

БМ.01(07)  
341

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ЦЕНТР ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЖИТОМИРСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
ІНСТИТУТ

В.І. Аверченков, О.О. Горленко, В.Б. Ільницький,  
П.П. Мельничук, Л.Г. Полонський, Є.О. Польський,  
В.В. Серов, А.В. Тотай, В.П. Федоров, Є.М. Фролов,  
В.Ф. Чистов

**ЗБІРНИК ЗАДАЧ І ВПРАВ  
З ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України  
як навчальний посібник для студентів  
спеціальностей 7.090202, 8.090202  
„Технологія машинобудування”, 7.090203  
„Металорізальні верстати та системи”

БІБЛІОТЕКА  
Житомирського інженерно-  
технологічного інституту  
№ 073 РІВ.

2001 193429-29

ББК 34.5  
323  
УДК 621.91.002 (075.8)

Рецензенти: **О.М. Михайлов**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою „Технологія машинобудування” Донецького національного технічного університету.

**Ю.В. Петраков**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою „Технологія машинобудування” Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”

**В.І. Аверченков, О.О. Горленко, В.Б. Ільницький,  
П.П. Мельничук, Л.Г. Полонський, Є.О. Польський,  
В.В. Серов, А.В. Тотай, В.П. Федоров, Є.М. Фролов,  
В.Ф. Чистов**

323

Збірник задач і вправ з технології машинобудування: Навчальний посібник для студентів спеціальностей 7.090202, 8.090202 „Технологія машинобудування”, 7.090203 „Металорізальні верстати та системи” / Під ред. В.І. Аверченкова та П.П. Мельничука – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 314 с.: іл. 89. – Табл. 108. – Бібліогр.: 26 назв. ISBN 966-683-007-8

Рекомендовано до видання Координаційною радою Міжнародної асоціації слов'янських вузів.

Розглянуті задачі та вправи, що пов'язані з механічною обробкою та складанням виробів і охоплюють усі основні етапи технологічного проектування в машинобудівному виробництві. Наведені методичні вказівки та приклади розв'язання всього комплексу технологічних задач дають можливість використовувати навчальний посібник при виконанні практичних робіт, курсових і дипломних проектів студентами машинобудівних спеціальностей вузів.

Посібник розрахований на студентів напрямку „Інженерна механіка” спеціальностей „Технологія машинобудування”, „Металорізальні верстати та системи”.

УДК 621.91.002 (075.8)

© В.І. Аверченков, 2001	© В.В. Серов, 2001
© О.О. Горленко, 2001	© А.В. Тотай, 2001
© В.Б. Ільницький, 2001	© В.П. Федоров, 2001
© П.П. Мельничук, 2001	© Є.М. Фролов, 2001
© Л.Г. Полонський, 2001	© В.Ф. Чистов, 2001
© Є.О. Польський, 2001	

ISBN 966-683-007-8

## ПЕРЕДМОВА

Сучасні тенденції розвитку машинобудівного виробництва, орієнтованого на корінне підвищення якості машинобудівної продукції, на широке застосування прогресивних конструкційних і інструментальних матеріалів, зміцнювальних технологій, на комплексну автоматизацію на основі застосування верстатів із ЧПК і САПР, вимагають підготовки кваліфікованих фахівців, які володіють не тільки глибокими теоретичними знаннями, але й здатні практично їх використовувати у своїй виробничій діяльності.

У зв'язку з цим інженери-механіки найбільш масових спеціальностей "Технологія машинобудування", "Металорізальні верстати та системи" повинні володіти методами оцінки якості виробів, розрахунку технологічних розмірних ланцюгів, аналізу технологічних процесів, вибору раціональних схем базування заготовок, розрахунку похибок, які визначають точність механічної обробки, розрахунку припусків, оптимальних режимів обробки (у тому числі параметрів, які забезпечують отримання необхідної якості деталей), норм часу і технологічної собівартості. Вони повинні мати також практичні навички з проектування технологічних процесів складання, механічної обробки, у тому числі з використанням технологічного устаткування з ЧПК тощо.

Особливістю побудови даного навчального посібника є подання в ньому опису основних етапів технологічного проектування в машинобудівному виробництві, пов'язаних зі складанням виробів і механічною обробкою деталей. Розглянуті етапи технологічного проектування відповідають послідовності їхнього викладання в курсах "Основи технології машинобудування", "Технологія обробки типових деталей", внесених у загальноосвітні стандарти низки машинобудівних спеціальностей. При цьому особливу увагу звернуто на послідовний розгляд наступних питань:

- проектування технологічних процесів складання;
- аналіз вихідних даних для розробки технологічних процесів виготовлення деталей машин;

- обґрунтування методів отримання заготовок;
- відпрацювання маршрутних і операційних технологічних процесів;
- технологічне забезпечення якості виробів;
- програмування обробки деталей на верстатах із ЧПК.

З метою підвищення ефективності засвоєння теорії та набуття практичних навичок щодо вирішення технологічних задач, у тому числі й шляхом самостійного вивчення студентами пропонованого матеріалу, кожен розділ навчального посібника вміщує коротку теоретичну частину, приклади рішень найбільш типових задач, добори вправ і задач, окремі довідкові дані та список рекомендованої літератури. Така побудова навчального посібника дозволяє рекомендувати його як для групових занять з викладачем, так і для самостійного використання при виконанні курсових і дипломних проектів студентами машинобудівних спеціальностей вузів.

Цей навчальний посібник може бути корисним також і при підготовці студентів інших технічних спеціальностей вищих навчальних закладів II, III і IV рівнів акредитації.

## РОЗДІЛ 1 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ

Технологічні процеси складання виробів повинні розроблятися раніше технологічних процесів виготовлення більшості їх деталей. Така послідовність дозволяє при виявленні неможливості здійснення процесів складання або забезпечення необхідної точності своєчасно вносити зміни в конструкцію виробу.

Розробку технології складання проводять у наступній послідовності: вивчення складальних і робочих креслень; проведення розмірно-точнісного аналізу; встановлення порядку комплектування вузлів і виробів у процесі складання; розроблення схем з'єднання складальних одиниць і виробу в цілому; відпрацювання технологічних процесів складання.

### 1.1. Розмірно-точнісний аналіз складальної одиниці

Основними завдання розмірно-точнісного аналізу є:

- 1) вивчення взаємозв'язку структурних елементів (деталей та складальних одиниць);
- 2) розроблення схем розмірних зв'язків складальних одиниць і виробу в цілому;
- 3) виявлення складальних розмірних ланцюгів і вибір методу забезпечення точності замикальних ланок;
- 4) перевірка щодо того, чи є можливі для прийнятої комплектації складальних одиниць (виробів) досягнення необхідної точності з'єднання.

Наприклад, для конічних зубчастих передач необхідно забезпечити точність збігу вершини ділильного конуса конічної шестерні з віссю обертання конічного колеса (рис. 1.1). При установці валів на підшипниках кочення необхідно забезпечити оптимальну величину осьового зазору між торцями кришки і зовнішнього кільця підшипника (рис. 1.2).

Схему розмірних зв'язків складає сукупність розмірів деталей, що входять у складальну одиницю, точність виконання

- обґрунтування методів отримання заготовок;
- відпрацювання маршрутних і операційних технологічних процесів;

- технологічне забезпечення якості виробів;
- програмування обробки деталей на верстатах із ЧПК.

З метою підвищення ефективності засвоєння теорії та набуття практичних навичок щодо вирішення технологічних задач, у тому числі й шляхом самостійного вивчення студентами пропонованого матеріалу, кожен розділ навчального посібника вміщує коротку теоретичну частину, приклади рішень найбільш типових задач, добори вправ і задач, окремі довідкові дані та список рекомендованої літератури. Така побудова навчального посібника дозволяє рекомендувати його як для групових занять з викладачем, так і для самостійного використання при виконанні курсових і дипломних проектів студентами машинобудівних спеціальностей вузів.

Цей навчальний посібник може бути корисним також і при підготовці студентів інших технічних спеціальностей вищих навчальних закладів II, III і IV рівнів акредитації.

## РОЗДІЛ 1 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ

Технологічні процеси складання виробів повинні розроблятися раніше технологічних процесів виготовлення більшості їх деталей. Така послідовність дозволяє при виявленні неможливості здійснення процесів складання або забезпечення необхідної точності своєчасно вносити зміни в конструкцію виробу.

Розробку технології складання проводять у наступній послідовності: вивчення складальних і робочих креслень; проведення розмірно-точнісного аналізу; встановлення порядку комплектування вузлів і виробів у процесі складання; розроблення схем з'єднання складальних одиниць і виробу в цілому; відпрацювання технологічних процесів складання.

### 1.1. Розмірно-точнісний аналіз складальної одиниці

Основними завдання розмірно-точнісного аналізу є:

- 1) вивчення взаємозв'язку структурних елементів (деталей та складальних одиниць);
- 2) розроблення схем розмірних зв'язків складальних одиниць і виробу в цілому;
- 3) виявлення складальних розмірних ланцюгів і вибір методу забезпечення точності замикальних ланок;
- 4) перевірка щодо того, чи є можливі для прийнятої комплектації складальних одиниць (виробів) досягнення необхідної точності з'єднання.

Наприклад, для конічних зубчастих передач необхідно забезпечити точність збігу вершини діляльного конуса конічної шестерні з віссю обертання конічного колеса (рис. 1.1). При установці валів на підшипниках кочення необхідно забезпечити оптимальну величину осьового зазору між торцями кришки і зовнішнього кільця підшипника (рис. 1.2).

Схему розмірних зв'язків складає сукупність розмірів деталей, що входять у складальну одиницю, точність виконання

яких впливає на точність замикальної ланки (розмір  $\epsilon$  на рис. 1.1 і 1.2). Визначення таких розмірів деталей є однією з основних задач розмірно-точнісного аналізу. Очевидно, що з можливих схем розмірних зв'язків варто приймати ту, котра включає найменшу кількість розмірів.

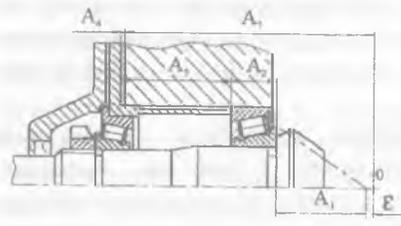


Рис. 1.1. Розмірна схема складальної одиниці стосовно забезпечення збігу вершин ділільного конуса шестерні з віссю обертання кінцевого колеса

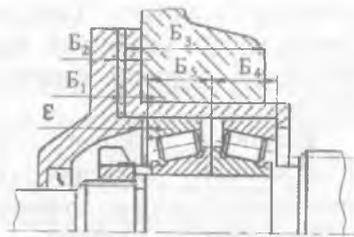


Рис. 1.2. Розмірна схема складальної одиниці щодо забезпечення зазору  $\epsilon$

Розмірно-точнісний аналіз складальної одиниці – завдання конструктора. Але, технолог також часто змушений розраховувати розмірні ланцюги при відпрацюванні конструкції виробу на технологічність. Тобто, технологу приходится проводити додатковий розмірно-точнісний аналіз.

**Задача 1.1.** Для складальної одиниці, що зображена на рис. 1.3, розробити розмірну схему процесу складання з забезпеченням величини  $\epsilon$  збігу вершин ділільного конуса шестерні з віссю обертання кінцевого колеса.

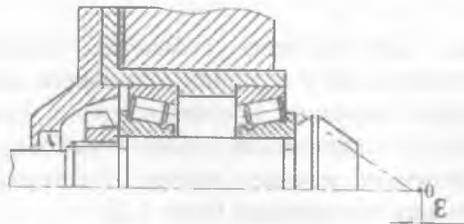


Рис. 1.3. Складальна одиниця (до задачі 1.1)

Вказівка до розв'язування цієї та наступних задач. Викреслити ескіз складальної одиниці. Визначити поверхні суміжних деталей складальної одиниці. Розробити можливі варіанти схем розмірних зв'язків і вибрати ту з них, яка містить найменшу кількість розмірів деталей.

**Задача 1.2.** За умовою задачі 1.1 розробити розмірну схему для складальної одиниці (рис. 1.4).

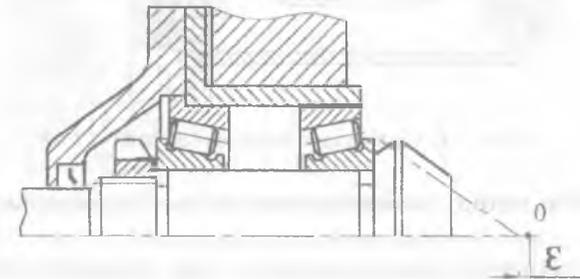


Рис. 1.4. Складальна одиниця (до задачі 1.2)

**Задача 1.3.** Розробити розмірну схему складання з забезпеченням зазору  $\epsilon$  (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Складальна одиниця (до задачі 1.3)

**Задача 1.4.** Розробити розмірну схему складання з забезпеченням зазору  $\epsilon$  (рис. 1.6).

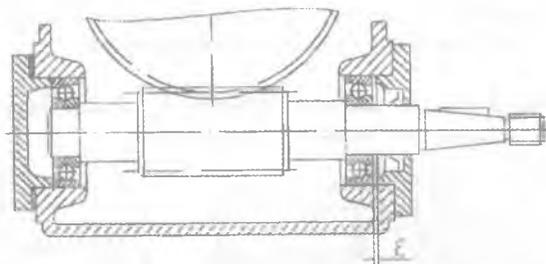


Рис. 1.6. Складальна одиниця (до задачі 1.4)

## 1.2. Вибір методу забезпечення точності замикальної ланки

На практиці використовують такі методи забезпечення необхідної точності замикальних ланок складальних розмірних ланцюгів: 1) цілковитої і неповної взаємозамінності; 2) групової взаємозамінності (метод селективного складання); 3) припасування та регулювання [13, 17, 23, 26].

