

Министерство образования и науки Украины  
Севастопольский национальный технический университет



**Методические указания**  
к выполнению практических занятий  
по дисциплинам «Производственные процессы и  
оборудование объектов автоматизации» и «Типовые  
технологические объекты и процессы производства»  
для студентов направления 6.0925 «Автоматизация и  
компьютерно-интегрированные технологии» всех форм  
обучения

Заказ № от « » 2008. Тираж экз  
Изд-во СевНТУ

Севастополь  
2008



УДК 621.001

Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплинам «Производственные процессы и оборудование объектов автоматизации» и «Типовые технологические объекты и процессы производства» для студентов направления 6.0925 «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии» всех форм обучения /Разраб. А.В. Троценко. – Севастополь: Издательство СевНТУ, 2008. – 32 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам при выполнении практических занятий.

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Технология машиностроения» 2008 г, протокол № 9 от 29.01.08.

Допущено учебно-методическим центром и научно-методическим советом СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Карлов А.Г., доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств», канд. техн. наук.

Ответственный за выпуск: Ю.К. Новоселов, зав. кафедрой «Технология машиностроения», доктор техн. наук, профессор.

3. Справочник технолога-машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — М.: Машиностроение, 1990. — 924с.

4. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: учеб. пособие / В.И. Аверченко и др., под общ. ред. О.А. Горленко. — М.: Машиностроение, 1988. — 192с.



Продолжение табл.1

| №<br>вар | D,<br>мм            | L,<br>мм | Допуск на<br>предшеств.<br>Операции | Условия<br>закрепления<br>заготовки | n,<br>шт. | m,<br>шт. | $U_{0,9}$<br>м | $W$ ,<br>$10^{-8}$<br>м/Н |
|----------|---------------------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|----------------|---------------------------|
| 10       | 0,08<br>42<br>-0,24 | 200      | $\pm 0,310$                         | в патроне                           | 50        | 4         | 6              | 2,0—<br>3,0               |
| 11       | 40 –<br>0,062       | 100      | $\pm 0,125$                         | в центрах                           | 50        | 5         | 6              | 1,5—<br>2,0               |
| 12       | 22 –0,13            | 100      | $\pm 0,105$                         | в патроне                           | 40        | 5         | 6              | 1,5—<br>2,5               |

## 5.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы, исходные данные.
2. Результаты расчёта систематической и случайной составляющих погрешности механической обработки детали.
3. Расчет суммарной погрешности механической обработки.
4. Выводы по работе.

## 5.6. Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте комплекс систематических составляющих погрешности механической обработки.
2. Состав случайных составляющих погрешности обработки детали на станках с ЧПУ.
4. Оцените процентное соотношение каждой составляющей в суммарной погрешности.
5. Наметьте пути снижения суммарной погрешности.

## Библиографический список

1. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. — Л.: Машиностроение, 1985. — 496с.
2. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения / Ред. Ю.М. Соломенцев. — М.: Высш. шк., 1999. — 415с.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| 1. Практическое занятие № 1                            |    |
| Определение типа производства .....                    | 4  |
| 2. Практическое занятие № 2                            |    |
| Обоснование способа получения исходной заготовки ..... | 7  |
| 3. Практическое занятие № 3                            |    |
| Определение припусков на механическую обработку .....  | 13 |
| 4. Практическое занятие № 4                            |    |
| Анализ схем базирования детали .....                   | 20 |
| 5. Практическое занятие № 5                            |    |
| Определение погрешности механической обработки .....   | 23 |
| Библиографический список .....                         | 31 |

## 1. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ПРОИЗВОДСТВА

Цель занятия. Изучить методику определения и анализа типа машиностроительного производства.

## 1.1. Краткие теоретические сведения

Для предварительного определения типа производства на первоначальной стадии проектирования используют расчетное значение такта выпуска изделий, определяемое по формуле

$$\tau = \frac{60 \cdot F_{\partial} m}{N},$$

где  $F_{\partial}$  - действительный годовой фонд времени при работе в одну смену, час; m – количество смен работы; N – годовая программа выпуска изделий.

Принято считать, что при

- $\tau < 10$  – массовое производство;
- $10 < \tau < 30$  – крупносерийное производство;
- $30 < \tau < 60$  – среднесерийное производство;
- $\tau > 60$  – мелкосерийное и единичное производство.



Окончательное решение о типе производства принимается на основании расчета коэффициента закрепления операции  $K_{3.0}$  после составления маршрутной технологии и закрепления операций за оборудованием.

Значение  $K_{3.0}$  принимается для планового периода, равного одному месяцу, и определяется по формуле:

$$K_{3.0} = \frac{O}{P},$$

где  $O$  – число различных операций;  $P$  – число рабочих мест, на которых выполняются различные операции.

В зависимости от значения  $K_{3.0}$  принимают

- $K_{3.0} > 4$  – при массовом производстве;
- $4 < K_{3.0} < 10$  – при крупносерийном производстве;
- $10 < K_{3.0} < 20$  – при среднесерийном производстве;
- $20 < K_{3.0} < 40$  – при мелкосерийном производстве.

При единичном производстве  $K_{3.0}$  не регламентируется.

Если задана годовая программа выпуска изделий, то необходимо установить соотношение между трудоемкостью выполнения операций и производительностью рабочих мест, предназначенных для проведения данного технологического процесса при условии загрузки оборудования в соответствии с нормативными коэффициентами.

Располагая штучным /штучно-калькуляционным/ временем  $t_{ш(ш-к)}$  на выполнение каждой операции, определяем количество станков

$$m_p = \frac{t_{ш(ш-к)}}{\tau * \eta_{3.H.}},$$

где  $\eta_{3.H.}$  – нормативный коэффициент загрузки оборудования, который принимают равным для мелкосерийного производства – 0,8 - 0,9;

$$\Delta_{сг} = 1,2\sqrt{12,1^2 + 31,7^2} = 40,8 \text{ мкм}.$$

7. Погрешность от температурных деформаций учтем введением коэффициента  $K = 1,15$  (15% от суммарной погрешности). Таким образом, суммарная погрешность обработки

$$\Delta_{\Sigma} = 1,15 \cdot (2 \cdot 14 + 2 \cdot 28 + 40,8) = 143,5 \text{ мкм}.$$

Полученное значение удовлетворяет требованию  $\Delta_{\Sigma} < TD$  (143,5 мкм < 160 мкм).

#### 5.4. Задание к выполнению работы

Определить суммарную погрешность токарной обработки вала из стали 45. Условия обработки: минимальный припуск 0,5 мм; подача 0,3 мм/об; скорость резания 130 м/мин. Размеры вала и остальные условия обработки согласно таблицы 1.

