_3^2} + E_{П.з.}$$

$E_B$  - погрешность базирования

$E_3$  - погрешность закрепления

$E_{П.з.}$  - погрешность положения заготовки

$$E_{П.з.} = \sqrt{E_{II}^2 + E_{У.э.}^2} + E_{У.ст.}$$

$E_{У.э.}$  - погрешность установочных элементов

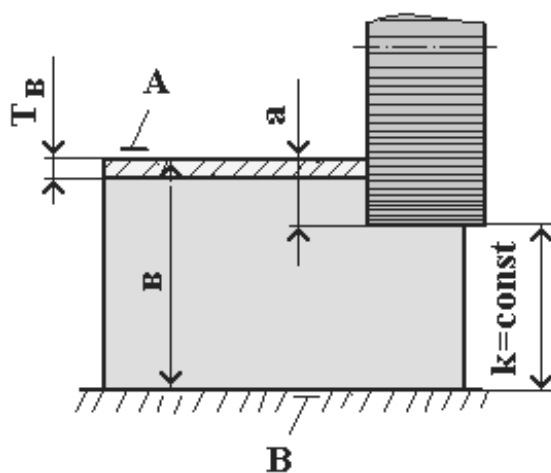
$E_{II}$  - погрешность от износа установочных элементов

$E_{У.ст.}$  - погрешность от установки приспособления на станке.

После каждой очередной переустановки детали при обработке, как правило, следует пересчитывать погрешность установки (базирования).

**ПОГРЕШНОСТЬ БАЗИРОВАНИЯ** возникает при несовпадении измерительной и технологической баз или из-за особенностями формы опорных поверхностей заготовки и установочных элементов приспособления.

Погрешность базирования можно определить как разность предельных расстояний от измерительной базы заготовки до установленного на размер инструмента.



$A$ -измерительная база,  
 $B$ -технологическая база,  
 $a$  –выдеживаемый размер,  
 $k$ -настроечный размер

Рисунок 2. 1 Пример возникновения погрешности базирования

Поле рассеяния размера  $a$ , связанное с погрешностью базирования, находится из уравнения:

$$\varepsilon_{\delta} = \omega_{\delta} = T_{\delta}$$

*Погрешность базирования* в каждом конкретном случае определяется из геометрических соотношений и при определенных условиях может быть сведена к нулю.

### **Погрешности от закрепления заготовок**

При закреплении заготовки в приспособлениях может происходить ее смещение (выжимание) из приспособления, приводящее к появлению зазора  $S$  между базирующей поверхностью заготовки и установочной поверхностью приспособления по отношению к которой производится настройка станка.

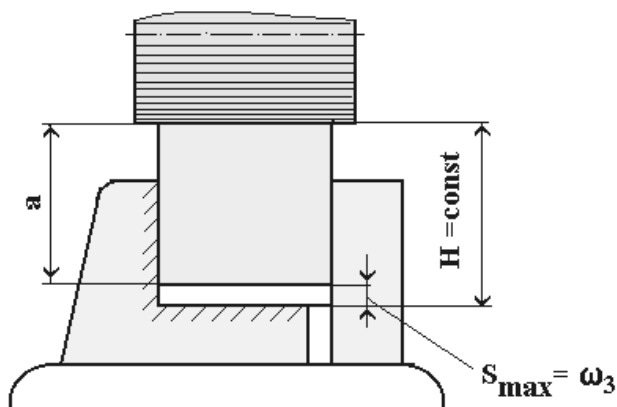


Рисунок 2.2- Пример возникновения погрешности закрепления

Смещение заготовки в момент ее закрепления в приспособлении вызывает рассеяние размера  $a$  (см. рис) с полем рассеяния  $\omega_3$ , определяемым в большинстве случаев экспериментальным путем.

*Погрешность закрепления*  $\varepsilon_3 = \omega_3$  зависит от конструкции и состояния зажимного устройства приспособления и от направления усилия зажима.

*Минимальная* погрешность закрепления – если зажимное усилие направлено перпендикулярно технологической установочной базе.

Во всех случаях *погрешность закрепления* не равна нулю в связи с неточностью базирующих опорных поверхностей заготовок и наличием контактных деформаций поверхностей стыка.

Эти деформации в общем виде описываются нелинейным законом:

$$y = CR^n,$$

где  $C$  - коэффициент, характеризующий вид контакта, материал заготовки, шероховатость и состояние его поверхностного слоя;

$R$  - сила, действующая на контактный элемент (опору);

$n$  - показатель степени.

*Контактные деформации* поверхностей стыка сопровождаются перемещением технологической и измерительной баз заготовок относительно установленного на размер инструмента и поэтому также вызывают появление *погрешности закрепления*.

### **Погрешности положения заготовки (приспособления)**

Эти погрешности возникают от неточности изготовления и сборки самого приспособления:

- погрешности изготовления установочных элементов приспособления, его делительных устройств;
- погрешности от износа элементов приспособления;
- неточности установки приспособления на станке.

Для различных приспособлений значения перечисленных погрешностей находятся в пределах  $0,005 \dots 0,2 \text{ мм}$ , и суммируясь как случайные величины, образуют общую погрешность положения заготовки.

## **2.2 Содержание отчета**

- 1 Тема, цель работы.
- 2 Краткое описание работы.
- 3 Схемы установки заготовок.
- 4 Расчеты погрешностей установки.
- 5 Выводы.

## **2.3 Вопросы для самоконтроля**

1. Из каких элементов состоит погрешность установки заготовки?
2. Почему возникает погрешность базирования заготовок?
3. За счет чего появляется погрешность закрепления заготовки?
4. Как рассчитывается погрешность закрепления заготовок?
5. Как определяется погрешность приспособлений ?

### 3. РАСЧЕТНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

**Цель работы:** усвоение теоретических положений обеспечения необходимой точности обработки деталей

#### 3.1 Общие теоретические положения

Принято различать *три этапа выполнения технологических операций: подготовка, настройка и обработка.*

На каждом этапе формируется некоторая часть погрешностей.

При механической обработке деталей *на предварительно настроенных станках* возможны погрешности от факторов, возникающих при обработке и снижающих точность.

Эти погрешности желательно предварительно рассчитывать и получить, таким образом, *суммарную погрешность*, которую необходимо сравнить с допуском на выдерживаемый размер.

##### 3.1.1 Погрешности от упругих деформаций технологической системы

Технологическая система (станок, приспособление, инструмент, деталь) представляет собой упругую систему, в которой влияние сил резания и закрепления, инерционных и других сил приводит к образованию погрешностей форм и размеров обрабатываемых деталей.

На рисунке 3.1 представлены две схемы обработки цилиндрической детали: с закреплением *в центрах* («а») и *в трехкулачковом токарном патроне* («б»), которые иллюстрируют возникающие упругие деформации  $\Delta_y$ , а также обусловленные ими погрешности формы детали (*бочкообразность* и *конусообразность*).

Упругие деформации  $\Delta_y$  обусловлены отжатиями основных узлов и отдельных элементов технологической системы, а также контактными деформациями и в общем случае могут достигать 20...40% от суммарной погрешности обработки.

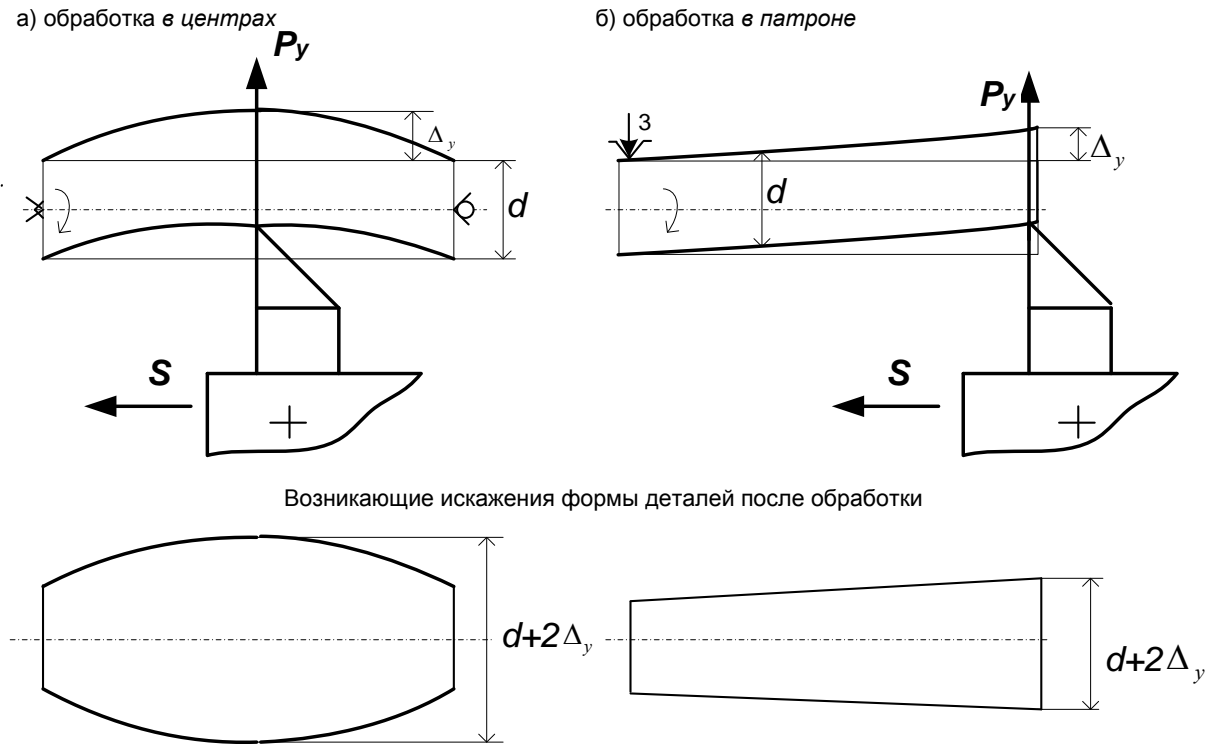


Рисунок 3.1 - Схемы формирования погрешностей от упругих деформаций

Нестабильность сил резания (из-за колебаний снимаемого припуска твердости материала даже в пределах обрабатываемой партии деталей), различная жесткость детали при обработке (в каждый из моментов времени обработки поверхности детали) - обуславливают и неравномерность упругих деформаций.

Для количественной оценки упругих деформаций технологической системы используют понятия *жесткость* и *податливость*.

*Жесткостью системы* называется способность системы оказывать сопротивление деформирующим силам.

По А.П. Соколовскому, *жесткость технологической системы* определяется как отношение составляющей силы резания, направленной по нормали к обрабатываемой поверхности, к смещению режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки в том же направлении:

$$j_{\text{сист}} = \frac{P_y}{y},$$

где  $j_{\text{сист}}$  - жесткость технологической системы, Н/мм;

$P_y$  - радиальная составляющая силы резания, Н;

$y$  - упругие деформации технологической системы (смещение режущей кромки инструмента), мм.

Для удобства расчетов часто используется величина обратная жесткости, которая называется *податливостью*.

*Податливость* технологической системы - способность этой системы упруго деформироваться под действием прикладываемых к ней внешних сил:

$$W_{\text{сист}} = \frac{y}{P_y} = \frac{1}{j_{\text{сист}}}.$$

Суммарная податливость системы равна сумме податливостей элементов технологической системы:

$$W_{\text{сист}} = W_{\text{ст}} + W_{\text{пр}} + W_{\text{инстр}} + W_{\text{дет}}.$$

Откуда жесткость системы будет равна:

$$\frac{1}{j_{\text{сист}}} = \frac{1}{j_{\text{ст}}} + \frac{1}{j_{\text{пр}}} + \frac{1}{j_{\text{инстр}}} + \frac{1}{j_{\text{дет}}}.$$

Жесткость- величина непостоянная  $J \neq \text{const}$

$P_y$  - рассчитывается по формулам теории резания, а величина  $y$  определяется экспериментально.

$J_{\text{ст}}$  - жесткость станка и т. д.

$W$  – податливость (величина, обратная жесткости).