Розглянемо ці методи на конкретному прикладі, коли необхідно забезпечити зазор  $\varepsilon$  між торцем зубчастого колеса та простановочним кільцем механізму (рис. 1.7). Замикальною ланкою в цьому ланцюзі є зазор  $\varepsilon$ , величина якого зумовлюється точністю виконання розмірів зубчастого колеса  $A_1 = 80$  мм, корпуса  $A_2 = 90$  мм і кільця  $A_3 = 10$  мм. Зі службового призначення розглянутої складальної одиниці випливає, що мінімальний зазор  $\varepsilon_{\text{нм}} = 0$  ( $EI_\varepsilon = 0$  мм), а максимальний зазор  $\varepsilon_6 = 0,2$  ( $ES_\varepsilon = 0,2$  мм). Отже, поле допуску стосовно зазору  $T_\varepsilon = ES_\varepsilon - EI_\varepsilon = 0,2 - 0 = 0,2$  (мм), а координата середини поля допуску

$$EC_\varepsilon = \frac{EI_\varepsilon + ES_\varepsilon}{2} = \frac{0 + 0,2}{2} = +0,1 \text{ (мм)}.$$

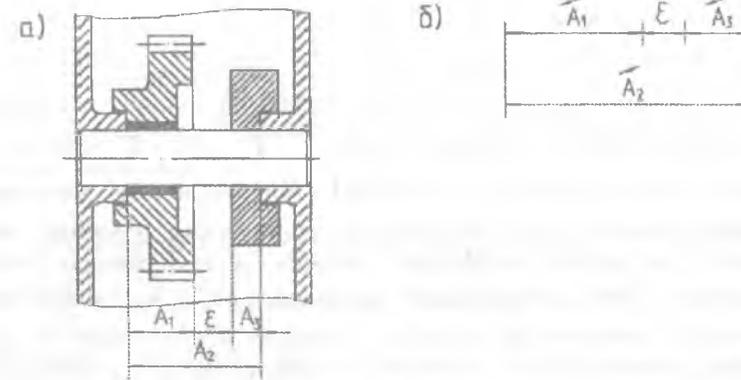


Рис. 1.7. Складальна одиниця (до задач 1.5 і 1.6):  
а - розмірна схема процесу складання з забезпеченням зазору  $\varepsilon$ ;  
б - розмірний ланцюг

Схема розмірного ланцюга, замикальною ланкою якого є зазор, представлена на рис. 1.7, б. Розміри  $A_1$  і  $A_3$  - зменшувальні, а розмір  $A_2$  - збільшувальний. Основне рівняння розмірного ланцюга

$$\varepsilon = \sum_1^m \xi_{A_i} A_i = -A_1 + A_2 - A_3,$$

де  $m$  - кількість збільшувальних і зменшувальних ланок ланцюга;

$\xi_{A_i}$  - передатне відношення (для ланцюгів з паралельними ланками:  $\xi_{A_i} = +1$  для збільшуваних ланок,  $\xi_{A_i} = -1$  - для зменшувальних ланок).

**Метод цілковитої взаємозамінності.** При використанні цього методу повинна бути виконана умова

$$T_\varepsilon = \sum_m |\xi_{A_i}| T_{A_i} = T_{A_1} + T_{A_2} + T_{A_3}.$$

Враховуючи, що розміри деталей механізму контролюються калібрами і скобами, встановлюємо допуски на розміри  $A_1$ ,  $A_2$  і  $A_3$  за 9-м квалітетом точності:  $T'_A = 0,074$  мм,  $T'_{A_2} = 0,087$  мм і  $T'_{A_3} = 0,036$  мм (штрих тут і далі означає виробниче значення величини допуску). Очевидно, що  $T'_\epsilon = T'_A + T'_{A_2} + T'_{A_3} = 0,074 + 0,087 + 0,036 = 0,197 < T_\epsilon = 0,2$  (мм). Ця нерівність дозволяє зробити висновок про можливість забезпечення розмірів, які входять до даного розмірного ланцюга, з точністю до 9–10 квалітетів (при невиконанні нерівності  $T'_\epsilon < T_\epsilon$  необхідно зменшити допуски на складові розміри у відповідності до середньо-економічної точності забезпечення розміру). Призначаємо відхилення, орієнтуючись на вид поверхонь (обхоплювані або обхоплюючі), на всі розміри, крім одного, як правило, найбільш легко виконуваного, і визначаємо координати середин їхніх полів допусків:  $EC'_A = 0,037$  мм і  $EC'_{A_3} = 0,0435$  мм. Координату середини поля допуску третьої ланки знаходимо з рівняння, яке за структурою є збіжним з основним рівнянням розмірного ланцюга:

$$EC_\epsilon = \sum_m \xi_{Ai} \cdot EC_{Ai} = -EC_{A1} + EC_{A2} - EC_{A3}.$$

Таким чином,  $0,0985 = -(-0,037) + 0,0435 - EC'_{A3}$ . Звідси,  $EC'_{A_3} = -0,018$  мм. Отже,  $ES'_{A_3} = EC'_{A_3} + \frac{T'_{A_3}}{2} = 0,018 + \frac{0,036}{2} = 0$  і  $EI'_{A_3} = EC'_{A_3} - \frac{T'_{A_3}}{2} = -0,018 - \frac{0,036}{2} = -0,036$  (мм).

Перевірка підтверджує правильність розрахунків. Граничні відхилення складових ланок:  $A_1 = 80_{-0,074}$  мм,  $A_2 = 90_{+0,087}$  мм і  $A_3 = 10_{-0,036}$  мм.

**Метод неповної взаємозамінності.** При використанні цього методу повинна бути виконана умова:

$$T_\epsilon = t_\epsilon \sqrt{\sum_m \xi_{Ai}^2 \cdot \lambda_{Ai}^2 \cdot T_{Ai}^2},$$

де  $t_\epsilon$  – коефіцієнт ризику;

$\lambda_{Ai}^2$  – коефіцієнт, який враховує закон розподілу відхилень розмірів ланцюга  $A_i$ .

Приймаючи  $t_\epsilon = 3$  (у даному випадку ризик  $P = 0,027\%$ ) і

$\lambda_{A_1}^2 = \frac{1}{9}$  (умови виготовлення деталей такі, що розподіл відхилень розмірів наближений до розподілу за законом Гаусса), отримуємо:

$$T_\epsilon = \sqrt{\sum_i T_{Ai}^2} = \sqrt{T_{A_1}^2 + T_{A_2}^2 + T_{A_3}^2}.$$

Відповідно до даного методу розрахунку існує можливість розширення полів допусків на виготовлення деталей. Приймавши за 10-м квалітетом точності  $T'_{A_1} = 0,12$  мм,  $T'_{A_2} = 0,14$  мм і  $T'_{A_3} = 0,058$  мм, будемо мати:

$$T'_\epsilon = \sqrt{(0,12^2 + 0,14^2 + 0,058^2)} = 0,193 < T_\epsilon = 0,2 \text{ (мм)}.$$

Координати середин полів допусків розмірів  $A_1$  і  $A_2$ :  $EC'_{A_1} = -0,06$  мм і  $EC'_{A_2} = 0,07$  мм. Тоді  $EC'_\epsilon = -EC'_{A_1} + EC'_{A_2} - EC'_{A_3} = -(-0,06) + 0,07 - EC'_{A_3} = 0,1$  (мм). Звідси знаходимо  $EC'_{A_3} = 0,03$  мм і, відповідно:  $ES'_{A_3} = 0,0625$  мм;  $EI'_{A_3} = 0,0045$  мм. Допуск на найбільш легко виконуваний розмір  $T_{A_3} = 0,01$  мм. Перевірка підтверджує правильність розрахунків і можливість прийняття:  $ES'_{A_3} = 0,035$  мм і  $EI'_{A_3} = 0,025$  мм. Граничні відхилення складових розмірів:  $A_1 = 80_{-0,12}$  мм,  $A_2 = 90_{+0,14}$  мм і  $A_3 = 10_{+0,035}$  мм.

**Метод групової взаємозамінності.** Застосовують групову взаємозамінність (селективне складання), якщо цілковита взаємозамінність неможлива або економічно недоцільна.

При розрахунку допусків слід неодмінно дотримати умову:

$$\sum_1^k |\xi_{A_i}| T'_{A_i} = \sum_1^n |\xi_{A_i}| T''_{A_i} = \frac{1}{2} T'_z,$$

де  $k, n$  – відповідно кількості збільшувальних і зменшувальних ланок розмірного ланцюга ( $k + n = m$ ).

Для розглянутої задачі  $T'_A = T'_{A_1} + T'_{A_2} = \frac{T'_z}{2}$ .

Припустимо, що кількість груп  $z$ , на які повинні бути розсортовані деталі після виготовлення, становить 3. Тоді  $T'_A = T'_z z = 0,2 \cdot 3 = 0,6$  (мм) і  $T'_{A_2} = 0,3$  мм. Враховуючи ступінь точності виготовлення деталей, приймаємо:  $T'_{A_1} = 0,21$  мм і  $T'_{A_2} = 0,09$  мм. Установлюємо для розмірів  $A_1$  і  $A_2$  поля допусків кожної групи на розмір  $A_3$ , для чого спочатку визначаємо координати їхніх середин, використовуючи рівняння  $EC_z = -EC_{A_1} + EC_{A_2} - EC_{A_3}$ .

Для першої групи маємо:

$$0,1 = -(-0,035) + 0,05 - EC_{A_3}^I;$$

для другої групи:

$$0,1 = -0,035 + 0,15 - EC_{A_3}^{II};$$

для третьої групи:

$$0,1 = -0,105 + 0,25 - EC_{A_3}^{III}.$$

Тоді  $EC_{A_3}^I = -0,015$  мм (відповідно  $ES_{A_3}^I = 0$  і  $EI_{A_3}^I = -0,03$  мм),  $EC_{A_3}^{II} = 0,015$  мм ( $ES_{A_3}^{II} = 0,3$  мм і  $EI_{A_3}^{II} = 0$ ) і

$EC_{A_3}^{III} = 0,045$  мм ( $ES_{A_3}^{III} = 0,06$  мм і  $EI_{A_3}^{III} = 0,03$  мм). Поле допуску для простановочного кільця має вигляд, відповідно до рис. 1.9. Неважко бачити, що при суміщенні деталей з однойменних груп забезпечується необхідний зазор  $T_z = 0,2$  мм і його середнє значення  $EC_z = +0,1$  мм.

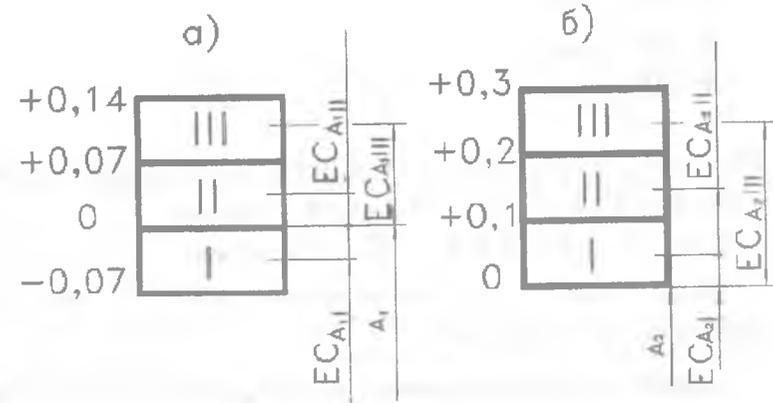


Рис. 1.8. Поля допусків для шестерні (а) і для корпусу (б) складальної одиниці, зображеної на рис. 1.7

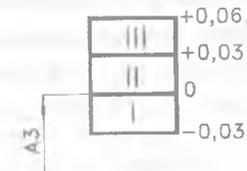


Рис. 1.9. Поле допуску простановочного кільця для складальної одиниці, зображеної на рис. 1.7

**Метод припасування.** Необхідну точність завершальної ланки можна досягти шляхом зняття шару матеріалу з деталі, що відіграє роль компенсатора. При цьому методі розраховують граничні відхилення компенсуючої ланки з врахуванням того, що на ній має залишатися достатній шар матеріалу, який будуть знімати в процесі складання. Величину необхідного для

припасування шару матеріалу  $\Delta_k$  визначають за методом цілковитої взаємозамінності як різницю найбільшого розрахункового і найбільшого експлуатаційно допустимого значення замикальної ланки  $\Delta_k = EC'_\varepsilon + 0,5 \times (T'_\varepsilon - T_\varepsilon) - EC_\varepsilon$ .

Для прийнятих відхилень складових ланок:

$$A'_1 = 80_{-0,21} \text{ мм};$$

$$A'_2 = 90^{+0,3} \text{ мм};$$

$$A'_3 = 10_{-0,09} \text{ мм}.$$

$$EC'_\varepsilon = -EC'_{A_1} + EC'_{A_2} - EC'_{A_3} = -(-0,105) + 0,15 - (-0,045) = 0,3 \text{ (мм)}$$

$$\text{і } T'_\varepsilon = T'_{A_1} + T'_{A_2} + T'_{A_3} = 0,21 + 0,3 + 0,09 = 0,6 \text{ (мм)}.$$

$$\text{Тоді } \Delta_k = 0,3 + 0,5 \cdot (0,6 - 0,2) - 0,1 = 0,4 \text{ (мм)}.$$

Звідси випливає, що компенсуючий розмір  $A_3$  має бути заданий як  $A_3 = 10^{+0,4}_{+0,31} \text{ мм}$ .

Граничні розміри складових:  $A_1 = 80_{-0,21} \text{ мм}$ ;  $A_2 = 90^{+0,3} \text{ мм}$

і  $A_3 = 10^{+0,4}_{+0,31} \text{ мм}$ .

**Метод регулювання з застосуванням нерухомого компенсатора.** Точність завершальної ланки в даному випадку забезпечується зміною розмірів деталі-компенсатора без зняття шару матеріалу, зокрема шляхом встановлення компенсатора, що додатково виготовляється (наприклад, прокладка або проставне кільце) і має  $N$  ступенів розмірів для добору в залежності від дійсних розмірів інших складових ланок. Рухомий компенсатор звичайно являє собою вузол з конічної або клинової пари в поєднанні з гвинтовим механізмом.

З метою спрощення розрахунку розмірів компенсаторів рекомендується призначати координати середин полів допусків складових ланок так, щоб сумістити одну з меж розширеного поля допуску замикальної ланки з відповідною межею його поля допуску, заданого за службовим призначенням виробу.

У розглянутому розмірному ланцюзі компенсації підлягають тільки відхилення ланок  $A_1$  і  $A_2$ . Приймавши  $A'_1 = 80_{-0,30} \text{ мм}$  і

$$A'_2 = 90^{+0,35} \text{ мм}, \text{ отримаємо: } EC'_\varepsilon = -EC'_{A_1} + EC'_{A_2} = -(-0,15) +$$

$+0,175 = 0,325 \text{ (мм)}$  і, відповідно,  $ES'_\varepsilon = -EC'_\varepsilon + 0,5T'_\varepsilon = 0,325 + 0,5 \cdot 0,65 = 0,65 \text{ (мм)}$ .

$$EI'_\varepsilon = -ES'_\varepsilon - 0,5T'_\varepsilon = 0,325 + 0,5 \cdot 0,65 = 0 \text{ (мм)}, \text{ тобто } EI'_\varepsilon = EI_\varepsilon = 0 \text{ (} T'_\varepsilon = T'_{A_1} + T'_{A_2} = 0,3 + 0,35 = 0,65 \text{ (мм))}.$$

Прийнявши  $T'_A = T'_k = 0,05 \text{ мм}$ , отримаємо:

$$N = \frac{T'_\varepsilon}{T'_\varepsilon - T'_k} = \frac{0,65}{0,2 - 0,052} = 4,39 \cong 5 \text{ і } T_{cr} = \frac{T'_\varepsilon}{N} = \frac{0,65}{5} = 0,13 \text{ (мм)}.$$

Тоді розміри компенсаторів будуть:  $A_3^I = A_{3-0,052}$ ,  $A_3^{II} = (A_3 + 0,13)_{-0,052}$ ,  $A_3^{III} = (A_3 + 0,26)_{-0,052}$ ,  $A_3^{IV} = (A_3 + 0,39)_{-0,052}$  і  $A_3^V = (A_3 + 0,52)_{-0,052}$ .