Таблица 1 — Исходные данные для расчета суммарной погрешности

| № вар | D, мм                | L, мм | Допуск на предшеств. Операции | Условия закрепления заготовки | n, шт. | m, шт. | $U_0, 10^{-9}$ м | $W, 10^{-8}$ м/Н |
|-------|----------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|--------|--------|------------------|------------------|
| 1     | 40–0,062             | 100   | $\pm 0,125$                   | в центрах                     | 40     | 5      | 6                | 1,5—2,5          |
| 2     | 30–0,13              | 100   | $\pm 0,310$                   | в патроне                     | 80     | 5      | 3                | 2,0—3,0          |
| 3     | 35<br>–0,08<br>–0,24 | 150   | $\pm 0,125$                   | в центрах                     | 100    | 4      | 6                | 1,5—2,0          |
| 4     | 50–0,074             | 120   | $\pm 0,150$                   | в патроне                     | 150    | 5      | 3                | 2,0—3,0          |
| 5     | 42–0,08              | 200   | $\pm 0,310$                   | в центрах                     | 50     | 4      | 6                | 2,0—             |
| 6     | 22–0,13              | 100   | $\pm 0,105$                   | в центрах                     | 45     | 5      | 6                | 1,5—2,5          |
| 7     | 30–0,13              | 100   | $\pm 0,310$                   | в центрах                     | 80     | 5      | 3                | 2,0—3,0          |
| 8     | 35<br>–0,08<br>–0,24 | 150   | $\pm 0,125$                   | в патроне                     | 100    | 4      | 6                | 1,5—2,0          |
| 9     | 55–0,074             | 110   | $\pm 0,150$                   | в центрах                     | 150    | 5      | 3                | 2,0—3,0          |



$$\Delta_u = 6 \cdot (3,66 + 1) = 28 \text{ мкм}.$$

3. Определим составляющую рассеяния размера, обусловленную колебаниями деформаций технологической системы. Максимальную податливость система имеет при расположении резца посередине вала. При этом

$$W_{\max} = W_{\max \text{ ст}} + W_{\max \text{ заг}},$$

где  $W_{\max \text{ ст}}$  — максимальная податливость станка;  $W_{\max \text{ заг}}$  — максимальная податливость заготовки:

$$W_{\max \text{ заг}} = \frac{l^3}{48 \cdot E \cdot J},$$

где  $E$  — модуль упругости материала заготовки,  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па;  $J$  — момент инерции поперечного сечения;  $J = 0,05 D^4$ , м<sup>4</sup>.

$$W_{\max \text{ заг}} = \frac{200^3 \cdot 10^9}{48 \cdot 0,05 \cdot 35^4 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ мкм} / \text{Н},$$

$$W_{\max} = 2,5 \cdot 10^{-2} + 1,1 \cdot 10^{-2} = 3,6 \cdot 10^{-2} \text{ мкм} / \text{Н}.$$

Определим наибольшую и наименьшую составляющие силы резания. Поскольку предварительно заготовка обработана с допуском IT 14, колебание припуска будет равно  $\frac{1}{2}$  IT 14, что для заданного диаметра составит 0,3 мм. Тогда

$$P_{y \max} = 9,81 \cdot 243 \cdot 0,8^{0,9} \cdot 0,3^{0,6} \cdot 130^{-0,3} = 242 \text{ Н};$$

$$P_{y \min} = 9,81 \cdot 243 \cdot 0,5^{0,9} \cdot 0,3^{0,6} \cdot 130^{-0,3} = 133 \text{ Н};$$

$$\Delta_\omega = 3,6 \cdot 10^{-2} \cdot 242 - 2 \cdot 10^{-2} \cdot 133 = 6,05 \text{ мкм}.$$

Для заданного диаметального размера  $2\Delta\omega = 12,1$  мкм.

4. При обработке в центрах погрешность установки равна 0.

5. Определим погрешность настройки станка на размер. Погрешность измерения принимаем равной 15% допуска на размер:

$$\Delta_{изм} = 0,15 \cdot 160 = 24 \text{ мкм}.$$

Погрешность регулирования принимаем равной  $\Delta_p = 20$  мкм. Тогда

$$\Delta_u = \sqrt{20^2 + 24^2 + \left(\frac{12,1}{\sqrt{4}}\right)^2} = 31,7 \text{ мкм}.$$

6. Определим случайную составляющую погрешности обработки

среднесерийного – 0,75 - 0,85; крупносерийного и массового – 0,65 - 0,75.

Устанавливают число рабочих мест  $P$ , округляя до ближайшего большего целого числа полученное значение количества станков  $m_p$ . По каждой операции вычисляют значение фактического коэффициента загрузки рабочего места

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m_p}{P}.$$

Количество операций, выполняемых на рабочем месте, определяют по формуле

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}}.$$

Подсчитывают суммарные значения  $O$  и  $P$  для всех операций, определяют  $K_{з.о}$  и устанавливают тип производства.

## 1.2. Порядок выполнения работы

1. В зависимости от заданной годовой программы выпуска деталей рассчитать такт выпуска и произвести предварительный выбор типа производства.
2. Задаться нормативным коэффициентом загрузки оборудования.
3. Составить маршрутную технологию изготовления детали.
4. Рассчитать или определить по справочным таблицам штучное /штучно-калькуляционное/ время, затраченное на каждую операцию.
5. Рассчитать коэффициент закрепления операции и определить тип производства.

## 1.3. Пример выполнения работы

Определить тип производства детали, технологический процесс изготовления которой состоит из трёх операций: токарной  $t_{шт} = 2,4$  мин, протяжной  $t_{шт} = 1$  мин, зубофрезерной  $t_{шт} = 8$  мин. Годовая программа выпуска  $N = 60000$  шт. Действительный годовой фонд рабочего времени  $F_g = 2015$  час. Количество смен  $m = 2$ .

$$\text{Такт выпуска деталей } r = \frac{60 \cdot 2015 \cdot 2}{60000} = 4,03 \text{ мин}.$$



По предварительному расчёту производство массовое. Принимаем  $\eta_{з.н} = 0,7$ .

Расчётное количество станков составит: для первой операции – 0,85, второй - 0,35, третьей - 2,83.

Принимаем количество станков по операциям: первой-1, второй -1, третьей -3. Фактический коэффициент загрузки оборудования: для первой операции - 0,85, второй - 0,35, третьей - 0,94. Количество операций, выполняемых на рабочих местах соответственно 1,2,1.

Коэффициент закрепления операций

$$K_{зо} = \frac{1 + 2 + 1}{1 + 1 + 3} = 0,8.$$

Производство будет массовым.

#### 1.4. Задание к практической работе

Технологический процесс обработки стального валика в соответствии с лабораторной работой №1. Нормирование операций в соответствии с лабораторной работой №2. Годовая программа выпуска согласно таблицы 1.