Жесткость новых станков токарной группы составляет  $J_{ст}=20000-40000 \text{ Н/мм}$ , для некоторых типов станков  $J_{ст}=100000 \text{ Н/мм}$  (шлифовальные и координатно-расточные станки).

Таким образом, погрешности от упругих деформаций зависят и определяется жесткостью технологической системы СПИД.

В практических расчетах учитывают только *податливость* станка и обрабатываемой детали

$$W_{\text{сист}} = W_{\text{ст}} + W_{\text{дет}};$$

$$\frac{1}{J_{\text{сист}}} = \frac{1}{J_{\text{ст}}} + \frac{1}{J_{\text{дет}}}.$$

Величина *упругих деформаций* обрабатываемых деталей в значительной степени зависит от схемы обработки, ее можно рассчитать по известным зависимостям из курса сопротивления материалов. Так, для заготовки, закрепленной в патроне и поддерживаемой центром, максимальные упругие деформации определяют по формуле:

$$y_{\text{дет}} = \frac{P_y l^3}{100EJ},$$

где,  $l$  - длина заготовки, мм;

$E$  - модуль упругости 1-го рода,  $\text{Н/мм}^2$ ;

$J$  - момент инерции поперечного сечения заготовки,  $\text{мм}^4$  (для круглых заготовок  $J = 0,05d^4$ );

$d$  - номинальный диаметр детали, мм.

Тогда жесткость заготовки будет равна:

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

Величину радиальной составляющей силы резания рассчитывают по одной из формул курса “Теория резания” или находят по справочнику технолога-машиностроителя. Например, для токарных операций:

$$P_y = C_y S^x t^m \text{HB}^n,$$

где  $C_v$ - эмпирический коэффициент;

$S$ - подача, мм/об;

$t$ - глубина резания, мм;

НВ- твердость материала заготовки;

$x, m, n$ - показатели степени).

Жесткость всех составляющих элементов технологической системы, как правило, определяют экспериментально или по паспортным данным станка. Среднестатистическая жесткость новых станков составляет  $j_{ст} = 2000-40000 \text{ Н/мм}$  (до  $100000 \text{ Н/мм}$ ), а для выработавших свой ресурс - менее  $10000 \text{ Н/мм}$ .

### 3.1.2 Производственные методы оценки жесткости

Различают понятия “статическая жесткость” и “динамическая жесткость”.

*Статическая жесткость* оценивается на неработающем станке (в статике), а *динамическая жесткость* - при работающем станке (в динамике).

Оценка динамической жесткости технологической системы применяют три метода: *ступенчатого резания; прямой и обратной подачи; фактической глубины резания.*

1. *Метод ступенчатого резания (или уступа)* основан на имитации колебаний припуска в различных сечениях реальной заготовки посредством обработки на достаточно коротком участке максимального и минимального диаметров последней за один рабочий ход, что влечет за собой изменение силы резания и, следовательно, различных значений упругих деформаций технологической системы.

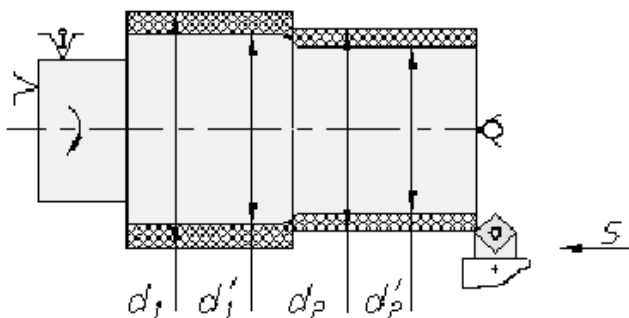


Рисунок 3.2 - Схема определения жесткости методом *ступенчатого резания*

Реализация метода заключается в предварительном измерении (до обработки) диаметров  $d_1$  и  $d_2$ , а затем повторном измерении этих диаметров в тех же сечениях заготовки после

обработки  $d_1'$  и  $d_2'$ .

Разность диаметров ступеней заготовки и является *погрешностью исходной заготовки*, а разность диаметров ступеней после обработки - *погрешностью обработки детали*:

$$\Delta_{\text{зар}} = \frac{d_1 - d_2}{2}; \Delta_{\text{дет}} = \frac{d_1' - d_2'}{2}.$$

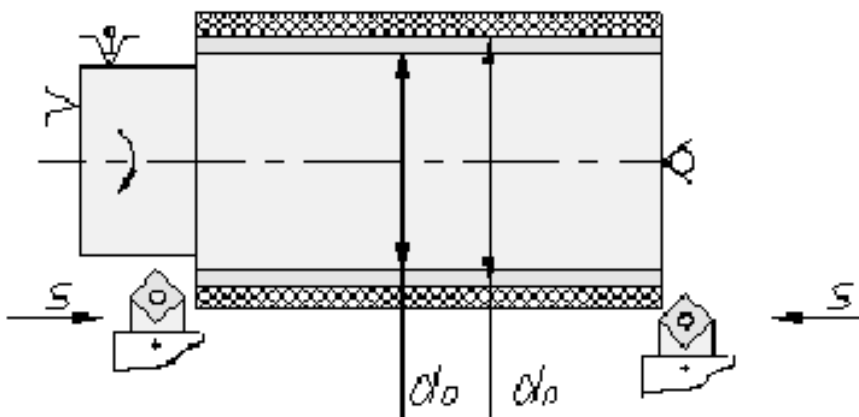
Отношение погрешности исходной заготовки к погрешности обработанной детали называют уточнением, показывающим, во сколько раз стала точнее обработанная деталь (заготовка):

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{\text{зар}}}{\Delta_{\text{дет}}} = \frac{d_1 - d_2}{d_1' - d_2'}.$$

Полученное значение *уточнения* используют затем для расчета динамической жесткости технологической системы:

$$j_{\text{сист}} = C_y S^x H B^n \varepsilon.$$

2. *Метод прямой и обратной подачи* заключается в измерении диаметров обработанной поверхности заготовки после прямого ( $d_n$ ) и обратного ходов ( $d_o$ ) применяемого инструмента.



Разность диаметров, обусловленная упругими деформациями из-за различных сил резания при прямом и обратном ходах инструмента, и есть упругие деформации системы:

$$y = \frac{d_n - d_o}{2}$$

Рисунок 3.3 - Схема определения жесткости методом *прямой и обратной подачи*

Отношение радиальной составляющей силы резания ( $P_y$ ) к деформации есть жесткость системы:

$$j_{\text{смет}} = \frac{P_y}{y} = \frac{C_y S^x t^m \text{HB}^n}{y}$$

3. Метод фактической глубины резания основан на выявлении фактической глубины резания.

Сущность метода заключается в предварительной обточке исходной заготовки в некоторый размер ( $d_1$ ), после чего производится установка “на ноль” лимба станка. Далее по лимбу устанавливают заданную глубину резания:

$$t_{\text{зар}} = \frac{d_1 - d_{\text{зар}}}{2}$$

и производят обработку поверхности заготовки за один рабочий ход.

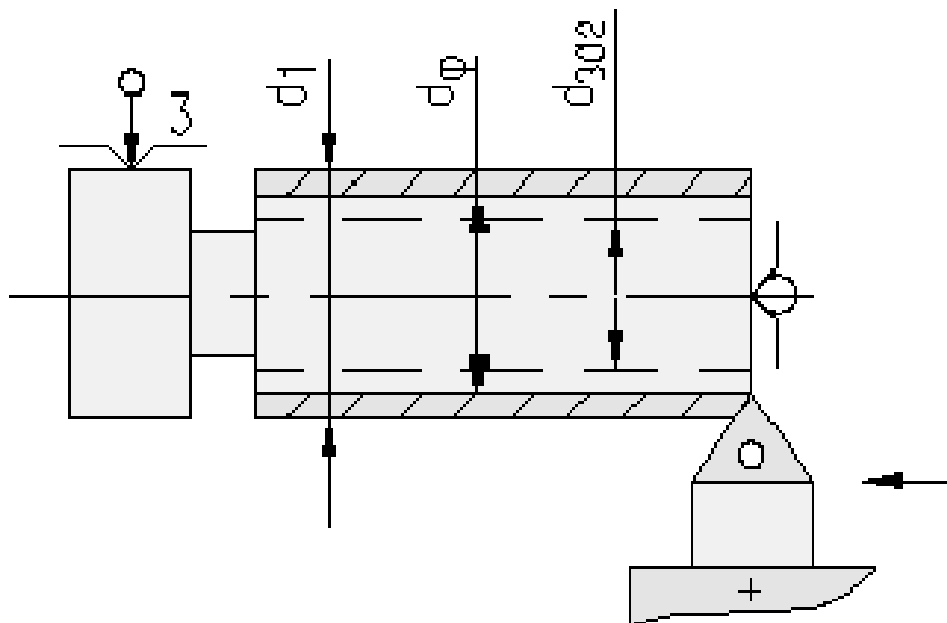


Рисунок 3.4 - Схема определения жесткости по методу фактической глубины резания

При измерении оказывается, что полученный диаметр заготовки ( $d_{\phi}$ ) отличается от заданного (из-за упругих деформаций системы), т.е. фактическая глубина резания будет составлять

$$t_{\phi} = \frac{d_1 - d_{\phi}}{2}$$

Разность заданной (теоретической) и фактической глубины резания и будет характеризовать величину упругих деформаций технологической системы:

$$y = t_{\text{зар}} - t_{\Phi} = \frac{d_{\text{зар}} - d_{\Phi}}{2},$$

а динамическая жесткость системы определяется из отношения последней к радиальной составляющей силы резания

$$j_{\text{сист}} = \frac{P_y}{y} = \frac{C_y S^x t^m H B^n}{y}.$$

В реальных условиях производства возникает необходимость выявления отдельных составляющих жесткости (податливости) технологической системы (например, оценить жесткость конкретного станка).

*Для уменьшения упругих отжатий* в технологической системе следует:

- а) уменьшить число стыков в технологической системе,
- б) использовать «противоположные» схемы резания,
- в) применять оптимальные режимы обработки,
- г) использовать подвижные или неподвижные люнеты.

### 3.1.3. Погрешности от размерного износа инструмента

Причинами размерного износа режущих инструментов является *трение стружки* о переднюю поверхность инструмента и *трение его задней поверхности* об обрабатываемую поверхность детали.

Изнашивание происходит и по задней и передней поверхности (реже). Это приводит к тому, что при обработке *партии деталей* выдерживаемый размер будет постепенно увеличиваться (размер первой детали будет меньше последней на величину размерного износа).

Износ определяет период стойкости режущего инструмента, а его величина зависит от характера технологической операции (черновой, получистовой или чистовой).

За критерий изнашивания принят *износ по задней поверхности* режущего инструмента  $U$ .

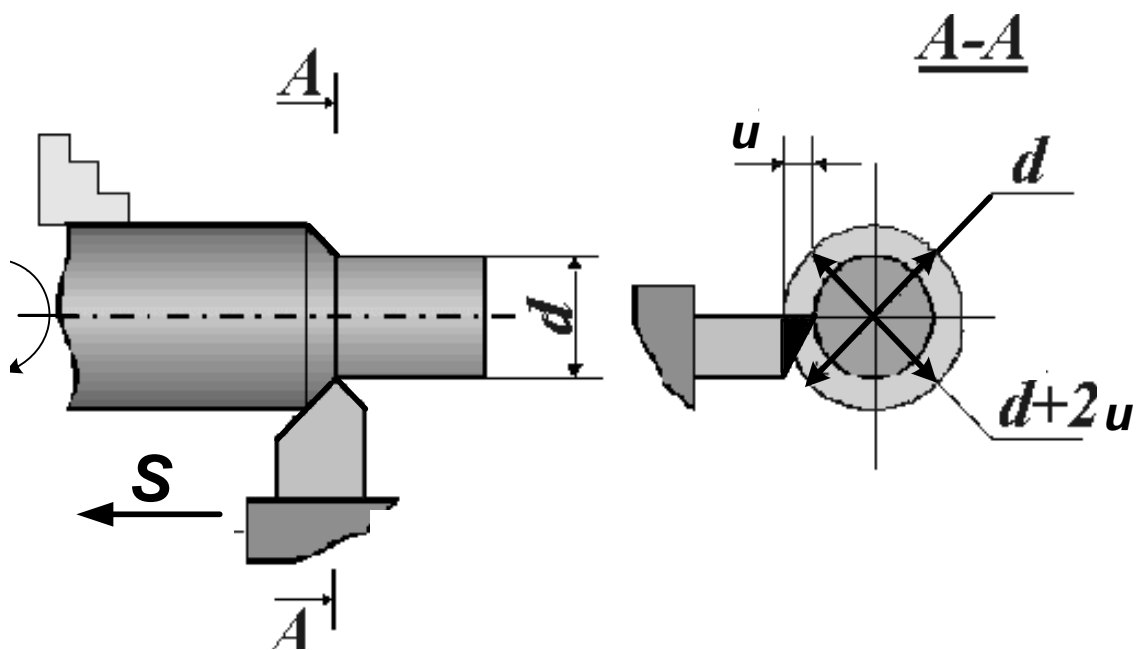


Рисунок 3.5 - Схема формирования погрешности от размерного износа

На точность обработки влияет износ  $u$  лезвия инструмента в направлении перпендикулярном к обрабатываемой поверхности, который и называют *размерным износом*.