Якщо координати середин полів допусків складових ланок вибрані довільно, то при визначенні розміру компенсатора першого ступеня необхідно ввести поправку в координату середини його поля допуску (або, відповідно, у верхню та нижню відхилення):  $\Delta_k = EC_\varepsilon + 0,5(T'_\varepsilon - T_\varepsilon) - ES'_\varepsilon$  (рис. 1.10).

Так, якщо  $A'_1 = 80_{-0,3} \text{ мм}$  і  $A'_2 = 90 \pm 0,175 \text{ мм}$ , то  $EC'_\varepsilon = -(-0,15) + 0 = 0,15 \text{ (мм)}$  і  $\Delta_k = 0,1 + 0,5(0,65 - 0,2) - 0,15 = 0,175 \text{ (мм)}$ . Якщо компенсатор є збільшувальною ланкою (розмір його в процесі припасування зменшується), поправку  $\Delta_k$  вводять зі своїм знаком, а якщо зменшувальною ланкою (розмір його в процесі припасування збільшується) – то з протилежним знаком. Тоді  $A_3^I = (A_3 - 0,175)_{-0,052}$  (рис. 1.10).

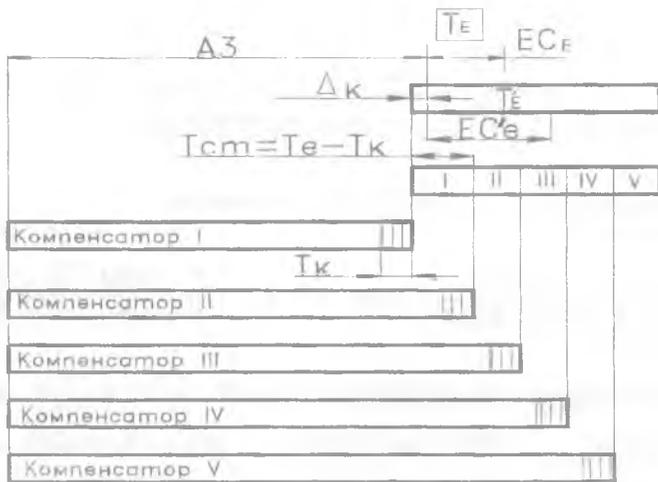


Рис. 1.10. До визначення розмірів компенсаторів для складальної одиниці, зображеної на рис. 1.7

Найпростішим і найнадійнішим є метод цілковитої взаємозамінності. Однак, для конкретних умов виробництва іноді виявляється неможливим забезпечити необхідну точність виконання складових ланок розмірного ланцюга, яка може бути визначена залежно від коефіцієнта  $a_c$  (табл. 1.1):

$$a_c = \frac{T_{A_3}}{\sum_{i=1}^m \left| \frac{E_{A_i}}{S_{A_i}} \right| \cdot i_{A_i}}$$

де  $T_{A_3}$  – допуск замикальної ланки, мкм ;

$i_{A_i}$  – величина допуску для розміру  $A_i$  (табл. 1.2).

Таблиця 1.1

Співвідношення між допуском і коефіцієнтом  $a_c$

Позначення допуску	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16	IT17
$a_c$	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Таблиця 1.2  
Значення одиниці допуску  $i$  для діапазону розмірів до 500 мм

Інтервали розмірів, мм	До 3	3...6	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80
$i$ , мкм	0,55	0,73	0,90	1,08	1,31	1,56	1,86
Інтервали розмірів, мм	80...120	120...180	180...250	250...315	315...400	400...500	
$i$ , мкм	2,17	2,52	2,89	3,22	3,54	3,89	

У цьому випадку доцільно перевірити можливість застосування методу неповної взаємозамінності, для якого:

$$a_c = \frac{T_{A_3}}{t_{A_3} \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{E_{A_i}^2}{S_{A_i}^2} \cdot \lambda_{A_i}^2 \cdot i_{A_i}^2}}$$

де  $t_{A_3}$  і  $\lambda_{A_i}^2$  – відповідно коефіцієнти ризику та відносного розсіювання розмірів (табл. 1.3 і 1.4)

Таблиця 1.3  
Значення коефіцієнта ризику  $t_{A_i}$

Відсоток ризику	33,00	10,00	4,5	1,00	0,27	0,10	0,01
$t_{A_i}$	1,00	1,65	2,0	2,57	3,00	3,29	3,89

Таблиця 1.4  
Значення коефіцієнта відносного розсіювання  $\lambda_{A_i}^2$

Коефіцієнт відносного розсіювання	Закони розсіювання відхилень розмірів		
	однакової ймовірності	Сімпсона	Гауса
$\lambda_{A_i}^2$	1/3	1/6	1/9

Якщо допуски складових ланок розмірного ланцюга залишаються, як і раніше, занадто жорсткими або нездійсненними, їх змінюють на економічно досяжні в даних

БІБЛІОТЕКА  
Житомирського інженерно-технологічного інституту  
№ 23 ІНВ.

виробничих умовах і розглядають можливість застосування інших методів.

Групова взаємозамінність застосовується, як правило, для коротких розмірних ланцюгів ( $m = 2$  або  $3$ ).

Метод припасування найчастіше використовується в умовах одиничного або малосерійного виробництва. У цьому випадку в кресленні складальної одиниці вказується, по яких поверхнях буде робитися припасування.

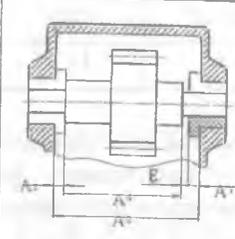
При досягненні точності замикальної ланки методом регулювання в конструкції складальної одиниці має бути передбачений рухомий або нерухомий компенсатор.

**Задача 1.5.** Встановити допуски та граничні відхилення на лінійні розміри деталей, що входять у складальну одиницю (рис. 1.7). Задачу розв'язати методом цілковитої взаємозамінності для випадків, коли значення  $\varepsilon$  відповідно дорівнюють, мм:  $0,1 \pm 0,1$ ;  $0^{+0,2}$ ;  $0,2_{-0,2}$ ;  $0,05^{+0,15}_{-0,05}$ ;  $0,15^{+0,05}_{-0,15}$  ( $A_1 = 80$  мм,  $A_2 = 120$  мм).

**Задача 1.6.** Розв'язати задачу 1.5 методом неповної взаємозамінності для випадків, коли розподіл відхилень розмірів складових ланок відповідає законам Гаусса, Сімпсона та рівної ймовірності.

**Задача 1.7.** Встановити методами цілковитої та неповної взаємозамінностей допуски і граничні відхилення на лінійні розміри деталей, що входять у складальну одиницю (табл. 1.5).

Вихідні дані до задачі 1.7



Дані	Варіант				
	1	2	3	4	5
$\varepsilon$	$1 \pm 0,2$	$1^{+0,5}$	$1 \pm 0,4$	$1^{+0,8}$	$1_{-0,5}$
$A_1$	8	8	12	12	12
$A_2$	167	167	205	205	205
$A_3$	8	8	12	12	12
$A_4$	150	150	180	180	180

Таблиця 1.5

**Задача 1.8.** Встановити методами цілковитої та неповної взаємозамінностей допуски і граничні відхилення на лінійні розміри деталей, що входять у складальну одиницю (табл. 1.6).

**Задача 1.9.** Встановити допуски і граничні відхилення на розміри пуансона і матриці (рис. 1.11). Задачу розв'язати для випадку, коли зазор у з'єднанні не має перевищувати  $0,01$  мм ( $d = 30$  і  $60$  мм).

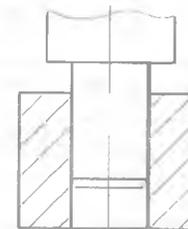


Рис. 1.11. Комплект пуансона і матриці (до задачі 1.9)

Вихідні дані до задачі 1.8

Дані	Варіант				
	1	2	3	4	5
$\varepsilon$	$1^{+0,6}$	$1 \pm 0$	$1_{-0,6}$	$1^{+0,4}_{-0,2}$	$1^{+0,4}_{-0,2}$
$A_1$	161	161	161	180	180
$A_2$	6	6	6	10	10
$A_3$	148	148	148	159	159
$A_4$	6	6	6	10	10

Таблиця 1.6

**Задача 1.10.** Встановити методом групової взаємозамінності допуски та граничні відхилення на лінійні розміри деталей, що входять у складальну одиницю (табл. 1.7). Задачу розв'язати для випадку, коли  $T_s = 0,1$  мм.

**Задача 1.11.** Розв'язати задачу 1.10 методом припасування для випадків, коли  $\varepsilon$  становить відповідно  $0^{+0,2}_{+0,1}$ ,  $0,2_{0,1}$  мм.

**Задача 1.12.** Розв'язати задачу 1.10 методом регулювання з застосуванням нерухомого компенсатора (деталь з розміром  $A_1$ ).

Таблиця 1.7

Вихідні дані до задач 1.10 – 1.12

Дані	Варіант				
	1	2	3	4	5
$\varepsilon$	$1^{+0,5}$	$1 \pm 0,05$	$1_{-0,1}$	$1_{-0,05}^{+0,02}$	$1_{-0,02}^{+0,08}$
$A_1$	12	22	32	42	52
$A_2$	38	48	58	68	78
$A_3$	50	70	90	110	130

**Задача 1.13.** Вибрати метод досягнення точності замикальної ланки в складальних одиницях (мал. 1.12 – 1.14).

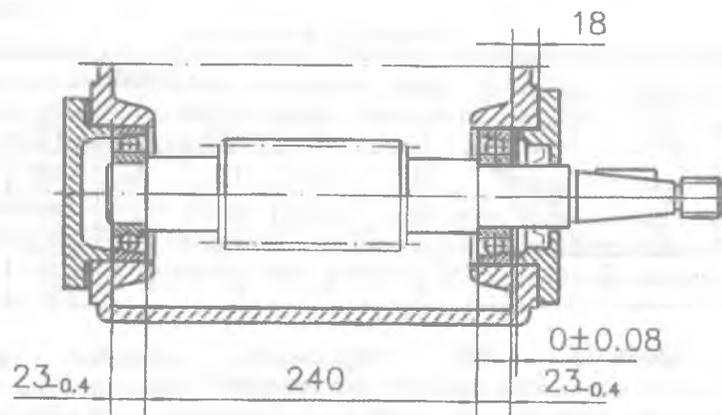


Рис. 1.12. Складальна одиниця (до задачі 1.13)

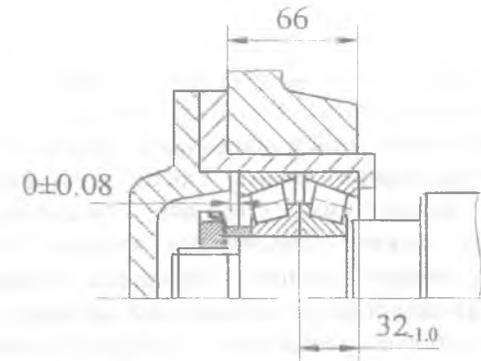


Рис. 1.13. Складальна одиниця (до задачі 1.13)

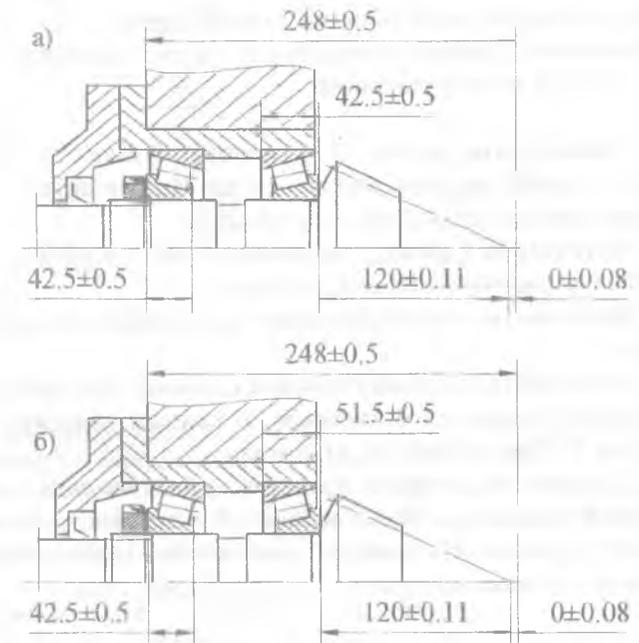


Рис. 1.14. Складальні одиниці (до задачі 1.13)

### 1.3. Розробка маршрутних технологічних процесів складання

В одиничному виробництві проектування технологічного процесу з поділом його на операції і переходи економічно не завжди виправдується. У таких випадках подають тільки перераховані в необхідній послідовності операції, що становлять комплекс складальних робіт. Такий технологічний процес називається маршрутним. Стосовно, наприклад, складання гідроциліндра такими комплексами можуть бути складання передньої та задньої кришок, складання поршня та штока, складання гідроциліндра зі складальних одиниць, випробування циліндра. Найбільш раціональні прийоми складальних робіт установлюються самими складальниками.

Для умов серійного виробництва необхідна більша диференціація операцій і переходів. У випадку потоково-масового виробництва складають деталізований технологічний процес складання за операціями і переходами.

Наприклад, процес складання передньої кришки циліндра (рис. 1.15, а) може бути таким:

1. Запресувати втулку 1 у корпус клапана 2. Одіти на корпус клапана ущільнювальне кільце 3. Вставити в канавку корпусу клапана ущільнювальне кільце 4.

2. Встановити клапан у зібраному стані 5 в корпус клапана та вставити корпус у кришку циліндра.

3. Встановити в паз кришки циліндра ущільнювальне кільце 6 штока.

4. Встановити в канавку кришки циліндра двадцять чистиків 7, прикріпити кришку 8 чистиків до кришки циліндра шістьма гвинтами 9. Гвинти затягти до відказу.

5. Надягти на кришку циліндра ущільнювальне кільце 10. Поверхня кільця має бути гладкою, без складок, розшарувань, раковин і пазів. На поверхні рознімання кільця допускається наявність задирок висотою не більш 0,10 мм і т.д.