Таблица 1 - Годовая программа выпуска

| №варианта | 1      | 2      | 3     | 4     | 5    | 6     |
|-----------|--------|--------|-------|-------|------|-------|
| N, шт     | 250000 | 100000 | 20000 | 10000 | 8000 | 6000  |
| №варианта | 7      | 8      | 9     | 10    | 11   | 12    |
| N, шт     | 4000   | 2000   | 1000  | 500   | 100  | 30000 |

#### 1.5. Содержание отчёта

1. Название, цель работы.
2. По заданной программе выпуска определить тип производства.
3. Выводы по работе.

#### 1.6. Контрольные вопросы

1. Как предварительно определяется тип производства.
2. Методика определения типа производства по коэффициенту закрепления операции.
3. Дать характеристику единичного и массового типов производства.

Полученное значение суммарной погрешности должно удовлетворять требованию

$$\Delta_{\Sigma} \leq TD,$$

где  $TD$  – допуск размера обрабатываемой поверхности.

#### 5.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с условиями базирования и обработки заготовок на данной операции.
2. Произвести анализ составляющих общей погрешности обработки.
3. Произвести расчет суммарной погрешности.
4. Сравнить полученное значение с допуском на размер, выполняемый на данной операции.
5. Определить процентное содержание каждой составляющей в суммарной погрешности.

#### 5.3. Пример выполнения работы

Определить суммарную погрешность токарной обработки вала из стали 45. Размеры вала: диаметр 35h11, длина 200 мм. Обработка проводится в центрах на токарно-револьверном станке. На предшествующей операции вал обработан черновым точением по IT14. Партия деталей  $n = 50$  штук. Число пробных деталей  $m = 4$ . Условия обработки: резец с пластиной из твердого сплава T15K6, минимальный припуск 0,5 мм на сторону, подача 0,3 мм/об, скорость резания 130 м/мин, податливость элементов станка  $(2—2,5)10^{-2}$  мкм/Н. Для сплава T15K6 удельный износ принимаем  $U_0 = 6$  мкм/км.

Решение:

1. Определим погрешность обработки, обусловленную геометрической погрешностью станка  $\Delta_{ст}$ . Для токарных станков нормальной точности принимаем  $c = 0,07$  мкм/мм.

При длине обработки  $L = 200$  мм  $\Delta_{ст} = 0,07 \cdot 200 = 14$  мкм.

2. Определим погрешность, обусловленную износом резца. Длина пути резания

$$L = \frac{3,14 \cdot 35 \cdot 200 \cdot 50}{0,3 \cdot 10^6} = 3,66 \text{ км};$$



составляющей силы резания,  $H$ ;  $\varepsilon_y$  – погрешность установки заготовок

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_b^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_n^2},$$

где  $\varepsilon_b$  – погрешность базирования, обусловленная несовпадением конструкторской и технологической баз, а также особенностями формы опорных поверхностей заготовки и установочных элементов приспособления;  $\varepsilon_z$  – погрешность закрепления заготовки в

приспособлении;  $\varepsilon_n$  – погрешность приспособления;  $\Delta H$  – погрешность настройки универсального станка, определяемая по формуле

$$\Delta H = \sqrt{\Delta_{рег}^2 + \Delta_{изм}^2 + \Delta_{см}^2},$$

где  $\Delta_{рег}$  – погрешность регулирования положения режущего инструмента и элементов станка;  $\Delta_{изм}$  – погрешность измерения

пробных заготовок;  $\Delta_{см}$  – поле рассеяния среднего арифметического размера пробных заготовок (поле смещения центра группирования)

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

где  $m$  – число пробных заготовок.

При обработке на станках с ЧПУ дополнительно возникают погрешности подготовки программы и ее воспроизведения, которые, в свою очередь, определяются погрешностями программирования, интерполяции, привода перемещения и позиционирования элементов станка. Вместе с тем, при работе с корректором из расчета общей погрешности может быть исключена систематическая погрешность, обусловленная износом инструмента  $\Delta_u$ , а также составляющая

рассеяния размеров из-за погрешности регулирования  $\Delta_{рег}$ . Кроме того, в связи с более жесткой конструкцией податливость станков с ЧПУ может быть принята в 2 - 4 раза меньше, чем у аналогичных универсальных станков.

Суммарная погрешность механической обработки на металлорежущих станках равна сумме систематической и случайной составляющих

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_c + \Delta_{сл}.$$

4. Дать характеристику серийного производства.

## 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

### ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ

Цель занятия. Изучить методику теоретического обоснования способа получения заготовок в машиностроительном производстве.

#### 2.1. Краткие теоретические сведения

Выбор способа получения заготовок в значительной степени определяется типом производства и программой выпуска, а также техническими возможностями заготовительных цехов предприятия и возможностями получения прогрессивных заготовок от специализированных предприятий.

Важнейшим фактором, определяющим выбор способа получения заготовок, является технологические свойства материала (жидкотекучесть, способность к пластической деформации, свариваемость). Например, если деталь изготавливается из серого чугуна, то заготовку можно получить только литьем, т.к. чугун нельзя обрабатывать давлением и он практически не сваривается. В то же время литые заготовки требуют дополнительной обработки для стабилизации формы и размеров (естественное старение, низкотемпературный отжиг и др.).

Необходимо использовать метод получения заготовки, который обеспечивает максимальное приближение к готовой детали. Однако при этом в заготовительном производстве увеличиваются расходы на технологическое оборудование и оснастку. Поэтому при выборе следует проводить технико-экономический анализ двух видов производства – заготовительного и механообрабатывающего.

При выборе способа получения заготовок возможны варианты, которые по техническим параметрам равноценны. На первом этапе выбора осуществляют предварительную оценку вариантов по основным признакам эффективности

1) Коэффициент использования материала

$$K_{им} = \frac{M_{\partial}}{M_3}, \quad (1)$$



где  $M_{\partial}$  и  $M_z$  - соответственно масса детали и заготовки, кг.

Чем больше значение  $K_{um}$ , тем при прочих равных условиях технологичнее конструкция заготовки и меньше её себестоимость.

2) Снижение материалоемкости

$$\Delta M = (M_{\partial} - M_n) \cdot N, \quad (2)$$

где  $M_{\partial}$  и  $M_n$  - соответственно масса заготовки при базовом и новом вариантах, кг; N - годовой объем выпуска деталей, шт.

3) Трудоемкость изготовления детали

$$t_n = t_{\partial} \sqrt[3]{\left(\frac{M_n}{M_{\partial}}\right)^2}, \quad (3)$$

где  $t_n$  и  $t_{\partial}$  - трудоемкость изготовления детали (н/час) или норма штучного времени (мин) соответственно при новом и базовом вариантах.