*Критические (предельные)* значения размерного износа определяют период между переточками режущего инструмента или же его замены.

Оценку износа удобно характеризовать зависимостью размерного износа от пути резания  $U = f(L)$ .

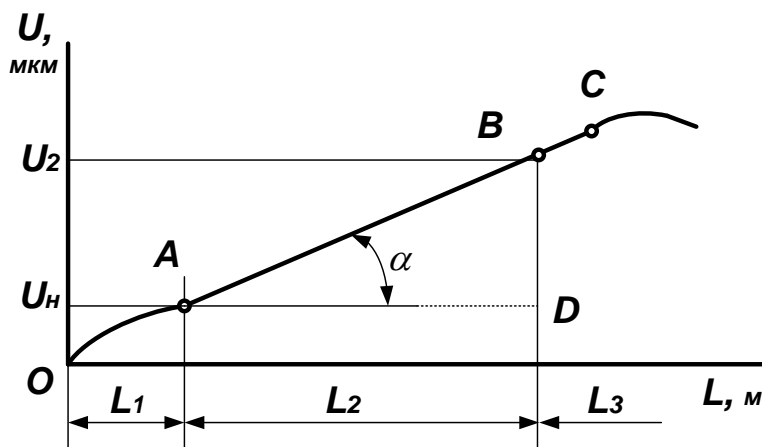


Рисунок 3.6 - Зависимость износа от пути резания  $U = f(L)$

На графике (рисунок 3.6) можно наблюдать три основных периода износа:

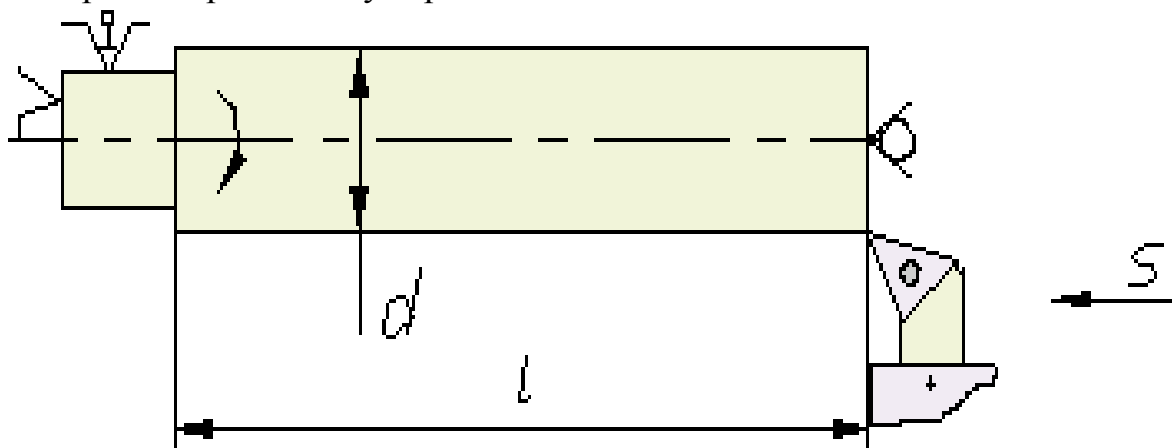
период *начального износа*  $U_H$  или *участок OA* (в этот промежуток времени происходит “приработка” режущего инструмента, его протяженность  $L_1=800-1000$  м);

период *нормального износа*  $U_2$  или *участок AB* в котором зависимость  $U = f(L)$  близка к линейной ( $L_2=30000-40000$  м);

период *интенсивного* (катастрофического) *износа*  $L_3$ , появление которого свидетельствует о возможном появлении бракованных деталей и опасности разрушения режущего инструмента.

Для периода *нормального износа* путь резания  $L_p$  определяют по конкретной схеме обработки.

Для токарной обработки путь резания  $L_p$ :



$$L_p = \frac{\pi d l}{1000 S} \qquad L_p = v T$$

где  $d$  - диаметр обрабатываемой заготовки, мм;  $l$  - длина обработанной поверхности, мм;  $S$  - подача, мм/об;  $v$  - скорость резания, м/мин;  $T$  - время работы резца, мин.

Рассмотрев треугольник  $ABD$  (рисунок 3.6) можно выразить, что  $tg\alpha = BD/AD$ . Эту величину называют *интенсивностью износа*. Она характеризуется величиной *относительного износа*  $U_0$ , т.е. размерным износом инструмента на 1000 м пути резания

$$U_0 = tg\alpha = \frac{U_2}{L_2 \cdot 1000}$$

С учетом величин *относительного*  $U_0$  и *начального износа*  $U_H$ , можно определить *полный размерный износ*  $U$ :

$$U = U_H + U_0 \frac{L_p}{10^6}$$

В таблице приведены значения относительного  $U_0$  и начального  $U_H$  износа для чистового точения и растачивания, для которых влияние размерного износа имеет существенное значение.

Таблица 3.1 – Зависимости износа от материала инструмента и заготовки

Материал		Износ	
заготовки	инструмента	начальный $U_H$ , мкм	относительный $U_0$ мкм/км
Сталь углеродистая и легированная	T15K6,	2...8	2...10
	T30K4		
Серый чугун	BK4, BK8	3...10	3...12
Закалённый чугун (HB 400)	ЦМ332	10	8
Углеродистые и легированные стали	ЦМ332	1...3	0,5...1,0
Цветные сплавы	Алмаз	-	0,0005...0,001

При обработке деталей по методу *автоматического получения размеров* возможна корректировка настроечного размера (резцы, фрезы, шлифовальные круги и т.п.), что позволяет компенсировать влияние размерного износа на точность обработки.

Для жестких размерных и фасонных инструментов такая компенсация исключена.



При обработке заготовок методом *пробных рабочих ходов и промеров* разовая установка инструмента исключает влияние размерного износа на точность размера, однако, погрешности формы будут иметь место.

Своевременный контроль их размеров позволяет принимать решения по корректировке наладки станка.

Для снижения влияния *размерного износа* рекомендуется:

1. использование более износостойких инструментов;
2. применением различных СОЖ;
3. использованием инструмента с оптимальной геометрией ( $\alpha = 8 \dots 15^\circ$ );
- 4 – применять инструмент с доводкой по его задней поверхности).

### 3.1.4 Погрешности от тепловых деформаций системы

*Источниками тепловыделения* в технологической системе являются:

- трение стружки о переднюю поверхность режущего инструмента;
- трение задней поверхности режущего инструмента по обработанной поверхности детали;
- потери на трение в подвижных механизмах станка (подшипниках, зубчатых передачах и т.п.),
- тепловыделение из зоны резания.

Весь расчет чаще всего сводится к определению тепловых деформаций инструмента.

Выделяющееся в зоне резания тепло частично уносится с СОЖ, частично рассеивается в окружающем пространстве лучеиспусканием и конвективным теплообменом, а также передается заготовке и режущему инструменту, а также станку. Это приводит к разогреву станка, заготовки и режущего инструмента и нарушению взаимного положения заготовки и режущей кромки инструмента.

Наибольшее влияние на точность механической обработки оказывают тепловые деформации режущего инструмента и обрабатываемой заготовки; влиянием остальных составляющих, как правило, можно пренебречь.

*Тепловые деформации обрабатываемой заготовки(детали)*  $\Delta_{тд}$  зависят от количества теплоты, поступающей в заготовку из зоны резания, массы и удельной теплоемкости материала заготовки. Количественно они могут быть определены по известной зависимости.

$$\Delta_{ТД} = \alpha \cdot d \cdot (T_{i-1} - T_i)$$

где  $\alpha$  - температурный коэффициент линейного расширения материала заготовки;

$d$  - диаметр обрабатываемой заготовки, мм;

$T_{i-1}, T_i$  - соответственно исходная и текущая (в  $i$ -й момент времени) температура детали.

Тепловые деформации инструмента  $\Delta_{ТИ}$ , приводят к удлинению державки, а следовательно, к смещению режущих кромок и изменению размеров (уменьшению) обрабатываемых диаметров, т.е. образованию погрешности обработки.

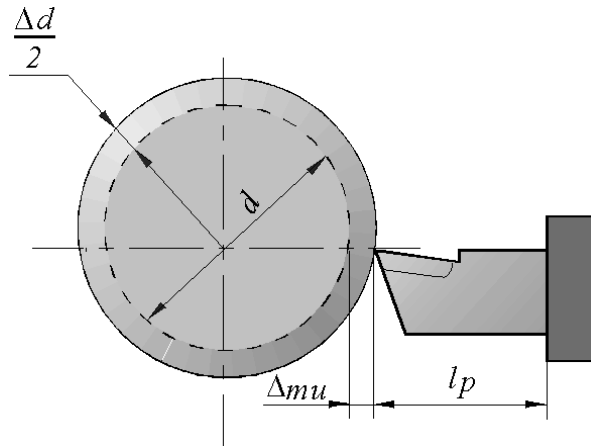


Рисунок 3.7 - Схема уменьшения диаметра обрабатываемых деталей в партии из-за температурного удлинения резца

Зависимость тепловых деформаций резцов от времени их работы, иллюстрирует процесс образования погрешности обработки от изменения размеров применяемого инструмента.

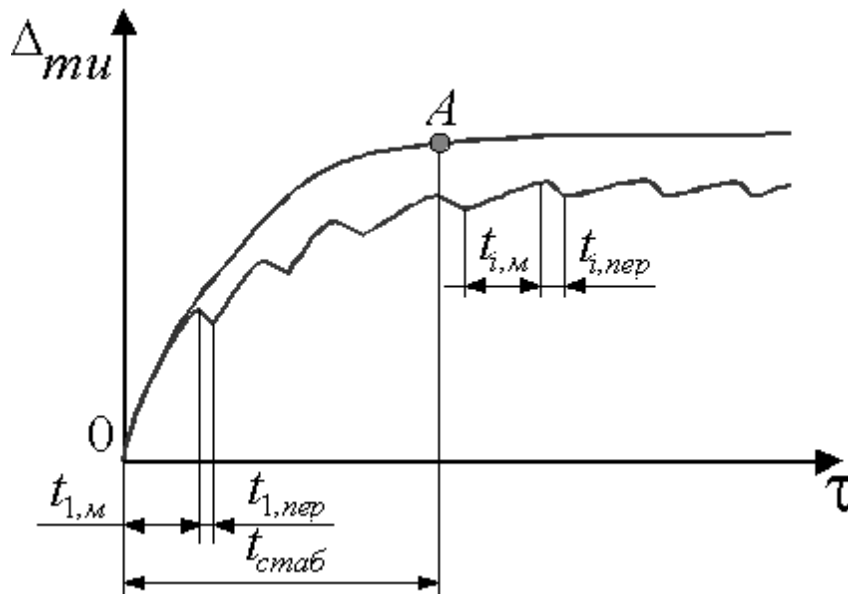


Рисунок 3.8 - Зависимость тепловых деформаций инструмента от времени его

работы.