Для процесу комплектування складальної одиниці поршня (рис. 1.15, б) можливі переходи:

1. Одягти на поршень дві ущільнювальні прокладки та ущільнювальне кільце 12.

2. Встановити ущільнювальне кільце 13 штока.

Розробці процесу складання передують відпрацювання його технологічної схеми.

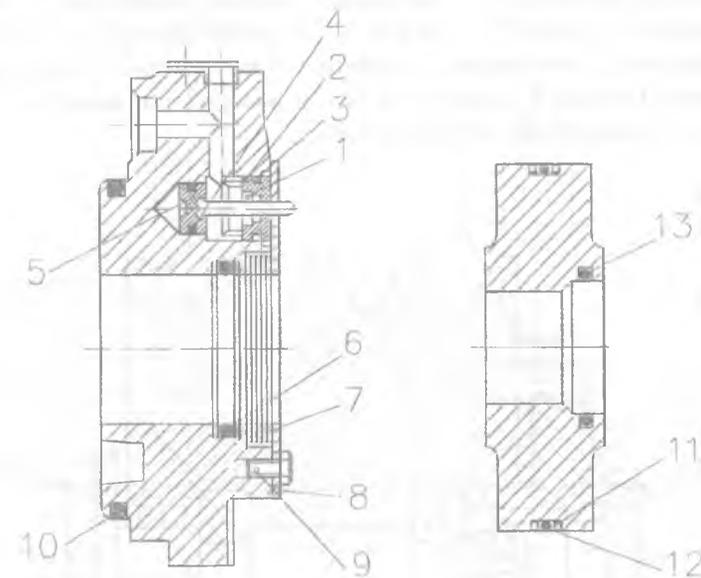


Рис. 1.15. Передня кришка (а) і поршень (б) гідравлічного циліндра: 1 – втулка; 2 – корпус клапана; 3 – кільце ущільнювальне; 4 – кільце ущільнювальне; 5 – клапан; 6 – кільце ущільнювальне; 7 – чистики; 8 – кришка; 9 – гвинт (6 шт.); 10 – кільце ущільнювальне; 11 – прокладка ущільнювальна; 12 – кільце ущільнювальне; 13 – кільце ущільнювальне

**Технологічна схема складання** – графічне представлення процесу комплектування (послідовності складання) виробу та складальних одиниць. Розглянемо її побудову для маточини (рис. 1.16). На таких схемах кожен елемент виробу позначений прямокутником, у якому вказано найменування складової частини, її індекс і кількість (рис.

1.17). Розробка технологічної схеми складання починається з визначення базової деталі (або складальної одиниці) і розподілу виробу на складальні одиниці та деталі. Процес складання зображується на схемі горизонтальною лінією в напрямку від прямокутника з зображенням базового елемента до прямокутника, яким умовно позначено готовий виріб (або складальну одиницю). Вище горизонтальної лінії подають у порядку послідовності складання прямокутники, що умовно позначають деталі, а нижче – прямокутники, що умовно зображують складальні одиниці. Для кожної складальної одиниці (першого, другого та більш високих порядків) можуть бути побудовані аналогічні схеми.

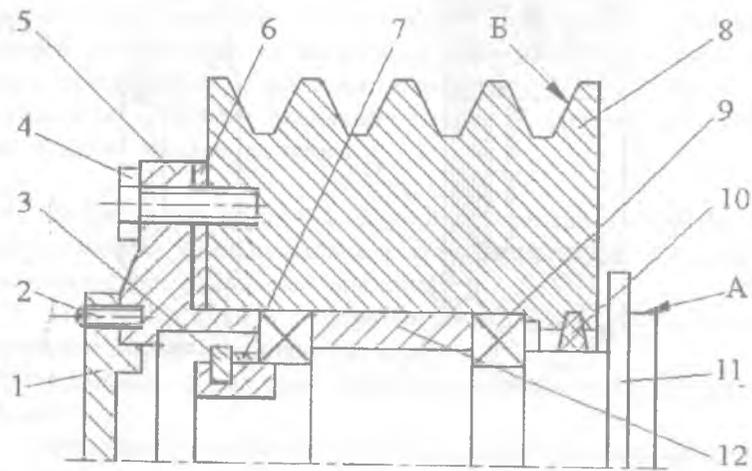


Рис. 1.16. Передня кришка (А) і поршень (Б) гідравлічного циліндра:  
1 – кришка; 2 – гвинт (4 шт.); 3 – шайба; 4 – фланець; 5 – гвинт;  
6 – прокладка; 7 – кільце компенсаційне; 8 – шків; 9 – підшипник (2 шт.);  
10 – кільце; 11 – маточина; 12 – втулка

Після відпрацювання схем складання визначають склад необхідних підготовчих і складальних робіт, визначають зміст операцій і переходів (табл. 1.8).

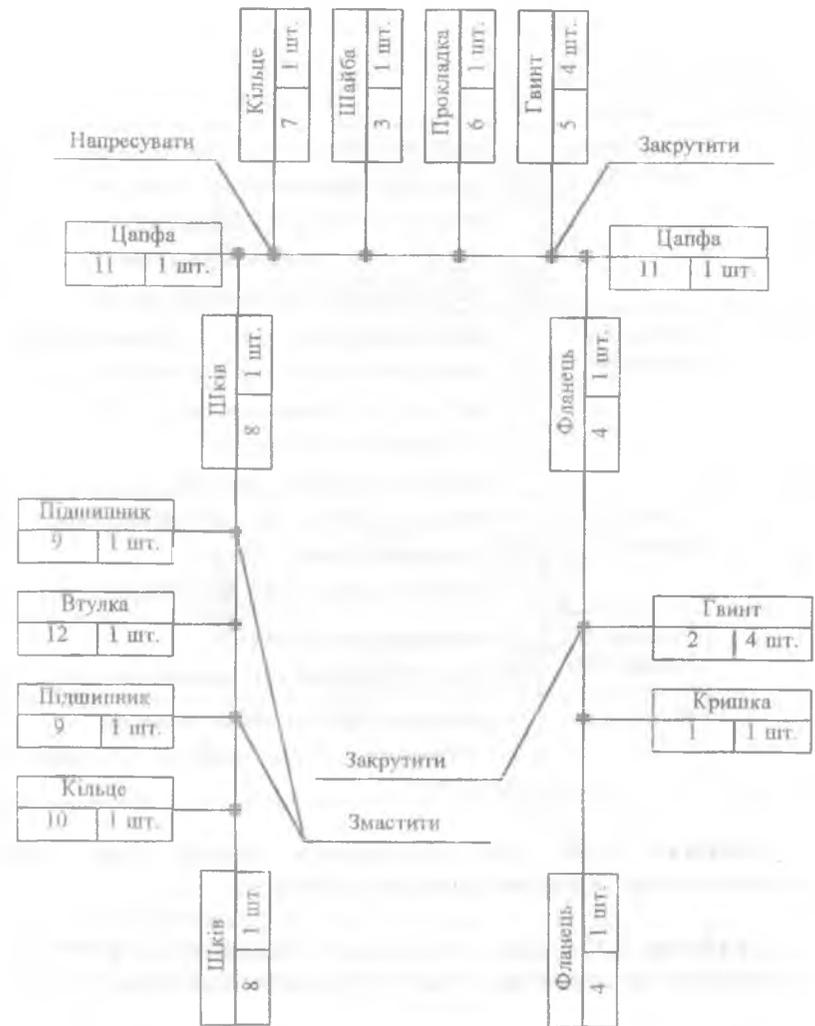


Рис. 1.17. Технологічна схема складання маточини (до рис. 1.16)

Таблиця 1.8  
Маршрутний технологічний процес складання маточини (до рис. 1.16)

Номер операції	Найменування операції	Зміст операції
1	Складання шків (8)	1. Закріпити шків (дет.8) у пристосуванні. 2. Установити ущільнювальне кільце (дет. 10). 3. Змастити й установити підшипники (дет. 9). 4. Протерти та встановити втулку (дет. 12). 5. Змастити та поставити підшипник (дет. 9).
2	Установка шків (8)	1. Закріпити маточину (дет. 11) в пристосуванні. 2. Напресувати шків (8) на маточину (дет. 11). 3. Протерти та установити кільце (дет. 7). 4. Установити шайбу (дет. 3). 5. Поставити прокладку (дет. 6).
3	Складання фланця (4)	1. Закріпити фланець (дет. 4) в пристосуванні. 2. Установити кришку (дет. 1). 3. Закріпити кришку (дет. 1) гвинтами (дет. 2).
4	Установка фланця (4)	1. Установити фланець (4). 2. Закріпити фланець (4) гвинтами (дет. 5).
5	Контрольна	1. Перевірити легкість обертання шків. 2. Перевірити биття поверхні А відносно поверхні Б.

**Задача 1.14.** Для складальних одиниць (рис. 1.18) розробити технологічні схеми складання.

**Задача 1.15.** Для складальних одиниць (рис. 1.19–1.21) розробити технологічні схеми і маршрути складання.

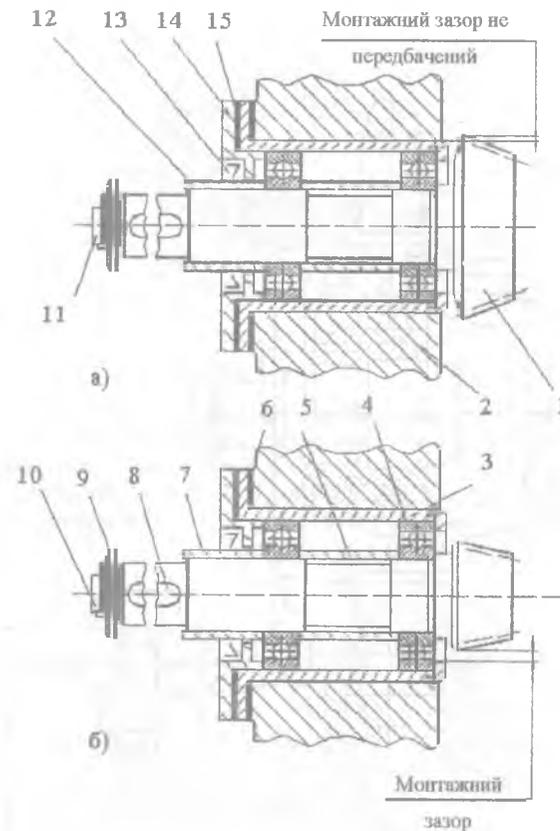


Рис. 1.18. Складальні одиниці (до задачі 1.14):  
1 – вал-шестерня; 2 – корпус; 3 – стакан; 4 – підшипник (2 шт.);  
5 – втулка; 6 – прокладка; 7 – втулка; 8 – шпонка; 9 – шайба; 10 – шайба  
стопорна; 11 – болт; 12 – втулка; 13 – ущільнення; 14 – кришка;  
15 – прокладка

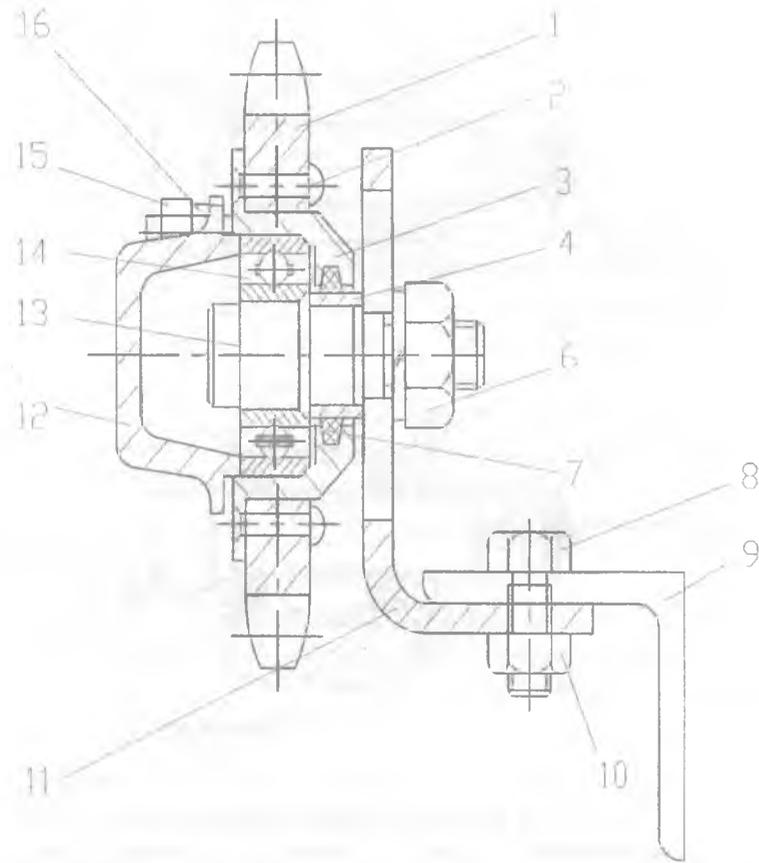


Рис. 1.19. Складальна одиниця (до задачі 1.15):  
 1 – зірочка; 2 – заклепка (6 шт.); 3 – маточина; 4 – втулка; 5 – шайба пружинна; 6 – гайка; 7 – ущільнення; 8 – болт (2 шт.); 9 – кутник; 10 – гайка (2 шт.); 11 – кронштейн; 12 – кришка; 13 – вісь; 14 – підшипник; 15 – болт (6 шт.); 16 – шайба пружинна (6 шт.)