4) Стоимость заготовки и её черновой обработки:

$$\text{для проката} \quad C = M_o + C_q;$$

$$\text{для поковки} \quad C_1 = M_o + C_q + C_k;$$

$$\text{для штамповки} \quad C_2 = M_o + C_q + C_{ш} + \frac{C_{um}}{n};$$

$$\text{для литой заготовки} \quad C_3 = M_o + C_q + C_l + \frac{C_{ф.о.}}{n};$$

где  $M_o$  - стоимость основных материалов  $M_o = M_z C_m - g_o \cdot C_o$ ;

$C_m$  - стоимость материала заготовки, грн/кг;  $g_o$  - масса отходов на

одну деталь, кг  $g_o = M_z - M_{\partial}$ ;  $C_o$  - стоимость отходов, грн/кг;

$C_{ч,к,ш,л}$  - стоимость соответственно черновой обработки заготовки, кузнечных, штамповочных или литейных работ,

$$C_{ч,к,ш,л} = \frac{B \cdot t_{ш}}{60} \left(1 + \frac{g}{100}\right), \quad (4)$$

Длина пути резания при торцовом фрезеровании

$$L = \frac{l \cdot B \cdot n}{S_z \cdot Z \cdot 10^6},$$

где  $S_z$  – подача фрезы, мм/зуб; Z – число зубьев фрезы.

Температурные деформации технологической системы при лезвийной обработке упрощенно могут быть приняты равными 15 % от суммарной погрешности.

Общая систематическая погрешность определяется алгебраической суммой составляющих

$$\Delta_c = \Delta_{cm} + \Delta_u + \Delta_m.$$

При обработке тел вращения составляющие погрешности должны быть удвоены.

Случайная погрешность – составляющая погрешности, которая для различных заготовок рассматриваемой партии изменяется случайным образом, не подчиняясь никакой закономерности.

Случайная погрешность обусловлена совокупностью многих причин случайного характера, проявляющих свое действие независимо друг от друга и приводящих к рассеиванию размеров.

Поскольку законы распределения большинства составляющих случайной погрешности неизвестны, для создания некоторой гарантии точности принимают условно распределение, соответствующее закону Симпсона. Тогда случайная погрешность определяется выражением

$$\Delta_{сл} = 1,2 \sqrt{\Delta_{\omega}^2 + \varepsilon_y^2 + \Delta_n^2}.$$

Рассмотрим составляющие случайной погрешности.

$\Delta_w$  - погрешность рассеяния размеров, связанная с видом обработки и обусловленная нестационарностью процесса резания и податливости технологической системы. Статистические значения  $\Delta_w$ , как правило, приведены в справочной литературе. Составляющую рассеяния размеров, обусловленную колебанием упругих деформаций технологической системы вследствие неустойчивости составляющей силы резания  $P_y$  и податливости системы при обработке, можно определить по формуле

$$\Delta_{\omega} = W_{\max} P_{y \max} - W_{\min} P_{y \min},$$

где  $W_{\max}$ ,  $W_{\min}$  – наибольшая и наименьшая податливость системы, мкм/Н;  $P_{y \max}$ ,  $P_{y \min}$  – наибольшее и наименьшее значения радиальной



причинами систематического и случайного характера. Соответственно погрешности, возникающие вследствие этих причин, делятся на систематические и случайные.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся для всех заготовок рассматриваемой партии.

Основными причинами возникновения систематической погрешности являются:

- геометрическая погрешность станка  $\Delta_{cm}$ ;
- износ режущего инструмента  $\Delta_u$ ;
- температурные деформации технологической системы  $\Delta_m$ .

Погрешность обработки, обусловленную геометрической погрешностью станка, можно определить в первом приближении по формуле

$$\Delta_{cm} = c \cdot l,$$

где  $c$  – удельное отклонение от параллельности относительного перемещения заготовки и режущего инструмента, мкм/мм;  $l$  – длина обрабатываемой поверхности, мм.

Погрешность, обусловленную износом режущего инструмента, определяют по формуле

$$\Delta_u = U_0 \cdot (L + L_{доп}),$$

где  $U_0$  – удельный износ инструмента, мкм/мм;  $L$  – длина пути резания, мм;  $L_{доп}$  – дополнительный путь резания, учитывающий начальный период более интенсивного износа, мм. Обычно принимают  $L_{доп} = 1$  мм.

При фрезеровании в связи с прерывистым характером процесса резания удельный износ больше, чем при точении

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

где  $B$  – ширина фрезерования, мм.

Длина пути резания при токарной обработке партии заготовок

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot l \cdot n}{S \cdot 10^6},$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемой поверхности, мм;  $n$  – число заготовок в партии;  $S$  – продольная подача, мм/об.

$B$  – часовая зарплата основных рабочих с учетом коэффициента выполнения норм, премий, дополнительной зарплаты и отчислений по

социальному страхованию, грн/час;  $t_{ш}$  – штучное время на выполнение соответствующих работ, мин.;  $g$  – накладные расходы

соответствующих цехов, %;  $C_{шт}$ ,  $C_{ф.о}$  – стоимость соответственно штампа и формовочной оснастки, грн;  $n$  – количество заготовок, изготавливаемых с применением штампа или формовочной оснастки.

Если в стоимость материала заготовки включить расходы, связанные с её получением, то стоимость заготовки и черновой обработки можно представить в виде

$$C = M_z \cdot C_m^{np} - g_o \cdot C_o + C_q, \quad (5)$$

где  $C_m^{np}$  – приведенная стоимость материала заготовки, грн.

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

$$W_{np} = C \cdot N + E_n \cdot K,$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности, равный 0,15;  $K$  – годовые капитальные вложения, грн.

Вариант, для которого  $W_{np}$  будет меньше, считается наиболее целесообразным. При отсутствии дополнительных капитальных вложений определяют экономии по себестоимости

$$\Delta C = (C_{б} - C_n) \cdot N,$$

где  $C_{б}$  и  $C_n$  – стоимость изготовления деталей из заготовок базового и нового вариантов.

## 2.2. Порядок выполнения работы

1. В зависимости от материала детали, её формы, размеров, основных технических характеристик и объема выпуска установить равноценные варианты получения заготовки.

2. Произвести предварительную оценку эффективности технически равноценных методов получения заготовок по коэффициенту использования материала, снижению материалоемкости и трудоемкости изготовления.



3. Оценить стоимость заготовки и её черновой обработки для каждого из сравниваемых вариантов.

4. Определить суммарные приведенные затраты для каждого варианта.

5. Определить экономический эффект для наиболее целесообразного варианта получения заготовки.

### 2.3. Задание на практическую работу

Задача 1. Заготовку втулки (рисунок 1) изготавливают из углеродистой стали различными способами (таблица 1). Масса детали 1,08 кг. Рассчитать технико-экономические показатели различных вариантов получения заготовки при годовом объеме выпуска деталей 5000 шт. Экономические показатели вариантов приняты условно. Стоимость материалов заготовки принята с учетом расходов, связанных с её получением. Стоимость отходов 80 коп/кг. Часовая тарифная ставка токаря 3,6 грн. Накладные расходы механического цеха 100%.