Точка *A* на графике и соответствующее ей время  $\tau_c$  показывают момент установления *теплового равновесия системы*.

Участок *OA*, изменяющийся по экспоненциальному закону может быть описан зависимостью:

$$\Delta_{ти} = C \cdot \frac{l_p}{F} \cdot \sigma_b (t \cdot S)^{0,75} \cdot v^{0,5} \cdot \left( 1 - e^{-0,25 \cdot \tau_i} \right),$$

где *C* - эмпирический коэффициент ( $C=4...4,5$ );

$l_p$  - вылет резца, мм;

*F* - площадь поперечного сечения тела резца, мм<sup>2</sup>;

$\sigma_b$  - предел прочности обрабатываемого материала детали, кг/мм<sup>2</sup>;

*v* - скорость резания ( $v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$ ), м/мин;

*t, S* - соответственно глубина резания и подача;

$\tau$  - время работы резца (до точки *A*), мин.

Тепловое равновесие (при котором прекращается удлинение резцов) наступает примерно через 12...24 минут непрерывной работы, а общее тепловое равновесие всей *технологической системы* наступает примерно через 2-3 часа работы.

Практически же в условиях производства неизбежны перерывы в работе, поэтому с учетом перерывов (станок и инструмент успевают охладиться):

$$\Delta_{\tau} = \Delta_{ти} \left( \frac{\tau_{маш}}{\tau_{маш} + \tau_{пф}} \right)$$
$$\Delta'_{ти} = \Delta_{ти} \frac{\tau_{маш}}{\tau_{маш} + \tau_{пф}}$$

где  $\tau_{маш}$ ,  $\tau_{пф}$  - соответственно продолжительность машинного времени и времени перерывов, мин.

Для снижения влияния тепловых деформаций инструмента ( $\Delta_{ти}$ ) и обрабатываемой детали ( $\Delta_{тд}$ ) на точность механической обработки применяют: различные смазочно-охлаждающие жидкости.

Погрешности обработки, вызванные тепловыми деформациями могут достигать 30...40% от суммарной погрешности обработки.

При обработке среднеуглеродистых сталей диаметром до 50 мм, их *температурные деформации* могут достигать 20-25 мкм.

### 3.1.5 Влияние геометрической точности станка на точность обработки

Каждый станок состоит из узлов, которые в совокупности образуют единую технологическую систему. При этом одна часть узлов связана с обрабатываемой заготовкой, другая с режущим инструментом.

*Погрешности взаимного положения* неподвижно закрепленных или перемещаемых узлов станка (геометрические погрешности) обусловлены либо неточностью изготовления соответствующих элементов станка (т.е. деталей, из которых состоит узел) либо износом контактирующих поверхностей деталей.

*Погрешности изготовления* металлорежущих станков приводят к нарушению взаимного расчетного положения режущего инструмента и заготовки. То есть появляется погрешность обработки, вызванная геометрической погрешностью станка.

*Геометрические погрешности станков* регламентированы:

например, для станков нормальной точности установлены следующие нормы:

- Радиальное биение шпинделя, мм 0,01-0,015
- Торцевое биение шпинделя, мм 0,01 - 0,02
- Прямолинейность и параллельность направляющих на длине 1000мм 0,02.

Погрешности от геометрической неточности станков полностью или частично переносятся на обрабатываемые детали.

*Геометрические неточности станка* можно определить, рассматривая геометрическую связь заготовки и соответствующего элемента станка.

Так например, при непараллельности направляющих станка и оси вращения шпинделя погрешность обработки заготовки в продольном направлении будет равна:

$$\Delta_{\text{ст.пр}} = C \frac{L_{\text{д}}}{L},$$

где  $C$  - допускаемая величина отклонения параллельности направляющих к оси вращения шпинделя; ( $C=0,02...0,04$  для станков токарной группы),

$L_{\text{д}}$  - длина обрабатываемой поверхности детали;

$L$  - длина направляющих станка.

Такие погрешности станка как овальность шеек шпинделя, овальность подшипников, радиальное биение шпинделя и т.д. искажают форму поперечного сечения обрабатываемой заготовки.

Погрешности обработки заготовки (детали) в продольном  $\Delta_{ст.пр}$  и поперечном  $\Delta_{ст.поп}$  направлениях, вызванные геометрическими погрешностями станка,  $\Delta_{ст}$  суммируются как векторные величины

$$\Delta_{ст} = \sqrt{\Delta_{ст.пр}^2 + \Delta_{ст.поп}^2}$$

Таким образом, в расчетах точности обработки деталей следует учитывать влияние неточности изготовления станков.

В совокупности эти неточности приводят к формированию погрешностей формы: отклонениям от цилиндричности или круглости обрабатываемых деталей.

На рисунке показан пример неточности взаимного расположения переднего и заднего центров станка токарной группы. В случае обработки деталей на таком станке, форма последних будет представлять собой в продольном сечении гиперболоид вращения. Это обусловлено тем, что в различных сечениях  $A-A$  и  $B-B$  изменяется положение резца по отношению к обрабатываемой заготовке.

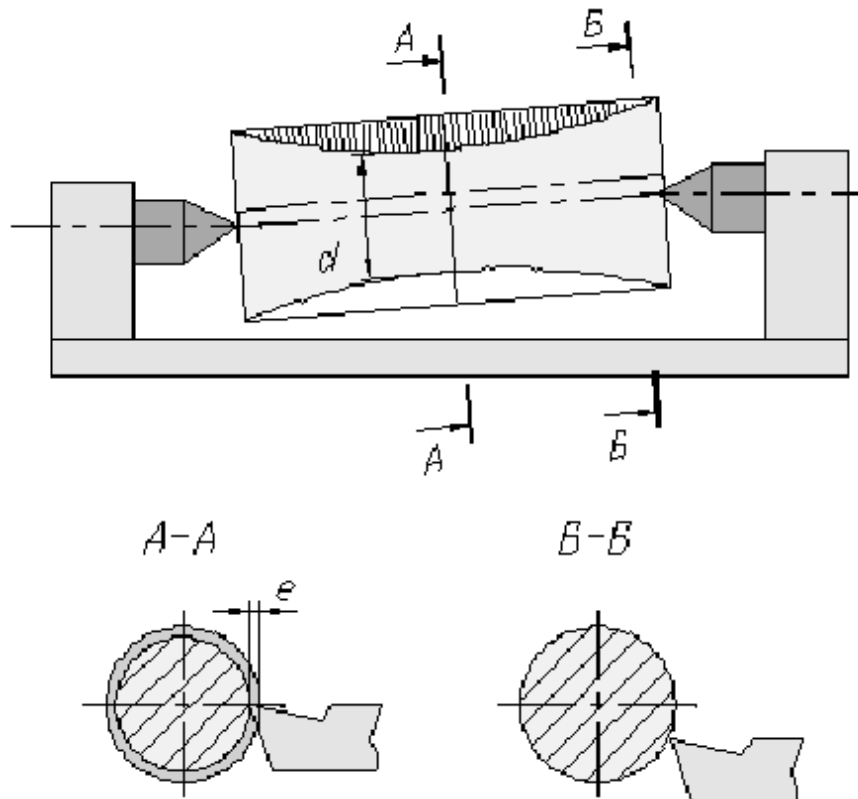


Рисунок 3.9 - Схемы формирования погрешности от неточности изготовления

элементов станка

Эти отклонения приводят к искажению формы продольного сечения обрабатываемой детали (формируется гиперболоид вращения).

*Отклонение от цилиндричности* определится как:

$$\Delta_{\text{цил}} = 2\Delta_{\text{п}} \frac{L_{\text{д}}}{L},$$

$\Delta_{\text{п}}$ - допускаемая величина отклонения от параллельности направляющих и оси шпинделя (принимается по паспорту станка или справочным данным),

$L$  - длина направляющих;

$L_{\text{Д}}$ - длина обрабатываемой поверхности детали.

*Радиальное биение шпинделя* токарного станка приводит к искажению формы обработанной заготовки в поперечном сечении.

Могут иметь место и другие погрешности пространственных отклонений обрабатываемых заготовок из-за биений патрона, центров и другие. Поэтому в каждом конкретном случае следует анализировать схему взаимодействия заготовки и механизмов станка.

### 3.1.6 Погрешност от влияния вибраций и других факторов

При выполнении технологических операций механической обработки в технологической системе неизбежно возникают нелинейные колебания и вибрации. Их основными характеристиками являются: амплитуда, частота и фаза колебаний.

Основными причинами (особенно на черновых операциях) принято считать неравномерность припуска, колебания твердости обрабатываемого материала и другие факторы.

В практических расчетах их влияние учитывается с помощью *коэффициентов динамичности*:

$K_{\text{д}} = 1,2-1,4$  –черновые операции;

$K_{\text{д}} = 1,0-1,2$  –чистовые операции.

**Погрешности от влияния сил зажима** учитывают только при обработке тонкостенных и маложестких деталей.

**Погрешности от теоретической схемы обработки** возникают в результате применения приближенной схемы обработки вместо теоретически точной, либо инструмента с приближенным профилем.

Применение методов, основанных на приближенной схеме обработки, может быть оправдано в тех случаях, когда сумма теоретических и производственных ошибок не превышает допуска, проставленного на чертеже, а замена точной схемы обработки приближенной позволяет упростить и удешевить процесс обработки.

### 3.1.7 Расчет суммарной погрешности обработки

В общем случае наиболее значимыми погрешностями, возникающими в процессе механической обработки являются:

- погрешности, вызываемые упругими деформациями технологической системы под влиянием силы резания, мкм;
- погрешности, возникающие из-за неточной настройки станка, мкм;
- погрешности, вызываемые размерным износом режущего инструмента, мкм;
- погрешность обработки, вызываемая температурными деформациями технологической системы, мкм.
- погрешности, возникающие вследствие геометрических неточностей станка, мкм.



### Рисунок 3.10 - Примеры образования погрешностей от теоретической схемы обработки

При обработке на станке ЧПУ дополнительно возникают погрешности позиционирования элементов системы и отработки программ управления.

Расчет точности (определение суммарной погрешности обработки) целесообразен в основном для операций чистовой стадии обработки, т.е. при 6...11 квалитете точности.

Тогда суммарная погрешность обработки:

- для диаметральных размеров

$$\Delta_{\Sigma} = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_u^2 + 3\Delta_T^2 + \varepsilon_y^2} + \Delta_{\phi};$$

- для линейных размеров

$$\Delta_{\Sigma} = 2\sqrt{\varepsilon_y^2 + \Delta_y^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_u^2 + 3\Delta_T^2 + \varepsilon_y^2} + \Delta_{\phi},$$

где  $\varepsilon_y$  - погрешности установки заготовки,

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\sigma}^2 + \varepsilon_z^2} + \varepsilon_{nz};$$

$\Delta_u$  - износ инструмента;

$\Delta_y$  - упругие деформации;

$\Delta_{\phi}$  - погрешности формы детали (например кривизна) с предыдущей операции.

После определения суммарной погрешности проверяется возможность обработки без брака, для чего полученные значения сравнивают с допуском по чертежу.

В случае невозможности достижения требуемой точности - необходимо предложить конкретные мероприятия по снижению первичных погрешностей.

### 3.2 Содержание отчета

- 4 Тема, цель работы.
- 5 Краткое описание порядка выполнения работы.
- 6 Схемы установок.
- 7 График зависимостей.
- 8 Вывод.

### 3.3 Вопросы для самоконтроля



1. Привести схемы погрешностей формы в зависимости от способов крепления заготовки.
2. Что такое жесткость технологической системы?
3. Соотношение жесткости технологической системы и податливости.
4. Характеризовать метод ступенчатого резания при определении жесткости системы.
5. Характеризовать метод прямой и обратной подачи.
6. Описать методы определения жесткости технологической системы.
7. Какая зависимость износа от пути резания?
8. Характеризовать периоды износа инструмента в процессе обработки заготовки.
9. Характеризовать погрешности от тепловых деформаций заготовки.
10. Характеризовать влияние геометрической точности станка на точность обработки.
11. Характеризовать погрешности от вибраций оборудования.
12. Суммарная погрешность обработки детали.