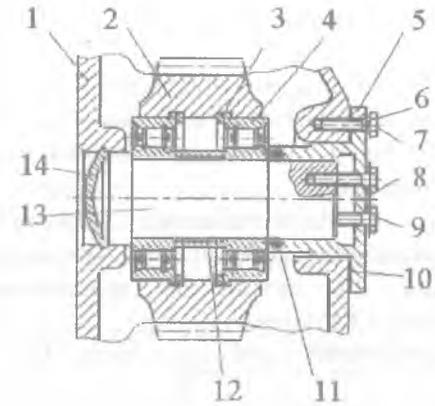


Рис. 1.20. Складальна одиниця (до задачі 1.15):  
 1 – корпус; 2 – колесо зубчасте; 3 – кільце (2 шт.); 4 – підшипник (2 шт.); 5 – фланець; 6 – шайба пружинна (6 шт.); 7 – болт (6 шт.); 8 – планка стопорна; 9 – болт (3 шт.); 10 – прокладка; 11, 12 – ущільнення; 13 – вал; 14 – кришка

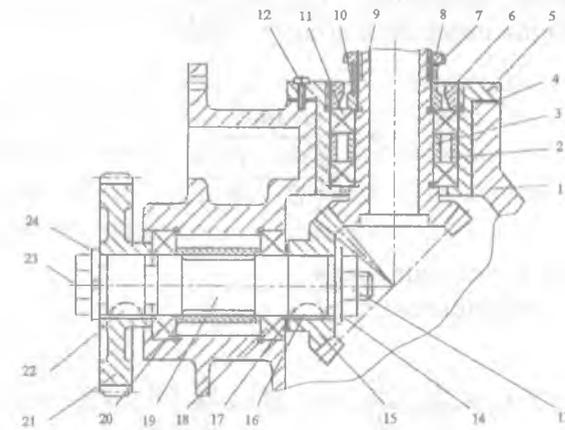


Рис. 1.21. Складальна одиниця (до задач 1.15 і 2.2):  
 1 – корпус; 2, 3 – втулка; 4 – прокладка; 5 – обойма; 6 – кільце; 7 – шайба стопорна; 8 – гайка; 9 – вал-шестерня; 10 – втулка; 11 – підшипник (2 шт.); 12 – гвинт (6 шт.); 13 – гайка; 14 – шайба пружинна; 15 – колесо зубчасте; 16 – шпонка; 17 – прокладка; 18 – підшипник (2 шт.); 19 – вал; 20 – втулка; 21 – колесо зубчасте; 22 – шпонка; 23 – болт; 24 – шайба пружинна

#### 1.4. Розрахунки при виконанні складальних операцій

При проектуванні окремих складальних операцій виконують розрахунки щодо визначення зусиль, необхідних для складання нерознімних з'єднань, чим обумовлюються параметри відповідного устаткування.

З'єднання з гарантованим натягом здійснюють запресовуванням (повздовжньо-пресові з'єднання) або шляхом теплового впливу на деталі, що підлягають сполученню (поперечно-пресові з'єднання).

При запресовуванні найбільша сила  $P$ , необхідна для складання:

$$P = f \pi d l \rho ;$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя на поверхні дотику ( $f = 0,08 \dots 0,10$ );

$d$  – номінальний діаметр з'єднання, мм;

$l$  – довжина поверхонь з'єднання, мм;

$\rho$  – тиск на поверхні контакту, МПа.

$$\rho = \frac{i \cdot 10^{-3}}{d \left( \frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)},$$

де  $i$  – натяг у з'єднанні, мкм;

$C_1, C_2$  – коефіцієнти:

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1; \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2.$$

Тут  $E_1, E_2, \mu_1, \mu_2$  – відповідно модулі пружності (ГПа) і коефіцієнти Пуассона матеріалів вала та втулки;

$d_1$  – діаметр отвору пустотілого вала, мм;

$d_2$  – зовнішній діаметр запресованої деталі (втулки), мм.

Для суцільного вала  $d_1 = 0$  і  $C_1 = 1 - \mu$ .

Розрахунковий натяг визначається з урахуванням шорсткості поверхонь, що з'єднуються:

$$i = \Delta d - 1,2(R_{Z1} + R_{Z2}) \text{ мкм},$$

де  $\Delta d$  – найбільша різниця діаметрів обхопленої та обхоплюючої деталей, мкм;

$R_{Z1}, R_{Z2}$  – висота нерівностей профілю за десятьма точками, мкм.

При тепловому складанні температуру  $T_B$  нагрівання обхоплюючої деталі або температуру охолодження обхопленої, яка повинна бути на початку виконання з'єднання, визначають за залежністю:

$$T_B > \frac{\Delta d \cdot 10^{-3}}{\alpha \cdot d},$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного розширення матеріалу деталі.

При перенесенні деталі з нагрівального (охолоджувального) пристрою на складальну позицію неминуче її охолодження (нагрівання). Знаючи час  $t$  (хв.) перенесення деталі, можна знайти температуру  $T_A$ , яку повинна мати деталь у момент її вивантаження з нагрівального пристрою:

$$T_A = T + \frac{T_B - T}{e^{-kt}},$$

де  $T$  – температура навколишнього середовища, °С.

Показник  $k$  залежить від розмірів і конфігурації деталі, матеріалу, з якого вона виготовлена, та методу її нагрівання (охолодження) і визначається експериментально.

При виконанні операцій клепаання зусилля  $P$ , необхідне для утворення голівок заклепок при холодному клепаанні:

$$P = \Phi d^{1,75} \sigma_B^{1,75},$$

де  $\Phi$  – коефіцієнт форми голівки заклепки (табл. 1.9);  
 $d$  – діаметр стрижня заклепки, мм;  
 $\sigma_B$  – межа міцності матеріалу заклепки на розтяг, МПа.

При виконанні операцій розвальцьовування сила  $P_0$ , необхідна для осадження кінців трубки на конус, і сила  $P_{від}$ , необхідна для відбортовування трубок, визначаються за залежністю:

$$P_0 = P_{отб} = K \frac{S(D+d) D_1}{2 D} \sigma_T,$$

де  $K$  – коефіцієнт, який враховує властивості матеріалу трубок і характер виконуваної операції (табл. 1.10);

$D, d$  – зовнішній і внутрішній діаметри трубки, мм;  
 $D_1$  – діаметр розвальцьованого кінця трубки, мм;  
 $S$  – товщина стінки, мм;  
 $\sigma_T$  – межа плинності матеріалу трубок, МПа.

Таблиця 1.9

Значення коефіцієнта форми  $\Phi$

Типи заклепок	$\Phi$
Зі сферичними голівками	28,6
З плоскими та потайними голівками	26,2
З плоскими голівками	15,2
Трубчасті	4,33
Напівтрубчасті	4,33

Таблиця 1.10

Значення коефіцієнта  $K$

Матеріал трубок	$K$	
	Розвальцьовування	Відбортовування
Мідь	45	57
Сталь	55	78

**Задача 1.16.** Бронзову втулку ( $E = 100$  ГПа,  $\mu = 0,05$ ) запресовують в отвір корпусу з чавуну ( $E = 120$  ГПа,  $\mu = 0,07$ ), зовнішній діаметр втулки  $\varnothing 40_{+0,068}^{+0,043}$  мм, внутрішній діаметр –  $\varnothing 30_{-0,2}$  мм, діаметр отвору корпусу –  $\varnothing 40_{+0,039}$  мм. Шорсткість поверхонь з'єднувальної втулки і отвору корпусу  $R_z = 6,2$  мкм. Довжина запресовування  $L = 40$  мм. Коефіцієнт тертя при запресовуванні  $f = 0,08$ . Визначити необхідне зусилля запресовування.

**Задача 1.17.** На сталевий вал діаметром  $\varnothing 60h8$  мм (шорсткість поверхні  $R_z = 3,8$  мкм) напресовують бронзову втулку з зовнішнім діаметром  $\varnothing 80_{+0,8}$  мм і внутрішнім діаметром  $\varnothing 60U8$ . Шорсткість внутрішньої поверхні втулки  $R_z = 2,8$  мкм. Довжини шийки вала і втулки 30 мм. Коефіцієнт тертя при напресовуванні  $f = 0,1$ . Визначити необхідне зусилля напресовування.

**Задача 1.18.** Визначити температуру, яку повинна мати деталь у момент її вивантаження з нагрівального пристрою для виконання складальної операції методом теплового впливу за наступними даними: діаметр отвору охоплюючої деталі (втулки)  $\varnothing 40_{+0,039}^{+0,068}$  мм, діаметр охопленої деталі (вала) –  $\varnothing 40_{+0,043}^{+0,068}$  мм; матеріал втулки – бронза; температура навколишнього середовища  $T = 20$  °С; час перенесення деталі від нагрівального пристрою до місця складання  $t = 1,2$  хв.; коефіцієнт, який враховує розміри, конфігурацію, матеріал і метод нагрівання деталі  $R = 0,15$ .

**Задача 1.19.** В отвір корпусу діаметром  $\varnothing 90H7$  необхідно запресувати методом теплового впливу латунну втулку, зовнішній діаметр якої  $\varnothing 90s7$ . Визначити температуру, яку повинна мати втулка в момент її вивантаження з охолоджувального пристрою, за такими даними: температура навколишнього середовища  $T = 18$  °С, час перенесення втулки від охолоджувального пристрою до

міся складання  $t = 0,8$  хв.; коефіцієнт, який враховує розміри, конфігурацію, матеріал і метод охолодження втулки  $R = 0,21$ .

**Задача 1.20.** Розрахувати зусилля  $P$ , необхідне для утворення голівок заклепок при холодному клепанні, за даними, наведеними у табл. 1.11.

Таблиця 1.11

Вихідні дані до задачі 1.20

Варіант	Тип заклепок	Матеріал заклепок	Діаметр стрижня, мм
1	Зі сферичними голівками	Сталь	6
2	З плоскою та потайною голівками	Мідь	10
3	З плоскими голівками	Латунь	12
4	Трубчасті	Алюмінієві сплави	8
5	Напівтрубчасті	Мідь	16

**Задача 1.21.** Визначити зусилля, необхідне для виконання операції розвальцювання або відбортовування трубок, за даними табл. 1.12.

Таблиця 1.12

Вихідні дані до задачі 1.21

Варіант	Матеріал трубок	Виконувана операція	Зовнішній діаметр $D$ , мм	Внутрішній діаметр $d$ , мм
1	Мідь	Розвальцювання	14	10
2	Мідь	Відбортовування	16	12
3	Сталь	Розвальцювання	12	8
4	Сталь	Відбортовування	14	10

## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Технологічному проектуванню передують докладне вивчення креслення деталі, технічних умов на її виготовлення та умов її роботи у виробі. При технологічному контролі креслення деталі виявляють можливості поліпшення технологічності конструкції деталі. Аналізуючи вихідні дані, необхідно визначити, якому типу виробництва – масовому, серійному або одиничному – буде відповідати технологічний процес, щоб надалі обґрунтовано вибрати методи обробки, устаткування, оснащення тощо.

### 2.1. Аналіз відповідності вимог, пропонованих щодо якості та службового призначення деталей

Технічні вимоги аналізують, виходячи зі службового призначення деталі у виробі та її креслення. Встановлюють, якою мірою та чи інша вимога сприяє кращому виконанню деталю функціонального та службового призначення. При цьому з'ясовують, що відбудеться, якщо не будуть витримані задані кресленням технічні вимоги, відповідають на питання, яким чином у процесі обробки деталі можуть бути дотримані технічні вимоги і яким методом передбачається контролювати виконання зазначених вимог.

Аналізуючи креслення конкретної деталі і технічні вимоги на її виготовлення, виявляють найбільш відповідальні поверхні. Звичайно вони характеризуються найбільш жорсткими вимогами щодо шорсткості, точності розмірів і форми.

Деталь – складова частина складальної одиниці (виробу), а багато її розмірів є ланками складальних розмірних ланцюгів, які впливають на якість сполучення та взаємне розташування з'єднаних деталей. Тому, з'ясовуючи призначення деталі у вузлі та вплив її параметрів на якість зібраного виробу, необхідно ознайомитися з кресленням складальної одиниці, вивчити принцип її роботи і технічні вимоги стосовно складання.

Аналіз відповідності вимог до точності деталі її службовому призначенню необхідно виконувати в такій послідовності:

1. Розглянути вимоги щодо твердості робочих поверхонь з урахуванням умов роботи деталі в складальній одиниці.

2. Виявити розміри деталі, що мають найбільш жорсткі допуски, встановити відповідність їх службовому призначенню згідно з умовами експлуатації деталі.

3. Перевірити, які є в технічних вимогах обмеження відносно відхилення форми та взаємного розташування поверхонь або сумарні допуски стосовно цих критеріїв. Дати обґрунтування необхідності їхнього дотримання на основі аналізу креслення складальної одиниці й умов роботи деталі.

4. Перевірити, чи відповідає задана конструктором шорсткість поверхонь деталі необхідній точності обробки або їх службовому призначенню в складальній одиниці. Завищені вимоги щодо точності та шорсткості призводять до ускладнення технологічного процесу і збільшення трудомісткості обробки.

Як приклад, проаналізуємо відповідність технологічних вимог креслення деталі "Кришка редуктора" (рис. 2.1), що виготовляється литтям з чавуну марки СЧ20. Кришка в комплекті з корпусом утворює замкнуту порожнину редуктора, в якій розташовані зубчасті передачі та мастильна ванна. Стик кришки з корпусом повинен бути герметичним. У стінці кришки розташовується маточина опорного підшипника вала редуктора.

Вивчення креслення деталі та технічних вимог дає підставу на необхідність введення операції термічної обробки відливки перед механічною обробкою. Найбільшої точності обробки вимагають отвори  $\varnothing 45H7$  і  $\varnothing 52 \pm 0,02$  мм; є обмеження похибок форми та взаємного розташування поверхонь деталі.

Проаналізуємо послідовно ці вимоги з точки зору їхньої обґрунтованості і відповідності службовому призначенню деталі:

1. Термічна обробка необхідна для зняття внутрішніх напружень. Чавунні відливки після чорнової обробки піддаються штучному старінню з метою зняття внутрішніх напружень, які виникають у відливці в процесі охолодження та затвердіння металу у формі. Це забезпечує в процесі експлуатації деталі стабільність розмірів, отриманих після механічної обробки.

2. Точність розміру отвору  $\varnothing 45H7^{+0,027}$  мм обумовлена характером з'єднання його з валом редуктора ( $\varnothing 45H7/g6$ ) та умовами роботи пари тертя-ковзання. Отвір  $\varnothing 52 \pm 0,02$  мм призначений для встановлення ущільнювального кільця. Точність розміру призначена з умови забезпечення герметичності з'єднання (запобігання протіканню мастила).

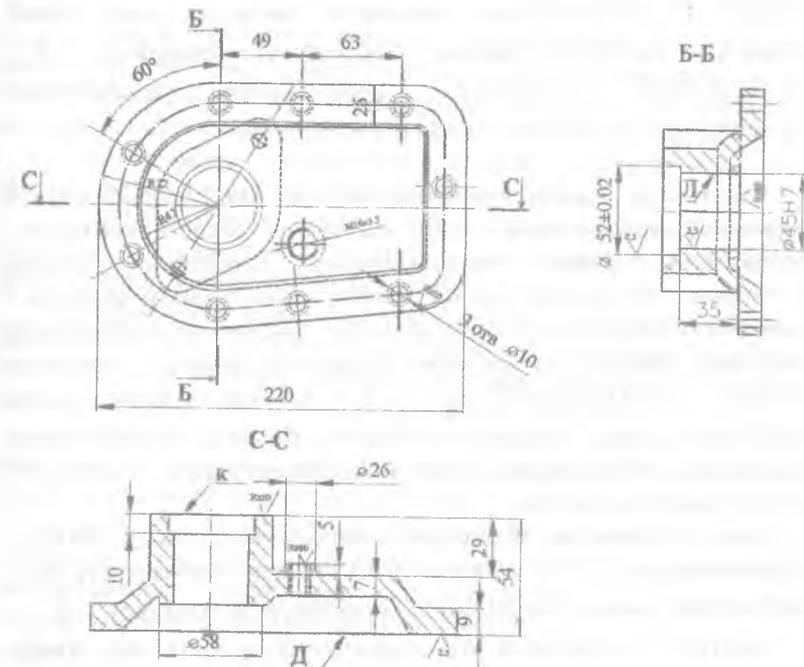


Рис. 2.1. Креслення кришки редуктора (відливка 3-го класу точності; відхилення від площинності поверхонь К і Д не більше 0,05 мм)

3. Обмеження стосовно неплоскості площини змикання "Д" і торця маточини "К" в діапазоні 0,05 мм обумовлені тим, що площина кришки "Д" у з'єднанні з корпусом редуктора, а торець "К" – при контакті з ущільненням фланця мають забезпечити герметичність.