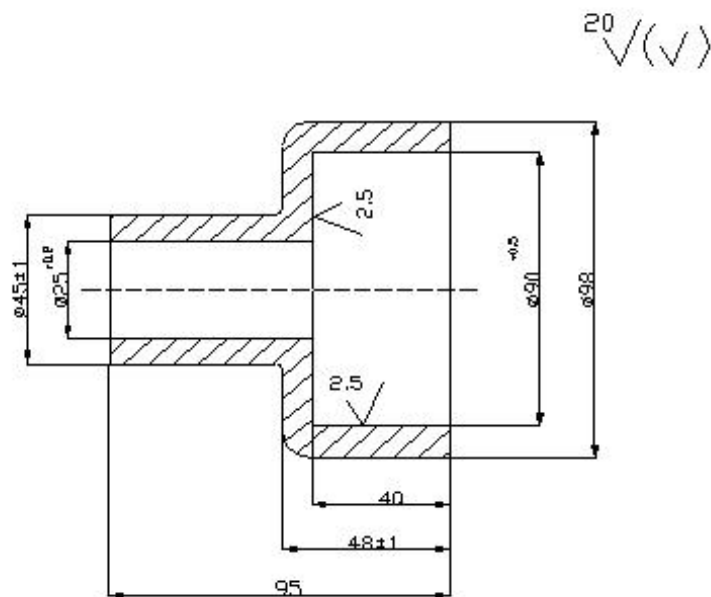


Рисунок 1 – Эскиз втулки

2. Разработать маршрутный техпроцесс изготовления детали.

3. Составить теоретические схемы базирования для каждой операции техпроцесса и привести наименования баз согласно классификации.

### 4.3. Содержание отчета

1. Наименование, цель работы.
2. Схемы базирования для каждой операции технологического процесса.
3. Классификация баз.
4. Отчет по работе.

### 4.4. Контрольные вопросы

1. Характеристика позиционных связей и базирования детали.
2. Примеры базирования при фрезеровании плоской заготовки.
3. Классификация баз по числу лишаемых степеней свободы.
4. Примеры реализации двойной направляющей и двойной опорной баз.
5. Классификация баз по характеру проявления.
6. Классификация баз по назначению и области применения.
7. Основные принципы базирования в технологии машиностроения.
8. Изобразить теоретическую схему базирования детали на технологической операции.

## 5. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Цель занятия. Изучить методику определения систематической и случайной составляющих погрешности механической обработки деталей на универсальном оборудовании и станках с ЧПУ.

#### 5.1. Краткие теоретические сведения

Процесс механической обработки заготовок на металлорежущих станках сопровождается погрешностями, вызываемыми различными



Измерительная база – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

Установочная база – лишаящая заготовку или изделие трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворотов вокруг двух других осей.

Направляющая база – лишаящая заготовку двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой.

Опорная база – лишаящая заготовку или изделие одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси.

Двойная направляющая база – лишаящая заготовку или изделие четырех степеней свободы – перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих осей.

Двойная опорная база – лишаящая заготовку или изделие двух степеней свободы – перемещений вдоль координатных осей.

Явная база – база заготовки или изделия в виде реальной поверхности, разметочной риски или точки пересечения рисок.

Скрытая база – условные точки, символизирующие связи заготовки с избранной системой координат.

Теоретическая схема базирования может служить заданием для разработчика приспособления (рисунок 1).

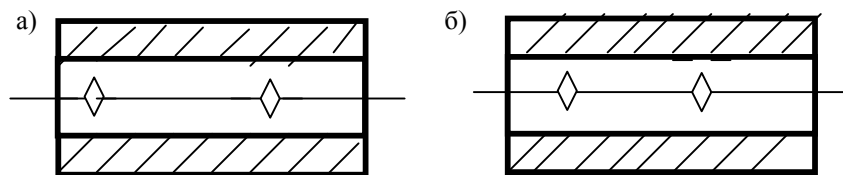


Рисунок 1 - Схема базирования детали

Схема базирования а) предполагает использование явной базы отверстия, что обеспечивается жесткой цилиндрической оправкой с гайкой. Схема базирования б) предполагает беззазорное базирование с помощью разжимной, конусной или цилиндрической с прессовой посадкой оправки.

#### 4.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с чертежом детали.

Таблица 1 – Исходные данные

| Исходные данные                             | Методы получения заготовок |                 |              |           |                       |                          |
|---------------------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------|-----------|-----------------------|--------------------------|
|                                             | Прокат                     | Свободная ковка | Ковка на ГKM | Штамповка | Литье в песчан. формы | Литье по выплав. моделям |
| Масса заготовки, кг                         | 4,4                        | 3,3             | 2,4          | 2,6       | 2,1                   | 1,2                      |
| Трудоемк. черновой обработки, мин           |                            |                 |              |           | 5,2                   |                          |
| Прив. стоимость материала заготовки, грн\кг | 7                          | 8,2             | 10           | 8,7       | 11,3                  | 13,6                     |
| Варианты исполнения                         | 1.1                        | 1.2             | 1.3          | 1.4       | 1.5                   | 1.6                      |

Задача 2. Полый вал (рисунок 2) из углеродистой стали изготавливают различными способами (таблица 2). Масса вала 12 кг. Рассчитать технико-экономические показатели и выбрать наиболее целесообразный способ получения заготовки при годовом объеме выпуска деталей 3000 шт. Остальные экономические показатели согласно задачи 1.



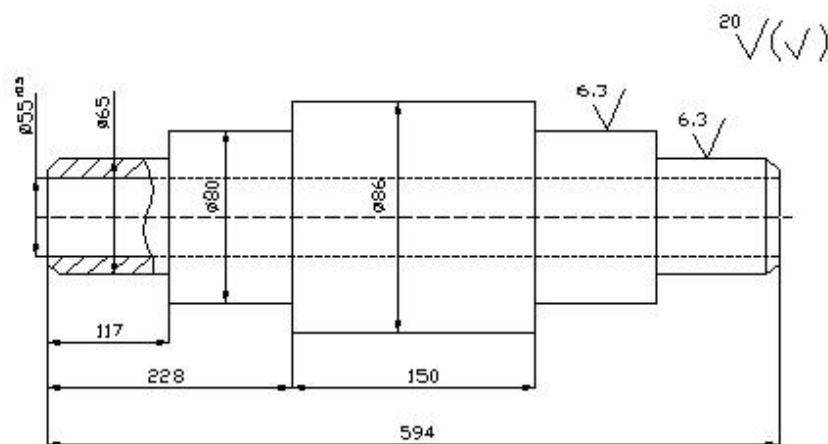


Рисунок 2 – Эскиз полого вала

Таблица 2 – Исходные данные

| Исходные данные                                   | Методы получения заготовок |                      |                  |                |
|---------------------------------------------------|----------------------------|----------------------|------------------|----------------|
|                                                   | Прокат                     | Штамповка на прессах | Штамповка на ГKM | Трубный прокат |
| Масса заготовки, кг                               | 30                         | 25                   | 20               | 18             |
| Трудоемкость черновой обработки, мин              | 30                         |                      |                  |                |
| Приведенная стоимость материала заготовки, грн/кг | 7                          | 17                   | 20               | 9,3            |
| Варианты исполнения                               | 2.1                        | 2.2                  | 2.3              | 2.4            |

## 2.4. Содержание отчета

1. Название, цель работы, исходные данные.