#### **4. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ**

**Цель работы:** изучить последовательность выполнения анализа технологичности детали.

##### **4.1 Общие положения**

Разработка технологического процесса начинается с тщательного изучения и технологического контроля рабочего чертежа детали. Рабочие чертежи деталей должны содержать все данные, необходимые для их изготовления: проекции, разрезы, сечения, обеспечивающие полное представление о конструктивных формах детали; размеры с указанием допустимых отклонений; параметры шероховатости обрабатываемых поверхностей; допустимые отклонения от правильных геометрических форм, допустимые пространственные отклонения во взаимном положении элементарных поверхностей детали; марку и массу детали с указанием допускаемых отклонений; прочие технические требования, предъявляемые к детали и ее элементам (термообработка, твердость, покрытие, балансировка и т.п.).

Нужно проверить наличие на чертеже всех указанных данных.

Далее, необходимо проанализировать конструкцию детали с точки зрения технологических условий ее производства. Для этого решать последовательно следующие вопросы.

Проанализировать физико-механические свойства и химический состав материала с точки зрения обрабатываемости и использования максимальных режимов резания для достижения максимальной производительности обработки при заданных параметрах качества.

Не представляет ли рассматриваемая конструкция при данном типе производства технологических трудностей при ее изготовлении и нельзя ли ее упростить без ущерба для служебного назначения детали.

Не представляется ли более целесообразным заменить рассматриваемую деталь армированной конструкцией, сварным или сборным узлом? Разумеется, что при этом, в ряде случаев, должен быть пересмотрен вопрос о материале, применяемом для изготовления детали.

Возможно, ли применение высокопроизводительных технологических методов при производстве анализируемой детали и не ограничивает ли ее конструкция режимы обработки? Возможно ли непосредственное измерение заданных размеров?

Не возникает ли технологических трудностей при обеспечении заданных допусков на размеры и требуемой шероховатости? Увязаны ли они технологически, т.е. не потребуются ли дополнительные операции или переходы для получения указанной на чертеже шероховатости.

Достаточно ли обоснованы требования по шероховатости и точности отдельных поверхностей, допускаемым отклонениям от правильных геометрических форм в зависимости от служебного назначения детали и увязаны ли они с технологическими возможностями станков?

Не вызовут ли технологических трудностей допускаемые пространственные отклонения и могут ли они быть выдержаны без усложнения технологического процесса?

Какие дополнительные операции должны быть введены для обеспечения допуска на массу и для выполнения других технических требований, предъявляемых к ее элементам? Нет ли необходимости изменить в той или иной степени эти требования?

Отдельно рассматриваются нетехнологичные элементы детали, обработка которых вызывает трудности. Обосновывается нетехнологичность этих элементов, и предлагаются и анализируются возможные варианты (вплоть до изменения конструкции) их обработки.

Для решения всех этих и др. вопросов необходимо знать назначение детали и условия ее работы в собранном изделии. Поэтому нельзя ограничиваться изучением только рабочего чертежа детали, но следует также изучить конструкцию оборочной единицы, в которую она входит и работу сборочной единицы.

После выполнения анализа делается общий вывод о технологичности детали.

## **4.2 Пример выполнения анализа технологичности детали**

Деталь вал-шестерня является телом вращения. Представленный чертеж детали содержит все необходимые проекции, разрезы и виды, обеспечивающие полное представление о конструктивных формах детали. Основные размеры указаны с допустимыми отклонениями, однако не оговорены не указанные отклонения. Учитывая служебное назначение детали, неуказанные отклонения следует принимать по  $IT \pm 12/2$ . На все поверхности указана требуемая шероховатость, однако учитывая точность поверхностей, выполненных по 6-му качеству, более целесообразно назначить на них шероховатость  $Ra 1,6$  мкм. Шероховатость зубчатого венца следует принять  $Ra 3,2$  мкм. Обозначения шероховатости не соответствуют Госстандарту и должны быть исправлены. Не указана степень точности зубчатого венца. Исходя из служебного назначения детали, следует

принять степень точности 8-С. На чертеже указаны все необходимые допустимые пространственные отклонения во взаимном положении элементарных поверхностей детали, требования по термообработке и маркировке.

Материал детали – сталь 18ХГТ, содержит 0,18% углерода, до 1% хрома, марганца и титана, остальное – железо. Данный материал удовлетворительно обрабатывается резанием, однако наличие легирующих элементов потребует корректировки режимов резания.

Деталь является достаточно жесткой, имеет удобные базовые поверхности и не вызывает особых технологических трудностей при обработке. Заменять деталь сборной или армированной конструкцией нет необходимости.

Простота конструктивных форм, жесткость конструкции, надежность технологических баз и жесткость крепления под обработку обеспечивает стабильность и точность обработки. При этом используется высокопроизводительное оборудование, технологическая оснастка. Так для токарной операции применяются станки с ЧПУ.

Простота конструктивных элементов детали позволяет наиболее производительно и точно обработать поверхности детали применением наиболее простых относительных движений инструмента и заготовки, прямолинейного поступательного и вращательного движений.

Наиболее ответственные поверхности  $\varnothing 100h6$ ,  $\varnothing 140k6$  ограничены более жесткими допусками, которые определены условиями работы детали. Однако они не выходят за пределы экономической точности и при механической обработке достигаются шлифованием.

Шероховатость свободных поверхностей определена, в основном, технологическими требованиями и назначена не жестче экономически обоснованной ( 6,3; 3,2; 1,6) по ГОСТ 25142-82 .

Шероховатость технологических базовых, основных конструктивных поверхностей назначены с учетом точности обработки неподвижно и подвижно контактных поверхностей. Шероховатость этих поверхностей конструктивно обоснована и вполне достижима шлифовальной обработкой.

Сопряжение поверхностей детали различных классов точности и шероховатости требуют применения специальных режущих инструментов: червячной модульной фрезы и хона.

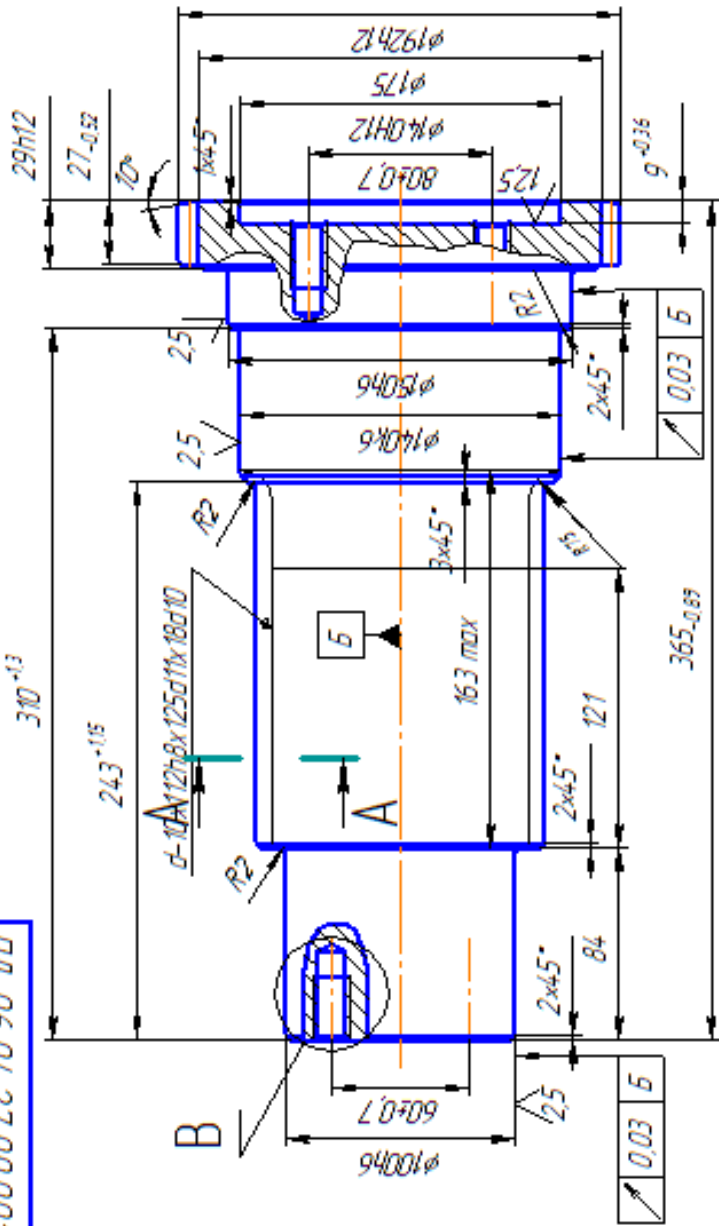
Конфигурация детали обеспечивает возможность удобного подвода и вывода режущего инструмента.

Постановка размеров увязана с последовательностью обработки и позволяет вести одновременную обработку несколькими инструментами на предварительно настроенных станках. Это существенно повышает технологичность обработки и позволяет применять стандартные режущие, контрольные инструменты и технологическую оснастку.

10066 LZ 70 90 ПУ

310<sup>+13</sup>

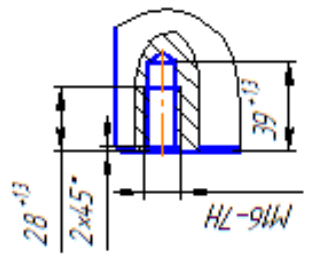
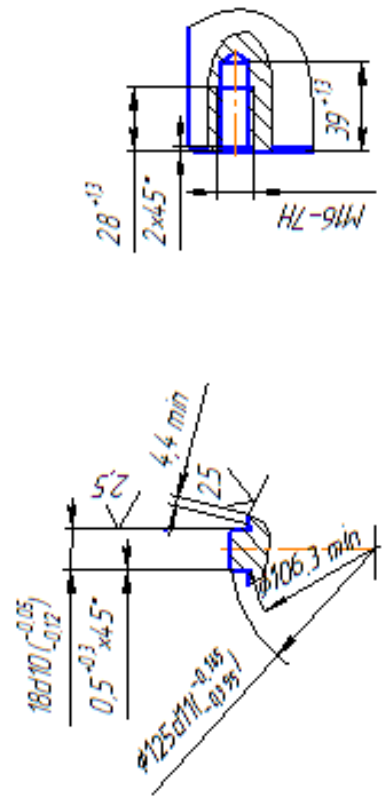
6,3  $\sqrt{(\vee)}$



Модуль	m	6
Число зубьев	Z	28
Угол профиля	$\alpha$	20°
Коэффициент высоты головки	$ha^*$	1.0
Коэффициент радиального зазора	$c^*$	0.25
Коэффициент смещения исходного контура	x	2.0
Длина общей нормали	W	107.98 <sup>±0.04</sup>
Делительный диаметр	d	168
Высота зуба	h	7.5
Обозначение	-	РА51004.00023
	Число зубьев	Z

A-A B

1. Центрировать h 0.9..1.3мм; 57.63 НРС3. Контроль осуществляется по зубчатому венцу.
2. Радиусы приуления крамок зубьев 0.3..0.5 мм. Допускается фаска 0.2..0.5x45°.
3. Маркировать шрифтом 6ПЗ ГОСТ 28020-80.
4. \* Размер для справок.
5. Размер в контролировать до термообработки.



ПД 06.04.27.99.001		Лист	Масса	Масса
Вал-шестерня		Лист	35.7	12
Исполн.	Провер.	Утвержд.	Дата	Листов
Иванов	Петров	Сидоров	06.04.27.99.001	1/2
Материал	Спецификация	Ссылка на чертеж	Ссылка на ТУ	Ссылка на стандарт
Сталь 18ХГТ	ГОСТ 4543-71		ДОНТУ каф ТМ	СТ. ЭФ. МС-02Б

В конструкции детали присутствуют нетехнологичные элементы. Шлицы выходят на поверхность большего диаметра, что приведет к неблагоприятным условиям работы фрезы – удару о торцовую поверхность. На поверхностях, выполненных по 6-му качеству, следует предусмотреть канавки для выхода шлифовального круга. Межосевое расстояние для отверстий в торцах следует принять одинаковым -  $60 \pm 0,7$  мм, что позволит применить одно приспособление без переналадки для обработки отверстий в обоих торцах.