4. Відхилення взаємного розташування поверхонь деталі визначені величиною неперпендикулярності вісі отвору "Л"

( $\varnothing 45H7$ ) щодо поверхні “Д” у межах 0,03 мм. Аналіз креслення складальної одиниці показує, що таке обмеження необхідне, у протилежному випадку в з’єднанні вала з отвором не буде забезпечено лінійного контакту через можливий перекик осей отворів кришки та корпусу після їхнього складання, можливе також затиснення вала.

5. Задана шорсткість ( $R_a = 2,5 \text{ мкм}$ ) поверхонь отворів  $\varnothing 45H7$  і  $\varnothing 52 \pm 0,02 \text{ мм}$  відповідає вимогам щодо їхньої точності. Вимоги стосовно шорсткості поверхні “Д” ( $R_a = 2,5 \text{ мкм}$ ) обумовлені необхідністю забезпечення герметичності в з’єднанні кришки з корпусом.

Результати аналізу використовують при розроблюванні технології виготовлення деталі та виборі засобів контролю. Визначають, якими технологічними прийомами можна забезпечити виконання кожної з вимог щодо точності розмірів і шорсткості поверхонь і яким способом доцільніше здійснювати контроль. Наприклад, обробка відлитого отвору з точністю розміру  $\varnothing 47H7 \pm 0,027 \text{ мм}$ ,  $R_a = 2,5 \text{ мкм}$  може бути забезпечена при такому маршруті обробки: зенкерування попереднє, зенкерування остаточне, розвертування попереднє, розвертування остаточне.

Для забезпечення перпендикулярності вісі отвору  $\varnothing 47H7$  щодо площини “Д” (у межах 0,03 мм) за технологічну базу при обробці отвору необхідно використовувати площину “Д”.

Контроль відхилення від перпендикулярності вісі отвору щодо площини роз’єму “Д” доцільно робити з базуванням вимірjuвального пристрою за отвором  $\varnothing 47H7$ .

**Задача 2.1.** Складальна одиниця (рис. 2.2) редуктора заднього моста (рис. 2.3) містить шестерню 1 (рис. 2.4), підшипник 2, шпонку 3, кільце розп’єрне 4 та шестерню ведучу 5 (рис. 2.5). Опорними поверхнями складальної одиниці при передачі крутного моменту є поверхня зовнішнього кільця підшипника 2 та поверхня шестерні ведучої 5 діаметром  $\varnothing 40g7$ . Технічні вимоги на виготовлення деталей складальної

одиниці (рис. 2.4 і 2.5) подано на кресленнях у текстовій формі та умовними позначеннями.

Необхідно за робочими кресленнями деталей вузлів “Шестерня конічна” (рис. 2.4) і “Шестерня ведуча циліндрична” (рис. 2.5) проаналізувати й обґрунтувати відповідність параметрів точності деталей їхньому службовому призначенню (аналогічно розглянутому раніше прикладу) за такою послідовністю:

- вимоги щодо заготовки, термообробки, твердості поверхонь (чим вони зумовлені та як забезпечуються);
- обґрунтованість призначення жорстких допусків на окремі розміри деталі;
- необхідність зазначених обмежень стосовно відхилень форми та взаємного розташування поверхонь;
- відповідність заданих конструктором шорсткості поверхні і точності обробки з урахуванням службового призначення поверхні деталі у вузлі;
- призначення чорнових і чистових баз механічної обробки заготовки, що забезпечують мінімальну похибку базування при виконанні заданих точності розмірів і обмежень стосовно відхилень форми та взаємного розташування поверхонь;
- вибір маршруту обробки однієї, найбільш відповідальної поверхні, з обґрунтуванням обраного методу її завершальної обробки з огляду на вимоги креслення;
- вибір схеми базування деталі й обґрунтування способу контролю заданих точності розмірів і взаємного розташування найбільш відповідальних її поверхонь, обумовлених технічними вимогами креслення.

**Задача 2.2.** Необхідно, використовуючи креслення складальної одиниці (рис. 1.21), встановити вимоги стосовно точності виготовлення деталей (поз. 1, 9 і 19) і якості їхніх робочих поверхонь.

**Вказівки до виконання завдання.** Викреслити ескізи зазначених деталей і проаналізувати їхнє службове призначення за такою послідовністю:

- призначити вимоги щодо заготовки, термообробки і твердості поверхонь (з обґрунтуванням того, чим вони викликані і як забезпечуються);

- визначити, на які поверхні повинні бути призначені жорсткі допуски (з обґрунтуванням якості точності);

- призначити необхідні обмеження стосовно відхилень форми і взаємного розташування поверхонь;

- визначити обґрунтовані вимоги щодо параметрів шорсткості робочих поверхонь деталей.

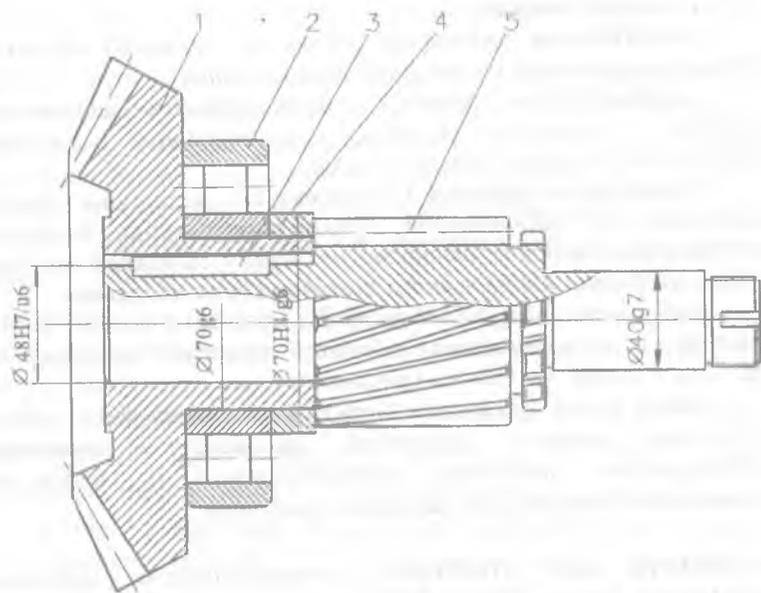


Рис. 2.2. Складальна одиниця (до задачі 2.1): 1 – шестерня конічна; 2 – підшипник; 3 – шпонка; 4 – кільце розпірне; 5 – шестерня ведуча циліндрична

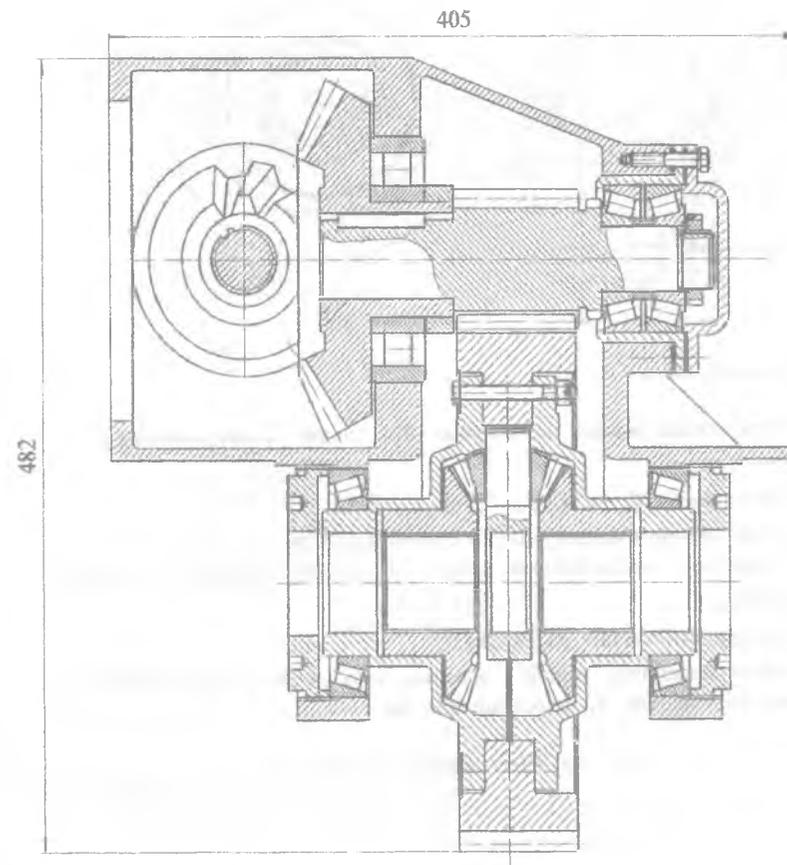
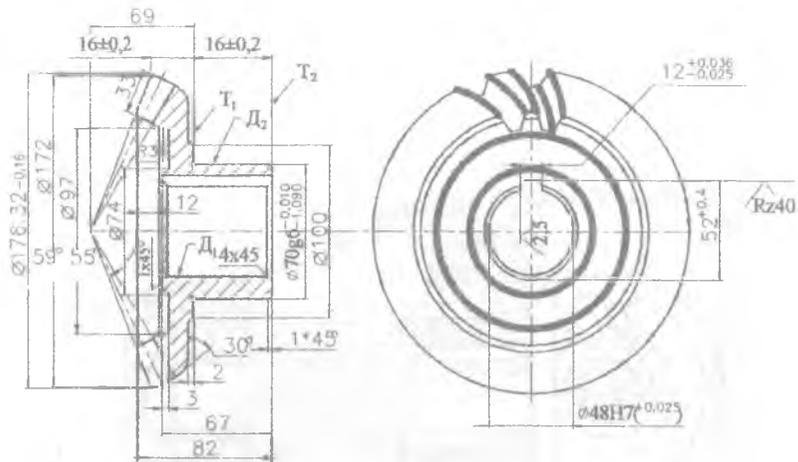


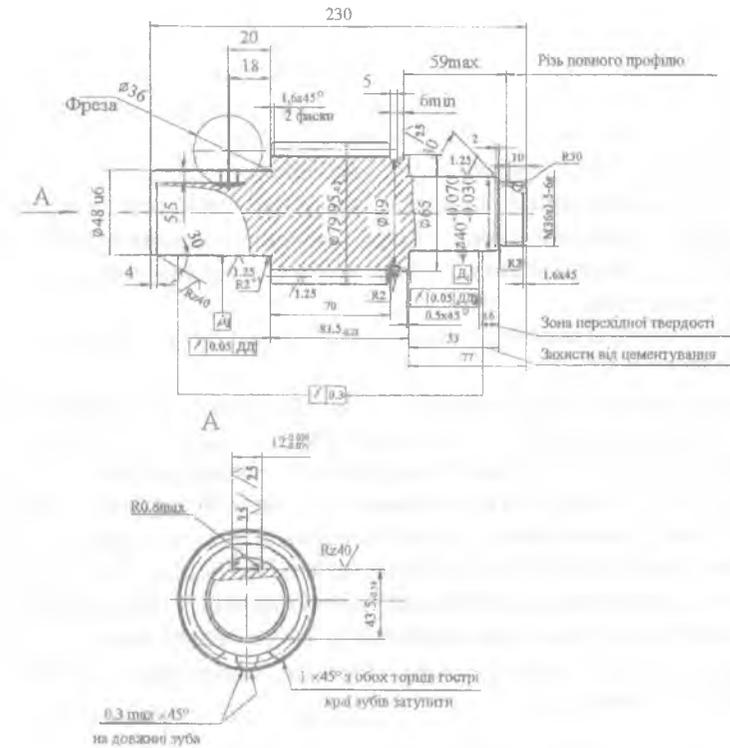
Рис. 2.3. Редуктор заднього моста (до задачі 2.1)



Технічні вимоги:

1. При встановлюванні по поверхні  $D_1$  і торцю  $T_1$  биття поверхні  $D_1$  не більше 0,03 мм.
2. Биття торця  $T_1$  не більше 0,1 мм.
3. Зуби зміцнити наклепуванням сталевим дробом.
4. Глибина цементованого шару 1,0...1,4 мм, твердість поверхні 60...65 HRC<sub>e</sub>.
5. Твердість серцевини 35...45 HRC<sub>e</sub>.
6. Биття зовнішньої конічної поверхні зуба до його нарізування при установці по поверхні  $D_1$  не більше 0,15 мм.

Рис. 2.4. Шестерня (до задачі 2.1)



Технічні вимоги:

1. Зуби зміцнити сталевим дробом.
2. Глибина цементованого шару на зубах  $h = 1,0...1,4$  мм, 60...64 HRC<sub>e</sub>.
3. Твердість серцевини зуба 30...42 HRC<sub>e</sub>, різі 25...40 HRC<sub>e</sub>.

Рис. 2.5. Шестерня ведуча (до задачі 2.1)

## 2.2. Аналіз технологічності конструкції деталі

Відповідно до ГОСТ 14.205-83 *технологічність* – це сукупність властивостей конструкції виробу, що визначають її пристосованість до досягнення оптимальних витрат при виробництві, експлуатації та ремонті при заданих показниках якості, обсягу випуску й умов виконання робіт.

*Виробнича технологічність конструкції деталі* – це ступінь її відповідності вимогам найбільш продуктивного й економічного виготовлення. Чим менші трудомісткість і собівартість виготовлення, тим більша технологічність конструкції деталі.

Оцінка технологічності конструкції може бути якісною та кількісною.

*Якісна оцінка* технологічності є попередньою, узагальненою та характеризується показаннями типу: “гірше”, “рекомендується – не рекомендується”, “технологічно – не технологічно” тощо. Технологічною при якісній оцінці варто вважати таку геометричну конфігурацію деталі й окремих її елементів, при якій враховані можливості мінімальної витрати матеріалу, використання найбільш продуктивних і економічних для визначеного типу виробництва методів виготовлення. У зв'язку з цим варто проаналізувати креслення деталі, наприклад, з точки зору:

- ступеня уніфікації геометричних елементів (діаметрів, довжин, різь, модулів, радіусів переходів тощо) у конструкції;
- наявності зручних базових поверхонь, які забезпечують можливість суміщення та сталості баз;
- можливості вільного підведення і відведення інструмента при обробці;
- зручності контролю точних параметрів деталі;
- зменшення довжини точних оброблюваних поверхонь;
- відповідності форми дна отвору формі кінця стандартного інструмента для його обробки (свердла, зенкера, розвертки) тощо.