На схеме базирования все опорные точки изображают условными знаками и нумеруют порядковыми номерами, начиная с базы, на которой располагается наибольшее количество опорных точек.

Схему расположения опорных точек на базах заготовки или изделия называют схемой базирования. В зависимости от того, какие технологические задачи решаются в процессе обработки при базировании заготовки в приспособлении или на станке, может быть использована одна, две или три базы, имеющие на себе в общей сложности три, четыре, пять или шесть опорных точек. Число проекций заготовки или изделия на схеме базирования должно быть достаточным для четкого представления о размещении опорных точек.

В тех случаях, когда закрепление заготовки совмещается с опорой (что бывает при использовании для закрепления заготовки кулачкового патрона или разжимной оправки), на операционных эскизах можно указать не только опорные точки на базах, но и направление усилий зажима.

Установка заготовки характеризуется выбором рациональной схемы базирования и действием сил закрепления. Обеспечивается это путем применения различных по конструкции механических, пневматических, электрических, вакуумных и других зажимных устройств, основанных на использовании сил трения в местах контакта зажимных элементов и заготовки.

Базирование необходимо для всех стадий создания изделия: конструирования, изготовления и измерения. Базы разделяют по назначению на три вида: конструкторские, технологические и измерительные.

Группу конструкторских баз составляют основные и вспомогательные базы. Это подразделение конструкторских баз действительно как для изображения изделия на чертеже, так и изготовленного изделия. Необходимость такого подразделения вытекает из различия роли основных и вспомогательных баз и важности учета этого при выборе конструктивных форм поверхностей деталей, задании их относительного положения, простановки размеров, разработки норм точности и т.д.

Конструкторская – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Конструкторские базы подразделяют на основные и вспомогательные.

Технологические базы – это те базы, которые используются для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.



4. Дать характеристику серийного производства.

## 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

### ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ИСХОДНОЙ ЗАГОТОВКИ

Цель занятия. Изучить методику теоретического обоснования способа получения заготовок в машиностроительном производстве.

#### 2.1. Краткие теоретические сведения

Выбор способа получения заготовок в значительной степени определяется типом производства и программой выпуска, а также техническими возможностями заготовительных цехов предприятия и возможностями получения прогрессивных заготовок от специализированных предприятий.

Важнейшим фактором, определяющим выбор способа получения заготовок, является технологические свойства материала (жидкотекучесть, способность к пластической деформации, свариваемость). Например, если деталь изготавливается из серого чугуна, то заготовку можно получить только литьем, т.к. чугун нельзя обрабатывать давлением и он практически не сваривается. В то же время литые заготовки требуют дополнительной обработки для стабилизации формы и размеров (естественное старение, низкотемпературный отжиг и др.).

Необходимо использовать метод получения заготовки, который обеспечивает максимальное приближение к готовой детали. Однако при этом в заготовительном производстве увеличиваются расходы на технологическое оборудование и оснастку. Поэтому при выборе следует проводить технико-экономический анализ двух видов производства – заготовительного и механообрабатывающего.

При выборе способа получения заготовок возможны варианты, которые по техническим параметрам равноценны. На первом этапе выбора осуществляют предварительную оценку вариантов по основным признакам эффективности

1) Коэффициент использования материала

$$K_{им} = \frac{M_{д.}}{M_{з.}}, \quad (1)$$

2. В соответствии с условиями задачи 1 или 2 рассчитать основные показатели эффективности заданного способа получения заготовки.
3. Представьте эскиз заготовки.
4. Выводы по работе.

#### 2.5. Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте способы получения исходных заготовок в машиностроительном производстве.
2. Приведите основные признаки эффективности способа получения заготовки.
3. Приведите основные технические характеристики детали и производства, определяющие способ получения заготовки.
4. Определите суммарные приведенные затраты и экономический эффект для наиболее целесообразного варианта получения заготовки.

## 3. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИПУСКОВ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Цель занятия. Изучить последовательность определения общих и операционных припусков при механической обработке деталей в машиностроительном производстве.

#### 3.1. Краткие теоретические сведения

Припуском называют слой материала, удаляемый в процессе механической обработки заготовки для достижения заданного качества обрабатываемой поверхности. Различают припуски операционные и общий.

Операционный припуск – это слой материала, удаляемый с заготовки при выполнении одной технологической операции.

Общий припуск – это слой материала, удаляемый с исходной заготовки для получения готовой детали с заданными чертежом параметрами качества.

Общий номинальный припуск  $z_{ном}$  определяется разностью номинальных размеров исходной заготовки  $D_{и.з.}$  и готовой детали  $D_{д.}$ , и равен сумме номинальных припусков  $z_{i ном}$  на отдельные операции



$$Z_{\text{ном}} = D_{\text{и.з.}} - D_{\text{д}} = \sum_{i=1}^n z_{\text{инно}},$$

где  $n$  – общее количество операций обработки детали.

Определение общих припусков расчетно-аналитическим методом базируется на расчёте минимальных операционных припусков, каждый из которых содержит составляющие, обусловленные соответствующими погрешностями обработки (рис.1).

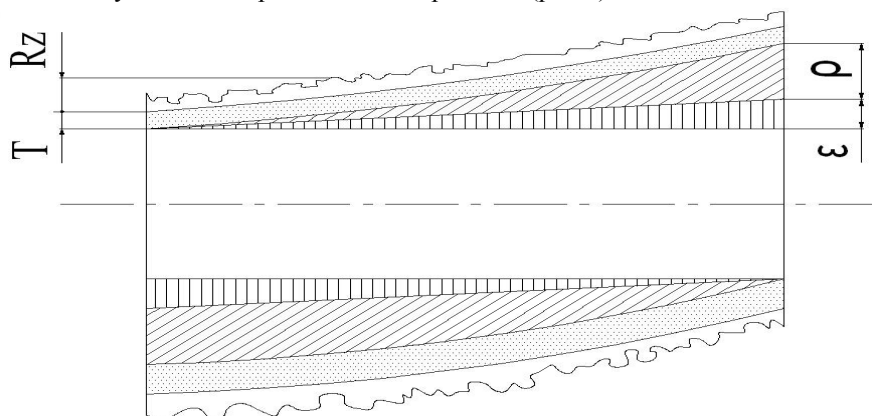


Рисунок 1 – Составляющие минимального операционного припуска

Расчётные формулы для определения минимального операционного припуска на обработку:

поверхностей вращения  $2 z_{i \min}$  и их торцов  $z_{i \min}$

$$2 z_{i \min} = 2 (R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_i^2});$$

плоских поверхностей

$$z_{i \min} = R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \epsilon_i,$$

где:  $R_{zi-1}$ ,  $T_{i-1}$  и  $\rho_{i-1}$  – соответственно шероховатость поверхности, глубина поверхностного дефектного слоя, погрешности формы и пространственных отклонений относительного расположения обрабатываемой и базовой поверхностей, полученные на операции, предшествующей данной  $i$ -той операции;  $\epsilon_i$  – погрешность установки, возникающая на выполняемой операции.