В целом деталь технологична.

### **4.3 Порядок выполнения работы**

1. Изучить последовательность выполнения анализа технологичности детали на примере вала-шестерни.
2. По выданному чертежу выполнить анализ технологичности детали.
3. Оформить работу, отметив основные моменты, которым следует уделять внимание при выполнении анализа технологичности детали.

### **4.4 Содержание отчета**

1. Тема, цель работы.
2. Краткое описание последовательности анализа технологичности детали.
3. Копия чертежа детали.
4. Анализ технологичности детали.
5. Вывод.

### **4.5 Вопросы для самоконтроля**

1. Для чего выполняется анализ технологичности детали?
2. На каком этапе изготовления изделия выполняется анализ технологичности детали?
3. На что следует обращать внимание при анализе чертежа детали?
4. Какие основные моменты должны быть указаны в анализе технологичности детали?
5. Можете ли вы объяснить, в чем заключается нетехнологичность указанных элементов?

## II. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

### 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ШПИНДЕЛЯ ТОКАРНОГО СТАНКА

**Цель работы:** определить жесткость шпинделя токарного станка и сделать вывод о состоянии шпиндельного узла.

**Приборы и оборудование:** токарно-винторезный станок, кольцевой динамометр, индикаторная стойка, индикатор часового типа.

#### 5.1 Общие положения

Обрабатываемая заготовка, установленная на станке, с приспособлениями и режущим инструментом, представляет собой замкнутую упругую систему. Силы резания и инерции, силы закрепления, возникающие при механической обработке на металлорежущих станках, передаются на элементы упругой технологической системы СПИД (Станок – Приспособление – Инструмент - Деталь). Упругие деформации системы с точки зрения обеспечения требуемой точности обработки являются определяющими и оказывающими значительное влияние на виброустойчивость системы и производительность механической обработки. На точность обработки влияют преимущественно те деформации, которые изменяют расстояние между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой поверхностью, т.е. направленные нормально к обрабатываемой поверхности, а именно  $P_y$  – радиальная составляющая силы резания.

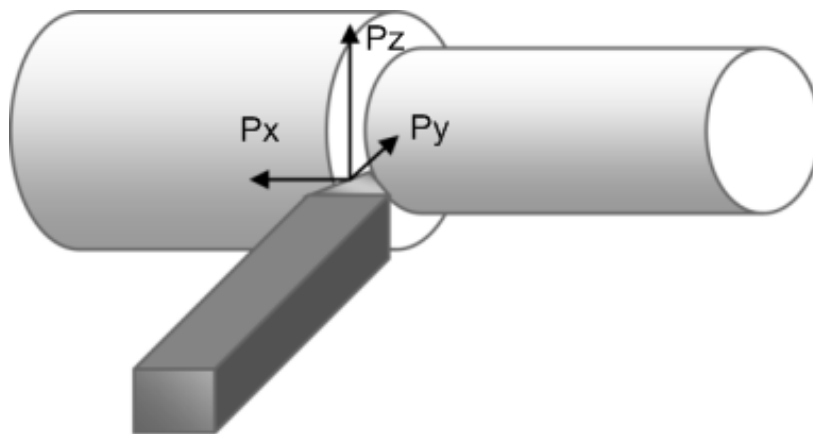


Рис.5.1 – Схема обработки детали

Незначительное влияние на деформацию оказывают и составляющие.  $P_x$  – нормальная и  $P_z$  – тангенциальная.

Таким образом, жесткость шпинделя характеризует способность шпиндельного узла противостоять действию силы резания, вызывающей деформации. В технологии

машиностроения жесткостью называют (для токарных станков) отношение радиальной составляющей силы резания  $P_y$  к смещению режущей кромки резца, относительно обрабатываемой заготовки, отсчитанное в направлении действия этой силы:

$$j = P_y / y, \quad [H/m].$$

Установлено, что с изменением нагрузки жесткость изменяется, и практически в упрощенных расчетах определяют среднюю жесткость в диапазоне эксплуатационных нагрузок от нуля до  $P_{y \max}$ . Величина, обратная жесткости, характеризующая упругие свойства элементов технологической системы и в целом системы СПИД (способность деформироваться под действием силы резания), есть податливость:

$$\omega = 1/j = y / P_y, \quad [m/H].$$

## 5.2 Порядок выполнения работы

1. Собрать лабораторную установку, рис. 5.2.

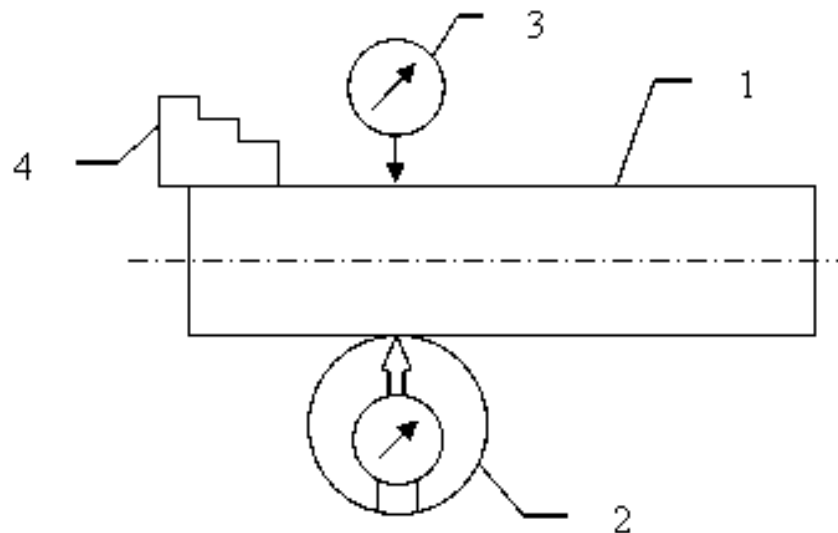


Рисунок 5.2 - Схема лабораторной установки: 1 – заготовка, 2 – кольцевой динамометр, 3 – индикатор часового типа, 4 – патрон.

2. Вращая рукоятку поперечного перемещения суппорта нагрузить-разгрузить шпиндель без выполнения замеров.
3. Подвести динамометр до касания с оправкой и медленным перемещением суппорта вывести стрелку прибора на динамометре в «0».
4. Установить стрелку индикатора на «0».
5. Произвести ступенчатое нагружение шпинделя до 750 Н с интервалом в 150 Н.

6. Для каждой ступени нагружения снимать показания индикатора с точностью до половины цены деления.
7. Разгрузить шпиндель.
8. Повторить пункты с 3 по 7 ещё четыре раза. Результаты записать в таблицу.
9. Подсчитать средние значения перемещения шпинделя для каждой нагрузки.
10. По полученным данным построить график в координатах «нагрузка-перемещение».

Таблица 5.1- Протокол измерений

№ опыта	Усилие динамометра, Н.	Результаты измерений, мм.					Средние значения, мм.	Жесткость, Н/мм.
		1	2	3	4	5		
1	150							
...								
5	750							

11. Рассчитать жесткость шпиндельного узла при различных нагрузках.
12. Определить усредненную жесткость шпиндельного узла и сравнить ее с нормативной. Для станков с высотой центров 160 мм нормативная жесткость составляет 16000н/мм.
13. Определить податливость шпинделя токарного станка как величину, обратную жесткости.
14. Сделать вывод о состоянии шпиндельного узла и возможных причинах несоответствия нормативам.
15. Оформить отчет.

### 5.3 Содержание отчета

- 9 Тема, цель работы, приборы и оборудование.
- 10 Краткое описание порядка выполнения работы.
- 11 Схема лабораторной установки.
- 12 Протокол измерений.
- 13 График зависимости перемещения от нагрузки.
- 14 Расчеты жесткости и податливости.
- 15 Вывод.

### 5.4 Вопросы для самоконтроля

1. Зачем шпиндель нагружается и разгружается в начале работы без выполнения замеров?
2. Почему выполняется несколько одинаковых измерений?  
Где следует располагать динамометр и индикатор относительно шпинделя станка для проведения лабораторной работы? Почему именно там?



3. Что такое жесткость? В каких единицах измеряется?
4. Как рассчитывается податливость шпиндельного узла?
5. В чем причина несоответствия жесткости шпиндельного узла нормативным значениям?
6. Влияет ли приспособление, установленное на шпиндель станка, на результаты измерений?

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫЛЕТА ЗАГОТОВКИ НА ВЕЛИЧИНУ ОТЖИМОВ

**Цель работы:** определить влияние места приложения сил, возникающих при резании, на точность обработки.

**Приборы и оборудование:** токарно-винторезный станок, кольцевой динамометр, индикаторная стойка, индикатор часового типа.

### 6.1 Общие положения

Рассмотрим обработку гладкого вала в центрах на токарном станке, рис.6.1.

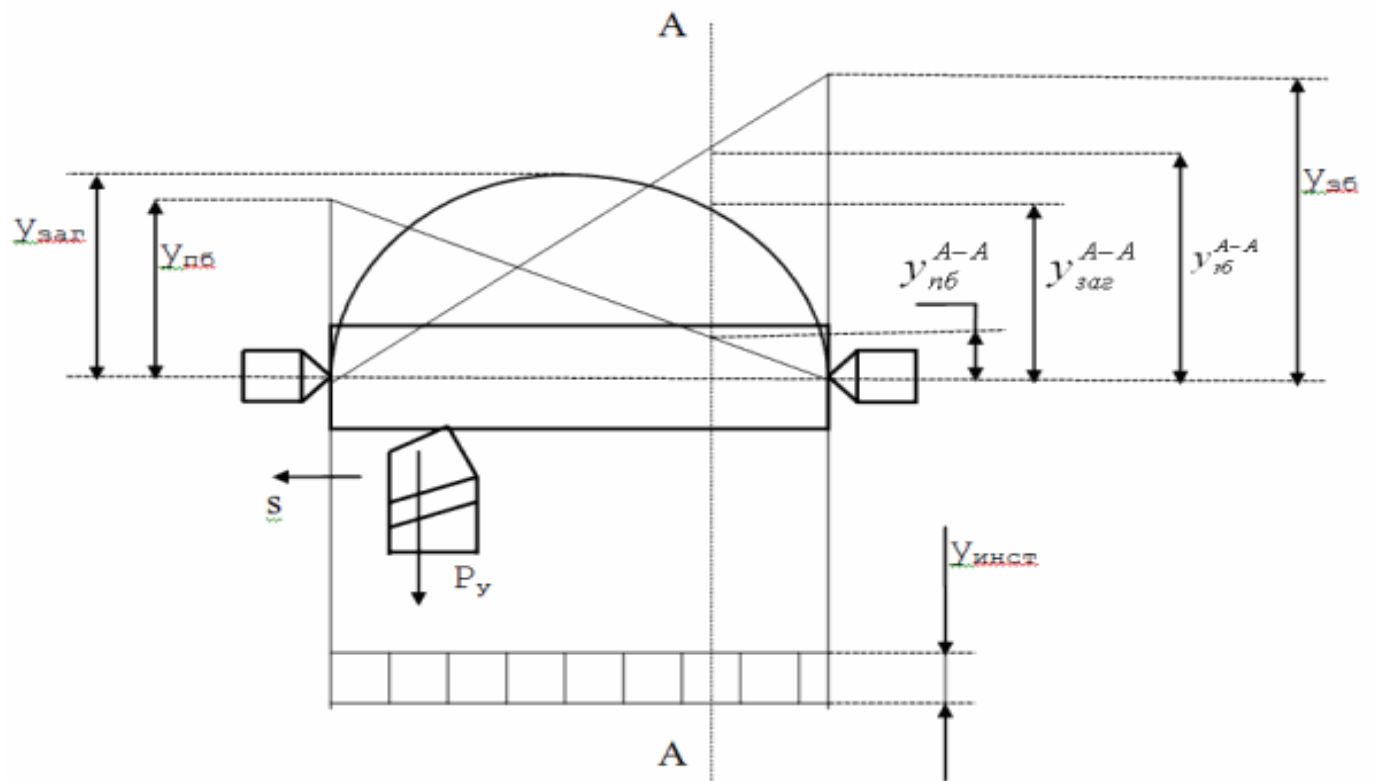


Рисунок 6.1 – Схема установки детали в приспособление

В начальный момент, когда резец находится у правого конца вала, вся нормальная

составляющая  $P_y$  усилия резания передается через заготовку на задний центр, пиноль и заднюю бабку станка, вызывая упругую деформацию названных элементов в направлении «от рабочего». Это приводит к увеличению расстояния от вершины резца до оси вращения заготовки на величину  $y_{зб}$  и к соответствующему возрастанию радиуса обработанной заготовки.