Приклади якісної оцінки наведені в літературі [2, 5].

*Кількісна оцінка* технологічності виражається показником, числове значення якого характеризує ступінь задоволення вимог щодо технологічності. Відповідно до ГОСТ 14.202-73 номенклатура показників технологічності виробу містить 4 основних і 31 додатковий показник. Стосовно ж оцінки виробничої технологічності кількісну оцінку роблять за сумарною трудомісткістю  $\sum T_{шк}$  (див. п. 6.3) і технологічною собівартістю  $C_T$  (див. п. 6.4), а також за технічними показниками, визначення яких можливе з креслення деталі. До них відносяться коефіцієнти точності  $K_{тч}$  і шорсткості  $K_{ш}$ .

$$K_{тч} = \frac{1}{T_{ср}}; \quad (2.1) \quad T_{ср} = \frac{\sum T_i n_i}{\sum n_i}; \quad (2.2)$$

$$K_{ш} = \frac{1}{R_{аср}}; \quad (2.3) \quad R_{аср} = \frac{\sum R_{ai} n_i}{\sum n_i}; \quad (2.4)$$

де  $T_i$ ,  $R_{ai}$  – відповідно квалітети точності та значення параметрів шорсткості оброблюваних поверхонь;

$T_{ср}$ ,  $R_{аср}$  – середні значення цих параметрів;

$n_i$  – кількість розмірів або поверхонь для кожного квалітету і значення параметра шорсткості.

У загальному випадку технологічність деталі (індекс “д”) повинна оцінюватися шляхом порівняння її показників з відповідними показниками деталі-аналога (індекс “а”). Під *деталлю-аналогом* розуміється базова деталь, яка виконує у виробі ті ж функції, що й аналізована, і має відомі базові показники (показник  $P_d$  порівнюється з показником  $P_a$ ). Трудомісткість деталі  $T_d$  може бути визначена [26] як

$$T_d = T_a K_m K_k K_N, \quad (2.5)$$

де  $T_a$  – трудомісткість обробки деталі-аналога;

$K_M, K_K, K_N$  – відповідно коефіцієнти, що враховують розбіжності деталі та деталі-аналога за масою, складністю обробки і програмою випуску.

$$K_M = \left( \frac{M_d}{M_a} \right)^{0,67} \quad (2.6)$$

де  $M_d$  і  $M_a$  – відповідно маси деталі та деталі-аналога, кг.

$$K_K = \frac{K_{T,нм,д} K_{ш,нм,д}}{K_{T,нм,а} K_{ш,нм,а}} \quad (2.7)$$

де  $K_{T,нм,д}$ ,  $K_{ш,нм,д}$ ,  $K_{T,нм,а}$ ,  $K_{ш,нм,а}$  – відповідно коефіцієнти, що показують зміну трудомісткості в залежності від зміни найменших значень квалітетів точності і параметрів шорсткості деталі і деталі-аналога:

$$K_{T,нм} = 4T_{нм}^{-0,63}; \quad (2.8)$$

$$K_{ш,нм} = 1,19R_{шнм}^{-0,071}; \quad (2.9)$$

де  $T_{нм}$ ,  $R_{шнм}$  – відповідно найменші значення квалітетів точності та параметрів шорсткості поверхні.

$$K_N = \left( \frac{N_a}{N_d} \right)^m \quad (2.10)$$

де  $N_a$ ,  $N_d$  – відповідно річні випуски аналога та деталі, шт.;  
 $m$  – показник степені, обумовлений формулою:

$$m = 0,2M_d^{-0,045} \quad (2.11)$$

**Задача 2.3.** Проаналізувати конструктивні елементи деталі (рис. 2.6) з точки зору можливості більш продуктивної й економічної обробки отвору.

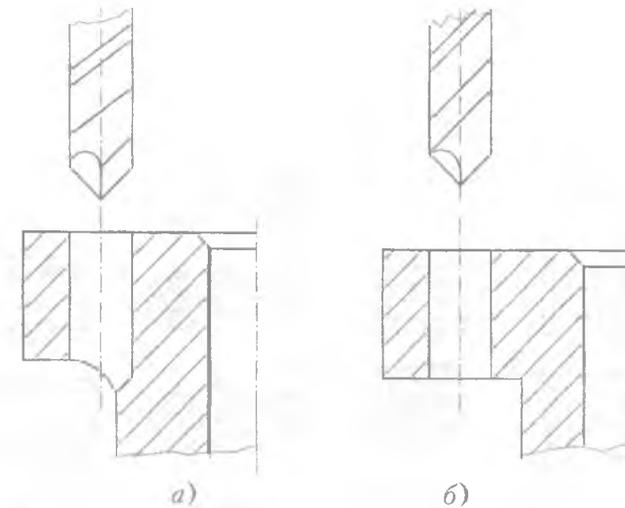


Рис. 2.6. Варіанти конструкційного оформлення оброблюваних отворів

**Розв'язання.** При свердлінні отвору за варіантом (а) на виході свердла неминуче виникнення однобічного зусилля, що може призвести до поломки та збільшення витрат інструментів. Обробка отвору за варіантом (б) забезпечує нормальну роботу свердла внаслідок взаємної компенсації радіальних зусиль на його кромках.

**Задача 2.4.** Дайте якісну оцінку технологічності варіантів конструкційного оформлення елементів деталей (рис. 2.7).

**Задача 2.5** Визначити технологічність деталі (рис. 2.8) за технічними показниками – коефіцієнтами точності  $K_{mч}$  і шорсткості  $K_{ш}$ . Матеріал деталі – сталь 45, маса деталі – 4,5 кг, твердість після термообробки 42...46,5 HRC<sub>e</sub>.

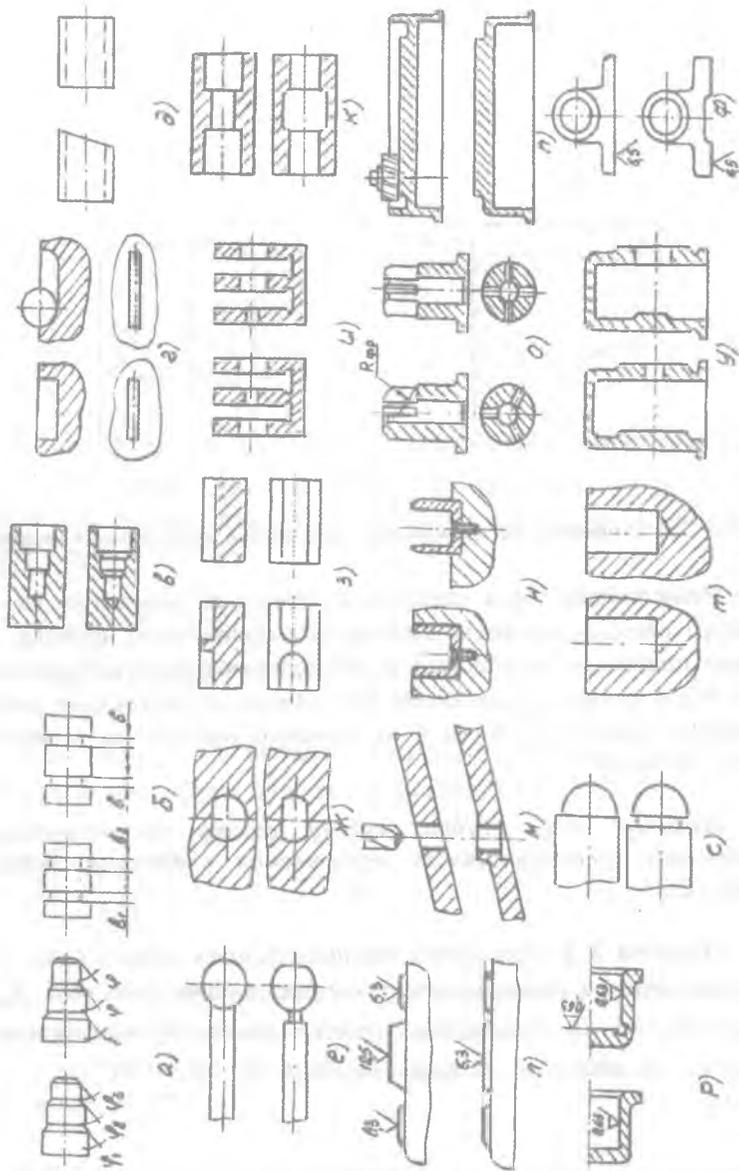


Рис. 2.7. Варіанти конструкційного оформлення деталей

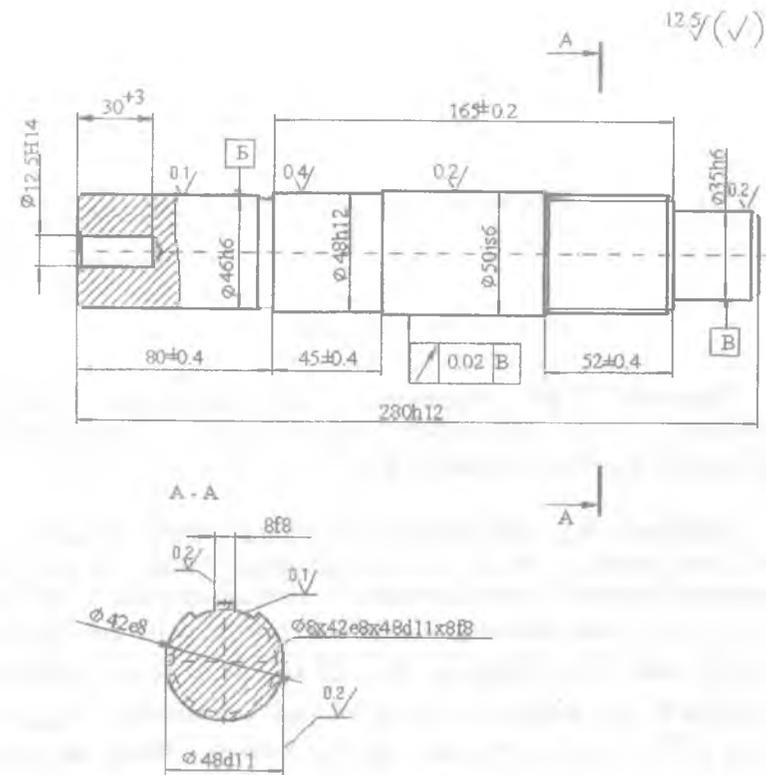


Рис. 2.8. Креслення деталі до задачі 2.5

**Розв'язання.** З аналізу креслення (рис. 2.8) видно, що загальна кількість позначених на кресленні розмірів складає 13, з яких 3 розміри виконуються за 6-м квалітетом точності, 7 розмірів – за 14-м і по одному розміру відповідно за 12, 11 і 8 квалітетами. У той же час 4 поверхні мають середньоарифметичне відхилення профілю  $R_a = 2,0 \text{ мкм}$ , 8 поверхонь –  $R_a = 15 \text{ мкм}$  і по одній поверхні мають шорсткість  $R_a = 0,25; 1,0 \text{ і } 6,3 \text{ мкм}$ .

Використовуючи формули (2.1 – 2.4), отримуємо:

$$T_{cp} = \frac{14 \cdot 7 + 121 + 11 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 6 \cdot 3}{13} = 11,3 \text{ (мкм)};$$

$$K_{mч} = \frac{1-1}{11,3} = 0,91;$$

$$R_{аср} = \frac{15 \cdot 8 + 6,3 \cdot 1 + 2,0 \cdot 4 + 1,0 \cdot 1 + 0,25 \cdot 1}{15} = 9,03 \text{ (мкм)};$$

$$K_{ш} = \frac{1}{9,03} = 0,11.$$

**Задача 2.6.** Визначити технологічність деталей (додаток 8) за технічними показниками – коефіцієнтами точності  $K_{mч}$  і шорсткості  $K_{ш}$ .

**Задача 2.7.** Визначити трудомісткість деталі при відпрацюванні її на технологічність, якщо відомо, що трудомісткість виготовлення деталі-аналога складає  $T_a = 36$  хв. при річному обсязі випуску  $N_a = 100$  шт. Відомо також, що маса деталей  $M_d = 2,2$  кг,  $M_a = 2,6$  кг, найменші квалітет і параметр шорсткості відповідно  $T_{нм.д} = 8$ ,  $T_{нм.а} = 10$ ,  $R_{нм.д} = 1,25$  мкм,  $R_{нм.а} = 2,5$  мкм. Річна програма випуску деталі передбачається  $N_d = 1250$  шт.

**Розв'язання.** Відповідно до формул (2.1 – 2.5):

$$K_m = \left(\frac{2,2}{2,6}\right)^{0,67} = 0,894; K_{т.нм.д} = 4 \cdot 8^{-0,63} = 1,08;$$

$$K_{т.нм.а} = 4 \cdot 10^{-0,63} = 0,94; K_{ш.нм.д} = 1,19 \cdot 1,25^{-0,071} = 1,17;$$

$$K_{ш.нм.а} = 1,19 \cdot 2,5^{-0,071} = 1,11; K_k = \frac{1,08 \cdot 1,17}{0,94 \cdot 1,11} = 1,2;$$

$$m = 0,2 \cdot 2,2^{-0,045} = 0,193; K_N = \left(\frac{1000}{1250}\right)^{0,193} = 0,96;$$

$$T_d = 36 \cdot 0,894 \cdot 1,2 \cdot 0,96 = 37 \text{ (хв.)}$$

Таким чином, незважаючи на істотне збільшення трудомісткості через складність обробки ( $K_k > 1$ ), технологічність деталі за трудомісткістю порівняно з аналогом практично не змінюється, тому що зменшено масу і збільшено річну програму випуску.