Значения составляющих минимального припуска приведены в справочной литературе.

Таблица 1 – Исходные данные, мм

| № Варианта | D                | L   | R <sub>z</sub> заг | T <sub>заг</sub> | δ <sub>заг</sub>      | R <sub>z</sub> ток | $\frac{\Delta_{K_2}}{M}$ мм | T <sub>ток</sub> | Уто чн. ε <sub>ток</sub> | δ <sub>ток</sub> | ε <sub>у ток</sub> |
|------------|------------------|-----|--------------------|------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------|------------------|--------------------|
| 1          | 50<br>-<br>0.062 | 100 | 0.3                | 0.3              | ±0.5                  | 0.1<br>0           | 0.1<br>5                    | 0.1<br>0         | 0.05                     | -<br>0.25        | 0.05               |
| 2          | 45<br>-<br>0.062 | 150 | 0.06               | 0.0<br>6         | -<br>0.3<br>4         | 0.0<br>5           | 1.3                         | 0.0<br>5         | 0.06                     | -<br>0.16        | 0.03               |
| 3          | 40<br>-0.1       | 120 | 0.2                | 0.3              | +0.3<br>-<br>0.0<br>6 | 0.1                | 0.5                         | 0.1              | 0.06                     | -<br>0.25        | 0.05               |
| 4          | 25<br>-<br>0.033 | 80  | 0.06               | 0.0<br>6         | ±0.5                  | 0.0<br>5           | 1                           | 0.0<br>5         | 0.04                     | -<br>0.21        | 0.03               |
| 5          | 50<br>-<br>0.062 | 100 | 0.3                | 0.3              | ±0.5                  | 0.1                | 0.1<br>2                    | 0.1<br>0         | 0.06                     | -<br>0.25        | 0.05               |
| 6          | 42<br>-<br>0.039 | 180 | 0.2                | 0.3              | +0.4<br>-0.7          | 0.1                | 2                           | 0.1<br>0         | 0.05                     | -<br>0.16        | 0.1                |
| 7          | 45<br>-<br>0.062 | 150 | 0.06               | 0.0<br>5         | -<br>0.3<br>4         | 0.0<br>5           | 1.2                         | 0.0<br>5         | 0.04                     | -<br>0.16        | 0.03               |
| 8          | 40<br>-0.1       | 110 | 0.2                | 0.3              | +0.3<br>-0.6          | 0.1                | 0.5                         | 0.1              | 0.06                     | -<br>0.25        | 0.05               |
| 9          | 25<br>-<br>0.033 | 90  | 0.06               | 0.0<br>6         | ±0.5                  | 0.0<br>5           | 1                           | 0.0<br>5         | 0.06                     | -<br>0.21        | 0.03               |
| 10         | 42<br>-<br>0.039 | 170 | 0.2                | 0.2              | +0.4<br>-0.7          | 0.1                | 1.3                         | 0.1              | 0.05                     | -<br>0.16        | 0.1                |
| 11         | 35<br>-<br>0.039 | 140 | 0.06               | 0.0<br>6         | +0.3<br>-0.6          | 0.0<br>5           | 0.1<br>2                    | 0.0<br>5         | 0.06                     | -<br>0.16        | 0.03               |
| 12         | 55<br>-<br>0.062 | 130 | 0.3                | 0.2              | ±0.5                  | 0.1                | 1.3                         | 0.1              | 0.06                     | -<br>0.21        | 0.03               |

### 3.6. Контрольные вопросы

1. Дать понятия припуска, операционного, общего, минимального, номинального и максимального припусков.



$$2z_{1\max} = 0,3 + 0,16 + 0,039 = 0,499 \text{ мм};$$

по методу автоматического получения размеров

$$2z_{1\max} = 0,3 + 0,16 - 0,039 = 0,421 \text{ мм}.$$

Номинальный операционный размер для чистового точения согласно рис. 2а

$$D_1 = 45 + 0,421 = 45,421 \text{ мм}.$$

Черновое точение

$$2z_{2\min} = 2(150 + 250 + \sqrt{6^2 + 360^2}) = 1520 \text{ мкм} = 1,52 \text{ мм};$$

$$2z_{2\text{ном}} = 1,52 + 0,7 = 2,22 \text{ мм}.$$

Диаметр исходной заготовки

$$D_{\text{и.з.}} = 45,421 + 2,46 - 0,4 = 47,481 \text{ мм}.$$

По сортаменту на прокат уточняем диаметр исходной заготовки

$$D_{\text{и.з.}} = 48^{+0,4}_{-0,7}. \text{ При этом фактические размеры припуска на}$$

черновое точение

$$2z_{2\max}^{\phi} = 48 + 0,4 - 45,421 = 2,979 \text{ мм}.$$

### 3.4. Задание к выполнению работы

1. Определить операционные припуски и размеры детали и исходной заготовки. Деталь – вал, заготовка – прокат обычной точности. Обработка – черновое и чистовое точение цилиндрической поверхности на предварительно настроенных станках по методу автоматического получения размеров. Исходные данные – см. таблицу 1.

2. Составить схему расположения припусков и допусков.

### 3.5. Содержание отчета

1. Название, цель работы, исходные данные.
2. Расчет припусков и размеров исходной заготовки.
3. Схема расположения припусков и допусков по методу автоматического получения размеров на настроенных станках.
4. Выводы по работе.

После определения минимальных припусков устанавливают

размеры максимальных операционных припусков  $z_{i\max}$ , которые обусловлены операционными допусками на получаемые размеры и методом достижения точности механической обработки.

При работе на предварительно настроенных станках по методу автоматического получения размеров за один проход при преобладающем влиянии на погрешность обработки упругих деформаций технологической системы схема расположения операционных припусков для чернового и чистового точения вала представлена на рис.2а.

При этом

$$z_{i\max} = z_{i\min} + \delta_{i-1} - \delta_i,$$

где  $\delta_{i-1}$  и  $\delta_i$  – соответственно допуски для предшествующей и выполняемой операции.