Одновременно происходит упругое отжатие  $y_{инстр}$  резца и суппорта в направления «на рабочего». Таким образом, в начальный момент диаметр обработанной поверхности фактически оказывается больше установленного при настройке на величину  $\Delta = 2(y_{зб} + y_{инстр})$ .

При дальнейшей обточке, т.е. перемещении резца от задней бабки к передней, отжатие задней бабки уменьшается, но возникает отжатие передней бабки  $y_{пб}$  и заготовки  $y_{заг}$ . Следовательно в некотором сечении А-А фактический диаметр обтачиваемой заготовки оказывается равным:

$$d_{факт}^{A-A} = d_{настр}^{A-A} + 2(y_{зб}^{A-A} + y_{пб}^{A-A} + y_{инстр}^{A-A} + y_{заг}^{A-A}).$$

Поскольку упругие отжатия элементов технологической системы (ТС) (кроме  $y_{инстр}$ ) изменяются по длине обрабатываемой заготовки, её диаметр, а следовательно и форма, оказываются переменными по длине.

Если жесткость элементов станка очень велика, а жесткость заготовки мала (обточка длинного и тонкого вала на массивном станке), то отжатия  $y_{пб}$  и  $y_{зб}$  малы, а  $y_{заг}$  значительно. В результате этого форма заготовки станет бочкообразной. Наоборот, при обработке массивной заготовки, дающей минимальный прогиб, на станке малой жесткости ( $y_{пб}$  и  $y_{зб}$  значительны) форма заготовки получается корсетообразной с наименьшим диаметром в середине заготовки.

- 1 - теоретические (заданные) образующие вала;
- 2 - фактические (полученные) образующие вала.

При обтачивании гладкого вала в центрах можно определить величину его прогиба, как прогиба балки, свободно лежащей на двух опорах. Наибольший прогиб вала по его середине

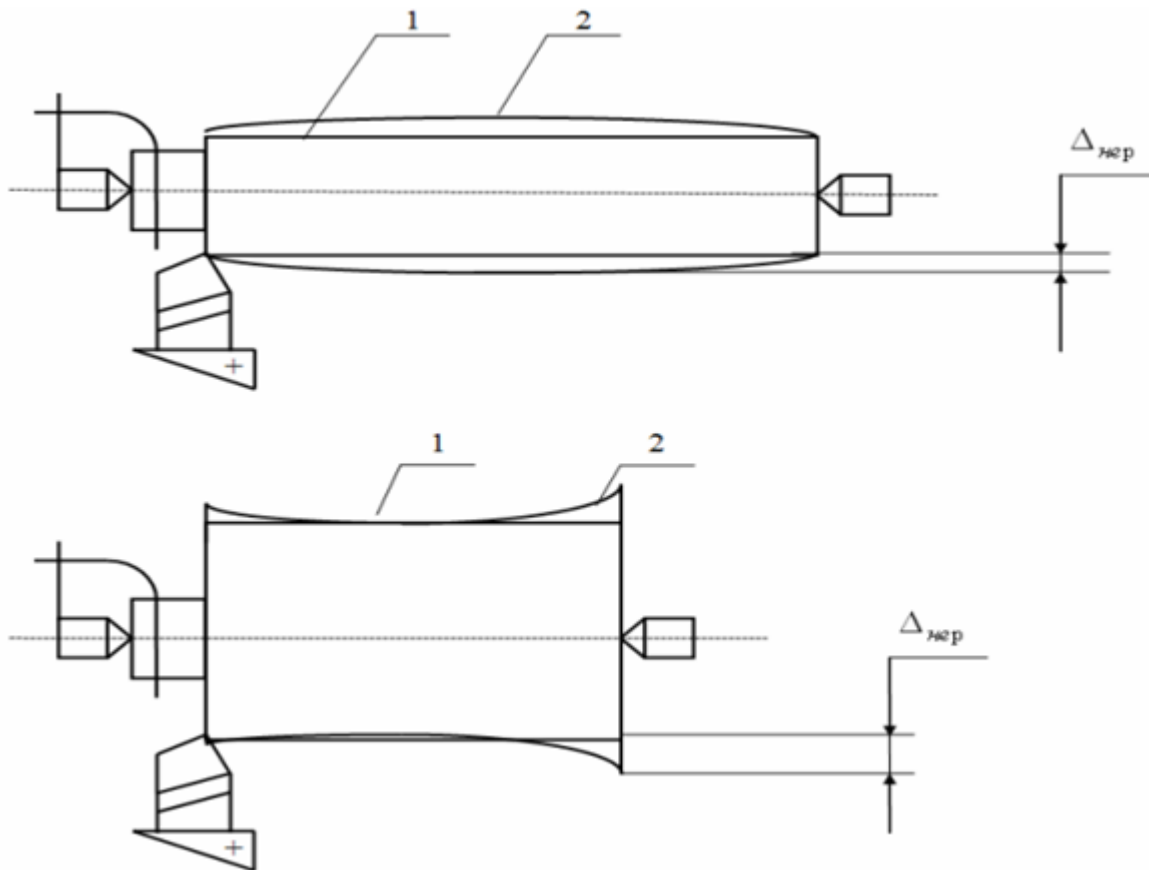


Рисунок 6.2 – Схема погрешностей обработки детали

$$y_{заг} = \frac{P_y L^3}{48EI},$$

где  $L$  - длина заготовки;  $E$  - модуль упругости;  $I$  - момент инерции сечения заготовки: для круглого вала  $I=0,05D^4$ .

Прогиб заготовки в данном случае в любом сечении, расположенном на расстоянии  $x$  от передней бабки

$$y_{заг} = \frac{P_y}{3EI} \cdot \frac{x^2(L-x)^2}{L}.$$

Для гладкого вала, консольно закрепленного в патроне,

$$y_{заг} = \frac{P_y L^3}{3EI}.$$

Если такой валик подпереть центром задней бабки, то

$$y_{заг} = \frac{P_y L^3}{100EI}.$$

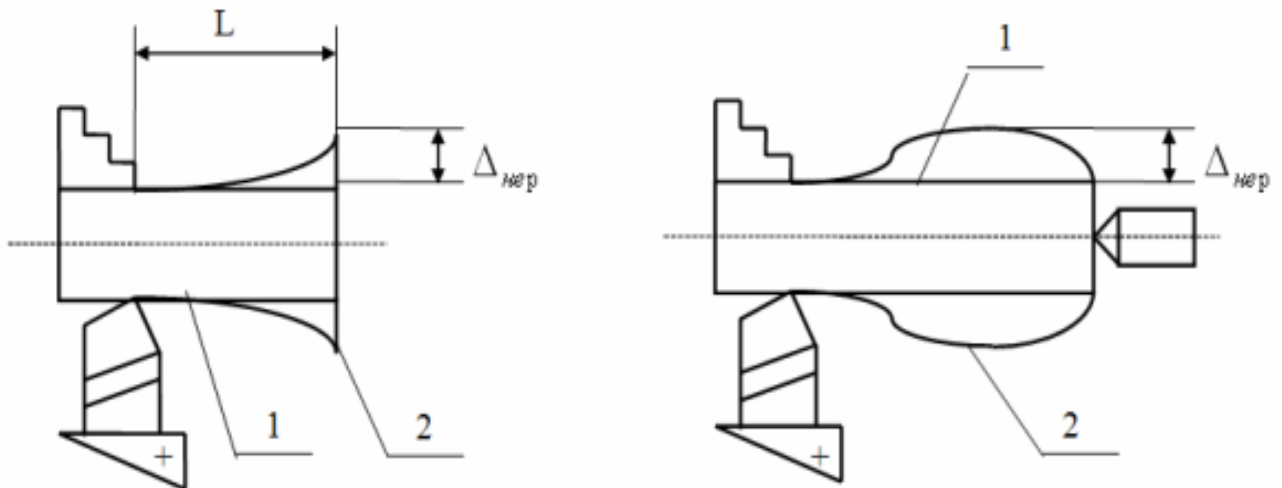


Рисунок 6.3 – Схема погрешностей формы детали

## 2.2 Порядок выполнения работы

1. Собрать лабораторную установку (рисунок 2.4).
2. Установить индикатор в точку 1. Замерить расстояние от кулачков патрона до точки измерения.
3. Вращая рукоятку поперечного перемещения суппорта нагрузить – разгрузить шпиндель без выполнения замеров.
4. Подвести динамометр до касания с оправкой в точке 1 и медленным перемещением суппорта вывести стрелку прибора на динамометре в "0".
5. Установить стрелку индикатора на "0".
6. Нагрузить оправку усилием 300 Н.
7. Записать показания индикатора.
8. Снять нагрузку.
9. Повторить пункты 3-6 три раза.

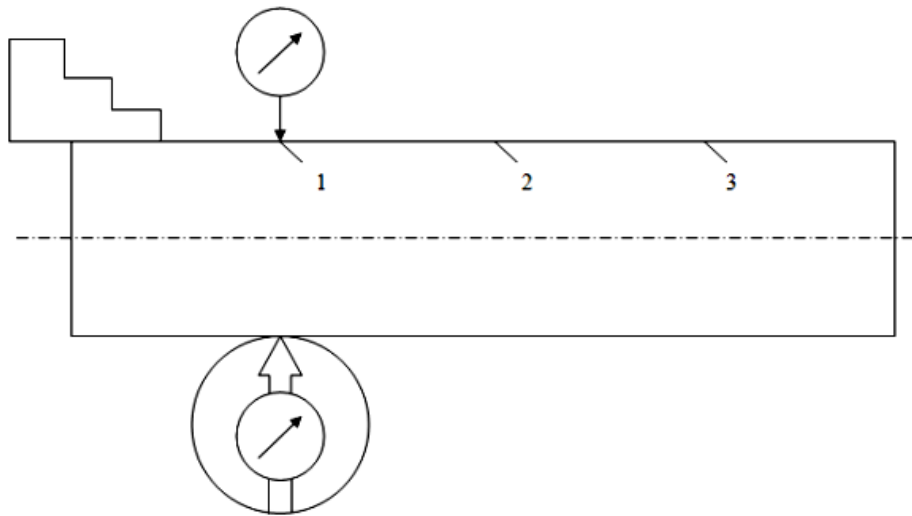


Рисунок 6.4 - Схема лабораторной установки

10. Переместить установку к точке 2.
11. Повторить пункты 3-7 три раза.
12. Переместить установку к точке 3.
13. Повторить пункты 3-7 три раза.
14. Подсчитать средние значения смещения заготовки в каждой точке. Данные занести в протокол измерений.
15. Рассчитать теоретические значения смещений для этих точек по формуле

$$y = \frac{P_y l^3}{3EI} \text{ и}$$

где  $E = 20\,000 \cdot 10^7 \text{ н/м}^2$  - модуль упругости материала заготовки,  
 $I = 0,05D^4$  – момент инерции сечения круглой заготовки.

16. Сравнить с полученными экспериментальными значениями.
17. Построить графики зависимости величины отжимов от вылета заготовки в координатах "вылет - отжимы".
18. Оформить работу, отметив влияние жёсткости шпиндельного узла на точность обработки.

Таблица 6.1- Протокол измерений

№ опыта	Вылет заготовки, мм.	Результаты измерений, мм.					Теоретические значения, мм
		1	2	3	4	Средние значения	
1							
2							
3							

### 6.3 Содержание отчета

1. Тема, цель работы, приборы и оборудование.
2. Краткое описание порядка выполнения работы.
3. Схема лабораторной установки.
4. Выполненные расчеты.
5. Протокол измерений.
6. Графики зависимости величины отжимов от вылета заготовки в координатах "вылет - отжимы".
7. Вывод.