Размер исходной заготовки определяем по формуле /для вала/

$$D_{\text{и.з.}} = D_{\text{д.мин}} + \sum_{i=1}^n z_{i\min} + EI_{\text{и.з.}},$$

где  $D_{\text{д.мин}}$  – минимальный размер готовой детали;  $EI_{\text{и.з.}}$  – нижнее отклонение исходной заготовки /часть допуска в металл/.

При работе по методу пробных ходов и промеров схема расположения припусков и допусков представлена на рис. 2б. При этом

$$z_{i\max} = z_{i\min} + \delta_{i-1} + \delta_i.$$

Размер исходной заготовки определяем по формуле /для вала/

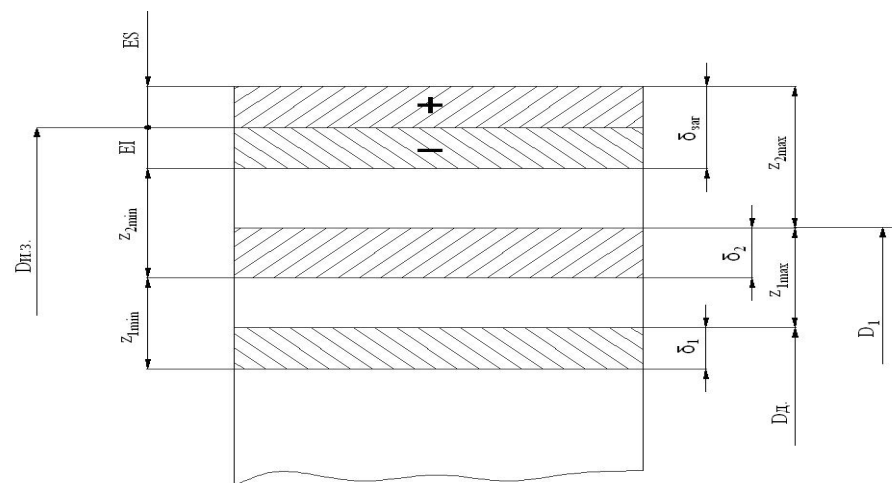
$$D_{\text{и.з.}} = D_{\text{д.мин}} + \sum_{i=1}^n z_{i\min} + \sum_{i=1}^n \delta_i + EI_{\text{и.з.}}$$

После округления операционных размеров в большую (для вала) сторону производим перерасчет номинальных и максимальных припусков, которые используем для определения режимов резания, выбора технологической оснастки, металлорежущего инструмента и оборудования.

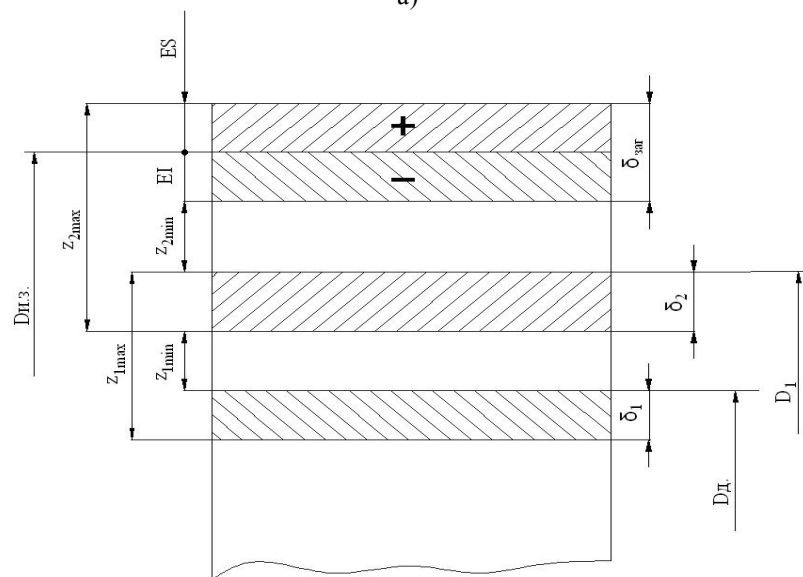
### 3.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с чертежом детали.
2. Определить поверхность, на которую необходимо рассчитать припуск.





а)



б)

Рисунок 2 – Схема расположения припусков и допусков  
а) по методу автоматического получения размеров; б) по методу  
пробных ходов и промеров

3. Установить последовательность обработки выбранной поверхности (составить маршрутную технологию).

4. Произвести расчет операционных припусков и составить схему расположения припусков и допусков для обработки по методу пробных ходов и автоматического получения размеров.

5. Определить диаметр исходной заготовки и фактические припуски для первой операции.

### 3.3. Пример выполнения работы

Определить операционные припуски и размеры стального вала  $D = 45h8$ ,  $\delta_1 = 39$  мкм,  $L = 100$  мм,  $R_z = 3,2$  мкм при черновом и чистовом точении. Исходная заготовка – прокат обычной точности. По справочным данным:  $ES = 0,4$  мм,  $EI = -0,7$  мм,  $R_z = 150$  мкм,  $T = 250$  мкм. Погрешность формы: удельная кривизна  $\Delta_k = 0,12$  мкм/мм; общая кривизна заготовки, обрабатываемой в центрах

$$\rho_{k1} = \Delta_k \frac{L}{2} = 0,12 \cdot \frac{100}{2} = 6 \text{ мкм}.$$

Погрешность установки: смещение оси заготовки в результате погрешности зацентровки

$$\varepsilon_{y1} = 0,25 \sqrt{\delta_3^2 + 1},$$

где  $\delta_3$  – допуск на диаметр базовой поверхности заготовки, использованной для центрирования, мм;  $\delta_3 = 1,1$  мм.

$$\varepsilon_{y1} = 0,25 \sqrt{1,1^2 + 1} = 0,36 \text{ мм} = 360 \text{ мкм}.$$

Заготовка после черновой обработки: погрешность по  $h11$ ; поле допуска  $\delta_2 = 160$  мкм;  $R_z = 20$  мкм;  $T = 30$  мкм; погрешность формы с уточнением 0,06 будет равна  $\rho_{k2} = 0,06 \cdot 6 = 0,36$  мкм = 0; погрешность установки, обусловленная биением  $\varepsilon_{y2} = 100$  мкм.

Расчет припусков и операционных размеров производим в направлении от готовой детали к исходной заготовке.

Чистовое точение

$$2z_{1\min} = 2(20 + 30 + \sqrt{0 + 100^2}) = 300 \text{ мкм} = 0,3 \text{ мм}.$$

Номинальный припуск

$$2z_{1\text{ном}} = 0,3 + 0,16 = 0,46 \text{ мм}.$$

Максимальный припуск при обработке по методу пробных ходов и промеров