### 6.4 Вопросы для самоконтроля

1. Зачем шпиндель нагружается и разгружается в начале работы без выполнения замеров?
2. На какие параметры качества изделия влияет величина отжатия заготовки?
3. Почему теоретические расчеты не соответствуют результатам измерений?
4. Как рассчитывается теоретическая величина смещения заготовки?
5. Какую форму будет иметь заготовка при обработке в центрах? При закреплении консольно в патроне? При закреплении в патроне и поджатии центром?
6. Каким образом вылет заготовки влияет на величину отжатия заготовки?

## 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ВЫЛЕТА ЗАГОТОВКИ ИЗ УСЛОВИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ЗАГОТОВКИ

**Цель работы:** определить величину допустимого вылета заготовки, при котором размер выдерживаемый размер получается с требуемой точностью.

### 7.1 Общие положения

Отжатие заготовки происходит под действием силы резания. При этом радиальная составляющая силы резания, оказывающая наибольшее влияние на величину отжима, может быть определена по известной зависимости:

$$P_{z, y, x} = 10C_p t^x s^y v^n K_p.$$

где  $C_p$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $n$  – коэффициент и показатели степени, определяемые для каждого конкретного случая по справочным таблицам;  
 $t$  – глубина резания, мм;

$s$  – подача, мм/об;

$v$  – скорость резания, м/мин;

$K_p$  – коэффициент, учитывающий фактические условия резания.

Под действием радиальной составляющей силы резания  $P_y$  заготовка будет изгибаться (см. рис. 3.1), причем величина деформации будет увеличиваться с увеличением вылета заготовки. При достижении критической величины вылета, величина отжима заготовки выйдет за пределы поля допуска на выдерживаемый размер – диаметр, что приведет к неисправимому браку.

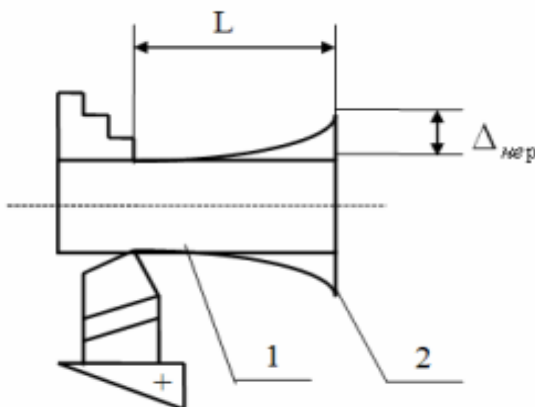


Рисунок 7.1 – Схема погрешности формы обрабатываемой детали

- 1 - теоретические (заданные) образующие вала;
- 2 - фактические (полученные) образующие вала.

## 7.2 Порядок выполнения работы

1. По полученным индивидуальным заданиям рассчитать величину радиальной составляющей силы резания  $P_y$ .
2. По графику из лабораторной работы № 1 определить величину  $\Delta y$ , как разность между значениями величины отжима, соответствующего расчетной  $P_y$  и  $P_y = 300$  Н.

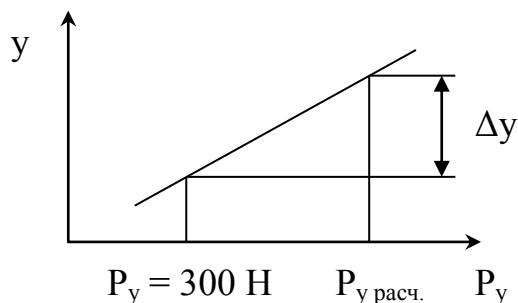


Рисунок 7.2 – График зависимости отклонений формы от сил резания

3. По данным лабораторной работы №2 построить графики зависимости величины отжимов от вылета заготовки в координатах "вылет - отжимы" – теоретически рассчитанный и эмпирический.

4. В построенной системе координат изобразить график зависимости "вылет - отжимы" для расчетного значения радиальной составляющей силы резания, учитывая разницу в усилиях  $P_y$  прибавляя или отнимая величину  $\Delta y$ .

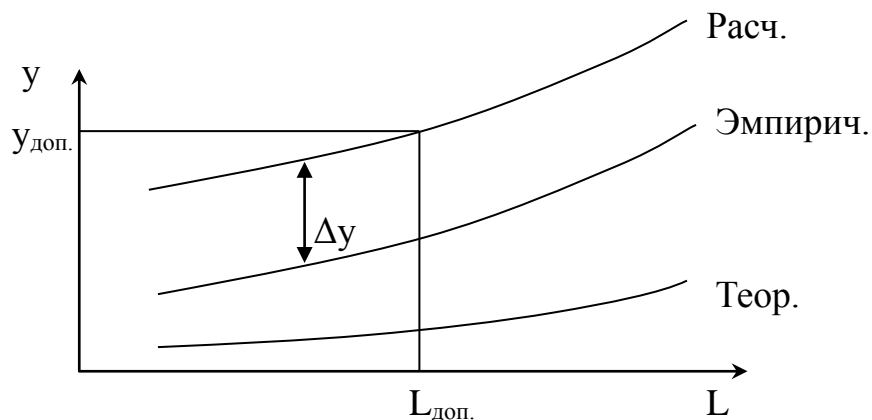


Рисунок 7.3 – График зависимостей отжимов детали от вылета заготовки

5. Определить допустимый вылет заготовки из условия получения требуемой точности (обработка ведется по 14 качеству).  
6. Рассчитать теоретическое значение допустимого вылета, используя формулу

$$y = \frac{P_y l^3}{3EI} \ddot{y}$$

где  $E=20\,000 \cdot 10^7$  н/м<sup>2</sup> - модуль упругости материала заготовки,  
 $I=0,05D^4$  – момент инерции сечения круглой заготовки.

7. Оформить отчет.

Таблица 7.1 - Варианты индивидуальных заданий

№ пп	V м/мин	S мм/об	t мм	Инструмент. материал		Обработ. материал		Главн. угол в плане	Перед Угол
				Твёрд. сплав	Быстр. сталь	Сталь	Чугун		
1	140	0,2	0,9	+		+		45°	0°
2	110	0,4	1,2	+		+		45°	0°
3	80	0,6	2,2	+		+		45°	0°
4	65	0,3	1,8		+	+		45°	15°
5	95	0,15	0,9		+	+		90°	15
6	64	0,2	1,4		+	+		90°	15
7	50	0,3	1,5	+			+	90°	0°
8	90	0,4	2,9	+			+	90°	0°
9	120	0,5	2,2	+			+	45°	15
10	70	0,6	1,9		+		+	45°	15



11	50	0,5	2,1	+			+	90°	0°
12	60	0,4	2,2	+			+	90°	0°
13	100	0,3	1,2	+		+		90°	0°
14	125	0,2	0,8	+			+	90°	0°
15	80	0,4	2,5		+	+		45°	15
16	90	0,5	1,6		+		+	45°	15
17	110	0,3	2,2		+	+		45°	15
18	150	0,2	1,4		+		+	45°	15
19	80	0,3	2,6	+		+		90°	0°
20	60	0,3	1,9		+	+		90°	15

### 7.3 Содержание отчета

1. Тема, цель работы.
2. Краткое описание порядка выполнения работы.
3. Графики зависимостей для определения  $\Delta u$  и допустимого значения вылета заготовки.
4. Выполненные расчеты теоретического значения допустимой величины вылета заготовки.
5. Вывод.

### 7.4 Вопросы для самоконтроля

1. На какие параметры качества изделия влияет величина отжатия заготовки?
2. Какой физический смысл имеет величина  $\Delta u$  и для чего она определяется?
3. На величину какого размера влияет радиальная составляющая силы резания?
4. Почему теоретическое и расчетное значения  $L_{\text{доп}}$  не равны между собой?
5. Каким способом можно уменьшить величину отжатия заготовки?
6. Каким образом вылет заготовки влияет на величину отжатия заготовки?

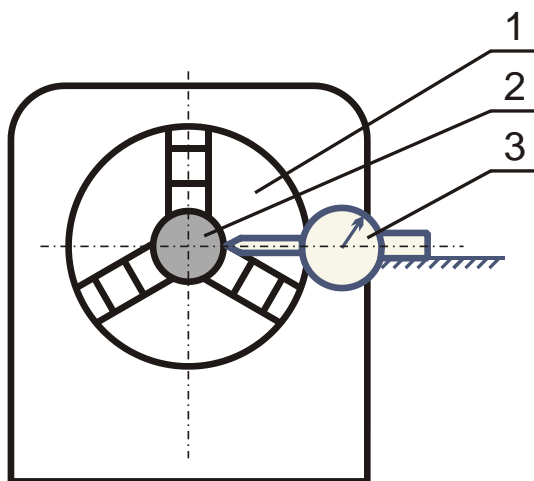
## 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ В 3-Х КУЛАЧКОВОМ ПАТРОНЕ

**Цель работы:** определить погрешность установки деталей в 3-х кулачковый патрон для проката, точёной и шлифованной заготовки. Выявить факторы, влияющие на точность установки заготовки.

**Приборы и оборудование:** токарный станок с установленным 3-х кулачковым патроном, индикатор часового типа, магнитная стойка, заготовки разных типов.

### 8.1 Ход работы

1. Собрать установку в соответствии со схемой.



- 1 – 3-х кулачковый патрон;  
 2 – заготовка;  
 3 – индикатор часового типа.

2. Произвести по 25 измерений радиального биения для каждой из трёх заготовок. При каждом замере переустанавливать заготовку с проворотом вокруг её оси. Результаты занести в протокол измерений.

Таблица 8.1 – Протокол измерений

Тип заготовки		Пруток		После точения	После шлифования
Параметр					
Биение $\Delta$ , мкм	1				
	...				
	...				
	25				
$\Delta_{cp}$ , мкм					
$\sum (\Delta_i - \Delta_{cp})^2$					
$D$					
$\sigma$					
$\Delta x$ , мкм					
$\mathcal{E}_y^3$ , мкм					
$\mathcal{E}_y^{табл}$ , мкм					

3. Рассчитать среднее значение и доверительный интервал. Среднее значение равно:

$$\Delta_{cp} = \frac{\sum \Delta_i}{n},$$

где  $\Delta_i$  – значения биения заготовки;  
 $n$  – количество экспериментов.

Доверительный интервал рассчитывается по формуле

$$\Delta x = \pm \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}},$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента;

$\sigma$  – среднее квадратичное отклонение от несмещённой дисперсии.

Коэффициент Стьюдента находится по таблице. Для этого принимаем вероятность результата равную  $P\{\bar{x} - \Delta x < x < \bar{x} + \Delta x\} = 0,95$

$n$	10	20	30	60
$t$	2,228	2,086	2,042	2,0

Несмещённая дисперсия равна

$$D = \frac{\sum (\Delta_i - \Delta_{cp})^2}{n}.$$

Тогда среднее квадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{D}.$$

4. Записать экспериментальные значения точности установки заготовок в 3-х кулачковый патрон в виде

$$\varepsilon_y^3 = \Delta_{cp} \pm \Delta x.$$

5 Выписать из таблицы (стр. 43 [1]) погрешность установки  $\varepsilon_y^{табл}$  заготовки в трёх-кулачковом патроне без выверки. Сравнить с полученными результатами и выполнить вывод.

## 8.2 Содержание отчета

1 Тема, цель работы, оборудование.

2 Краткое описание порядка выполнения работы.

3 Протокол измерений.

4 Выполненные расчеты погрешности установки заготовки и значения из справочной литературы.

5 Вывод.

## 8.3 Вопросы для самоконтроля

1 Что такое погрешность установки детали и из каких параметров она состоит?

2 Как определить среднее значение измеряемой величины?

3 Как определяется коэффициент Стьюдента?

4 Что такое среднеквадратическая величина измерений?

5 Как определить дисперсию выборки ?

**Список ссылок:** 1. Косилова А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., пераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985, - 656с.: ил.