**Задача 2.8** Визначити трудомісткість деталі при відпрацюванні її на технологічність за варіантами задачі, наведеними у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Варіанти завдань до задачі 2.8

Варі- анти	Деталь				Деталь-аналог				
	$M_d$ , кг	$T_{нм.д}$ , IT	$R_{нм.д}$ , мкм	$N_d$ , шт.	$M_a$ , кг	$T_{нм.а}$ , IT	$R_{нм.а}$ , мкм	$N_a$ , шт.	$T_a$ , хв.
1	2,3	8	2,5	1500	2,8	7	1,25	1000	36,0
2	7,2	10	6,3	2500	6,9	9	2,5	3000	15,8
3	12,4	9	2,5	1000	13,7	10	5,3	1500	42,0
4	1,2	7	0,63	1500	1,5	6	0,32	1000	28,0
5	2,8	6	0,32	60000	2,3	7	0,63	40000	10,6
6	0,8	11	2,5	25000	1,1	10	1,25	30000	31,0
7	6,5	10	1,25	25000	6,1	9	0,63	15000	22,0
8	10,0	10	2,5	1000	9,2	11	6,3	1200	13,5
9	21,6	8	1,25	25000	22,8	9	2,5	2000	7,5
10	16,4	7	0,63	500	14,8	6	0,32	1000	26,0
11	8,6	7	1,25	800	10,0	8	2,5	600	18,0
12	2,6	12	6,3	3500	2,9	10	2,5	5000	34,0

### 2.3. Формування конструкторсько-технологічного коду деталі

Конструкторсько-технологічна класифікація широко використовується: при технологічній підготовці виробництва та управлінні ним; для аналізу і групування номенклатури деталей за конструктивно-технологічними ознаками; при розробці типових, групових технологічних процесів і операцій із застосуванням комп'ютерної техніки.

Процес кодування полягає в присвоєнні деталі коду класифікаційних угруповань конструкційних ознак згідно класифікатора ЄСКД (шість знаків) і технологічних ознак згідно технологічного класифікатора (14 знаків) [9, 24].

Формула структури коду деталей, оброблюваних різанням:

Конструктивні ознаки						Технологічні ознаки														
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	

/1,2/ – клас, /3/ – підклас, /4/ – група, /5/ – підгрупа, /6/ – вид, /7, 8, 9/ – розмірна характеристика, /10, 11/ – група матеріалів, /12/ – вид деталі за технологічним методом виготовлення; /13, 14/ – вид вихідної заготовки, /15, 16/ – квалітети точності зовнішніх і внутрішніх поверхонь; /17/ – шорсткість або відхилення форми та розташування поверхонь (за важливістю ознаки); /18/ – ступінь точності, /19/ – вид додаткової обробки, /20/ – характеристика маси.

Порядок присвоєння кодів:

1–6 – знаки присвоюються згідно з класифікатором ЄСКД або за додатком (1–4-й знаки); 7–9 – знаки присвоюються за технологічним класифікатором або за табл. 2.5. і табл. 2.6.

Табл. 2.5 призначена для кодування деталей, які є тілами обертання (крім вигнутих з листів, смуг, стрічок), наприклад: кільця, диски, вали, шпинделі тощо (клас 71); деталі з елементами зубчастого зачеплення, різні втулки та кільця, цанги, сектори тощо (клас 72); деталі з прутків і дроту – прямі (клас 74); вали карданні, болти, фрези, калібри тощо (класи 75, 76).

Табл. 2.6 призначена для кодування деталей, які не є тілами обертання (крім вигнутих з листків, смуг, стрічок), наприклад: корпусні, опорні (клас 73); площинні, важільні, шатунні, кулачкові тощо (клас 74); кулачки, копії (класи 75, 76).

**Задача 2.9.** Сформувати конструкторсько-технологічні коди деталей (додаток 8).

**Задача 2.10.** Описати конструкторсько-технологічні ознаки деталей, коди яких наведені в табл. 2.2.

Знаки в конструкторсько-технологічному коді	Присвоюються згідно таблиць
10–11	2.7
12	2.8
13–14	2.9
15–16	2.10
17	2.11 або 2.12
18	2.13
19	2.14
20	2.15

**Задача 2.11.** Сформувати конструкторсько-технологічний код деталі „Вал шлицевий”, оброблюваної різанням (рис. 2.8).

Таблиця 2.2  
Конструкторсько-технологічні коди деталей

Варіант	Конструкторсько-технологічний код деталі
1	711428.ДБ7124.3124220 В
2	712556.986084.2433431 В
3	716463.АЕ8434.1542842 М
4	716672.ІВ9124.2443530 М
5	721655.АА6124.2434В46 М
6	722365.БД204.3124557 В
7	731143.Б98314.1424М40Ж
8	732115.АБ9024.1124530Е
9	734521.ВДЕ324.1214Е40Р
10	743413.894124.2524742М
11	753433.542124.28418459
12	761512.896194.3134Б59А

**Розв'язання.** Для формування конструкторсько-технологічного коду деталі складаємо табл. 2.3.

Таблиця 2.3  
Розшифровка конструкторсько-технологічного коду деталі

№ знака	Ознака	Зміст ознаки	Код ознаки
1 - 2	Клас	Деталь – тіло обертання	71
3	Підклас	Зовнішня циліндрична поверхня, $L/D > 2$	5
4	Група	Без закритих уступів, ступінчаста, двостороння без зовнішньої різі	4
5	Підгрупа	З центральним глухим отвором	2
6	Вид	Зі шлицями, без отворів поза віссю деталі	3
7, 8, 9	Розмірна характеристика, мм	Найбільший зовнішній діаметр – 50, довжина – 280, діаметр отвору – 12,5	83
10, 11	Група матеріалу	Сталь 45, вуглецева конструкційна	04
12	Вид деталі за технологічним методом обробк	Деталь, оброблювана різанням	4
13, 14	Вид вихідної заготовки	Пруток круглий, некалібрований	31
15, 16	Квалітет точності	Зовнішніх поверхонь – 6, внутрішніх – 14	41
17	Відхилення форми та розташування поверхонь	Радіальне биття (при відсутності вимог щодо цього параметра кодується мінімальний параметр шорсткості $R_a$ )	8
18	Ступінь точності	Допуск радіального биття 0,02 мм на діаметрі 50 мм відноситься до 6-го ступеня точності	4
19	Вид додаткової обробки	Термообробка 42...46,5 HRC <sub>e</sub>	4
20	Характеристика маси	Маса деталі 4,3 кг	Г

Формування конструкторсько-технологічного коду виконано з застосуванням класифікаторів ЄСКД і технологічного. При використанні тільки таблиць посібника замість 5-ї та 6-ї ознак проставляються нулі. Конструкторсько-технологічний код деталі – 715423.83044.3141844Г.

**Задача 2.12.** Описати конструкторсько-технологічні ознаки деталі за конструкторсько-технологічним кодом.  
Код деталі – 721325 ВЖО 124.244446М.

**Розв'язування.** Опис конструкційно-технологічних ознак деталі проводиться шляхом декодування та укрупненого аналізу смислового значення ознак за таблицями посібника. Вирішення завдання дається у вигляді таблиці (табл. 2.4).

Таблиця 2.4  
Приклад опису конструкторсько-технологічних ознак деталі.  
Код деталі – 721325 ВЖО 124.244446Г

Ознака	Код ознаки	Зміст ознаки
Клас	72	Деталь – тіло обертання
Підклас	1	З елементами зубчастого зачеплення
Група	3	Циліндрична, одновінцева з модулем понад 1 мм
Підгрупа	2	З неконсольним зубчастим вінцем
Вид	5	Без контрольного отвору з модулем від 4 до 10 мм включно зі шлицями на зовнішній поверхні
Розмірна характеристика, мм	ВЖО	Найбільший зовнішній діаметр 120 – 150, довжина 200 – 250; діаметр центрального отвору – 0
Група матеріалу	12	Сталь конструкційна легована
Технологічний метод виготовлення	4	Деталь, оброблювана різанням
Вид вихідної заготовки	24	Штамповка об'ємна, некалібрована
Квалітет точності	4	Точність поверхонь IT8 – IT5
Ступінь точності	4	Ступінь точності форми та розташування поверхонь 8 – 6
Параметр шорсткості $R_a$ , мкм	4	Параметр шорсткості поверхні від 0,32 до 2,5
Вид додаткової обробки	6	З термічною обробкою понад 53,5 HRC <sub>e</sub> ; без покриття
Характеристика маси, кг	Г	Маса деталі в діапазоні від 4 до 10 кг

Таблиця 2.5

Кодування розмірної характеристики (тіла обертання)

Код	Найбільший зовнішній діаметр, мм	Довжина, мм	Діаметр центрувального отвору, мм
1	До 4	До 0,2	До 3
2	Від 4 до 6	Від 0,2 до 0,5	Від 3 до 10
3	Від 6 до 10	Від 0,5 до 0,8	Від 10 до 16
4	Від 10 до 16	Від 0,8 до 1,6	Від 16 до 20
5	Від 16 до 25	Від 1,6 до 2,5	Від 20 до 25
6	Від 25 до 32	Від 2,5 до 6,0	Від 25 до 35
7	Від 32 до 40	Від 6,0 до 10,0	Від 35 до 50
8	Від 40 до 60	Від 10 до 25,0	Від 50 до 60
9	Від 60 до 80	Від 25 до 45,0	Від 60 до 80
A	Від 80 до 100	Від 45 до 56,0	Від 80 до 100
Б	Від 100 до 120	Від 56 до 75,0	Від 100 до 125
У	Від 120 до 150	Від 75 до 95,0	Від 125 до 160
Г	Від 150 до 180	Від 95 до 120,0	Від 160 до 200
Д	Від 180 до 200	Від 120 до 150,0	Від 200 до 250
Е	Від 200 до 220	Від 150 до 200,0	Від 250 до 320
Ж	Від 220 до 320	Від 200 до 250,0	Від 320 до 400
І	Від 320 до 400	Від 250 до 300,0	Від 400 до 500
К	Від 400 до 630	Від 300 до 350,0	Від 500 до 800
Л	Від 630 до 800	Від 350 до 500,0	Від 800

Таблиця 2.6

Кодування розмірної характеристики (не тіла обертання)

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

Таблиця 2.7

Кодування групи матеріалів

Код	Група матеріалу	
01	Сталі вуглецеві	
02	Сталі вуглецеві конструкційні з граничним вмістом вуглецю, %	від 0,10 до 0,24
03		від 0,24 до 0,35
04		від 0,35
08	Сталі інструментальні вуглецеві	
10	Сталі леговані (крім сталей з особливими фізичними властивостями)	
11	Сталі конструкційні	низьколеговані
12	Сталі конструкційні	леговані
18	Сталі інструментальні	леговані
19	Сталі інструментальні	швидкорізальні
20	Сталі та сплави леговані з особливими фізичними властивостями	
21	Високолеговані сталі і сплави корозійностійкі, жаростійкі, жароміцні, кавітаційностійкі, зносостійкі, високоміцні, надвисокоміцні, а також низько-, середньо- і високолеговані теплостійкі	
23	Сплави з високим електричним опором	
25	Прецизійні сплави з заданими властивостями пружності, заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення і надпровідні прецизійні сплави	
27	Сталі та сплави магніто-м'які (електротехнічні) і магніто-тверді	
30	Чавуни	
31	Чавуни	сірі
32		прості
33		ковкі
34		високоміцні
35		з особливими властивостями (крім відповідних кодам 31-34)
40	Мідь, алюміній і сплави на їхній основі (сплави на основі магнію)	
41	Мідь	
42	Сплави на основі міді	латунь
43		бронза
44		мідно-нікелеві
45	Алюміній	
46	Сплави на основі алюмінію	
48	Сплави на основі магнію	
50	Титан, хром, тугоплавкі метали, цинк, свинець, олово і сплави на їхній основі, благородні метали та їхні сплави; біметали	

Таблиця 2.8

Кодування технологічного методу виготовлення

Код	Вид деталі за технологічними методами виготовлення
1	Виготовлена виливанням
2	Виготовлена куванням і об'ємним штампуванням
3	Виготовлена чистовим штампуванням
4	Виготовлена різанням
5	Термічно оброблювана
6	Виготовлена формоутворенням з полімерних матеріалів, кераміки, скла та гуми
7	З покриттям
8	Оброблювана електрофізикохімічними методами
9	Виготовлена методом порошкової металургії

Таблиця 2.9

Кодування виду вихідної заготовки

Код	Вид заготовки		
10	Заготовка, отримана виливанням		
11	Виливання	у піщану форму	
12		у форму з рідких самотверднучих сумішей	
13		у піщану форму, виготовлену під високим литим тиском	
14		у металеву форму	
15		відцентровим методом	
16		в оболонкову форму	
17		за виплавлюваними моделями	
18		штампуванням рідкого металу	
19		під тиском	
20	Заготовка, отримана обробкою тиском		
21	Кування	на молоті	
22		на пресі	
23		радіальним обтисненням	
24	Штамповка	об'ємна	некалібрована
25			калібрована
26		листова	
28	Пресована штучна заготовка		
29	Заготовка, отримана спеціальними методами тиску (вибухом, у вакуумі тощо)		
30	Пруток, дріт		
31	Пруток	круглий	некалібрований
32			калібрований
33		шестигранний квадратний	некалібрований
34			калібрований

Таблиця 2.10

Кодування якості точності

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

Таблиця 2.11

Кодування параметра шорсткості

Код	Параметр шорсткості, мкм					
	$R_a$			$R_z$		
1	Понад 80			Понад 320		
2	Від 10	до 80		Від 40	до 320	
3	" 2,5	" 10		" 10	" 40	
4	" 0,32	" 2,5		" 1,6	" 10	
5	" 0,02	" 0,32		" 0,1	" 1,6	
6	" 0,008	" 0,02		" 0,032	" 0,1	

Таблиця 2.12

Кодування ступеня точності

Код	Ступені точності на допуски форми та розташування поверхонь
1	Понад 16
2	16; 15; 14
3	12; 11; 10
4	8; 7; 6
5	5; 4; 3; 2
6	До 1

Таблиця 2.13

Кодування відхилення форми та розташування поверхонь

Код	Відхилення			
	Площинності та прямолінійності	Циліндричності, круглості та профіля повздовжнього перетину	Паралельності, перпендикулярності, нахилу, торцевого биття та повного торцевого биття	Співвісності, симетричності та перетинання вісей, радіального биття і повного радіального биття
0	-	-	-	-
1	+	-	-	-

Відхилення				
Код	Площинності та прямолінійності	Циліндричності, круглості та профіля повздожнього перетину	Паралельності, перпендикулярності, нахилу, горцевого биття та повного торцевого биття	Співвісності, симетричності та перетинання вісей, радіального биття і повного радіального биття
2	-	+	-	-
3	+	+	-	-
4	-	-	+	-
5	+	-	+	-
6	-	+	+	-
7	+	+	+	-
8	-	-	-	+
9	+	-	-	+
A	-	+	-	+
B	+	+	-	+
У	-	-	+	+
Г	+	-	+	+

Таблиця 2.14

Кодування виду додаткової обробки

Код	Термічна обробка		Покриття
0	Без термічної обробки		Без покриття
1			З покриттям
2	З термічною обробкою до або між операціями обробки різнанням	HRC <sub>e</sub> до 40	Без покриття
3			З покриттям
4		40...53,5	Без покриття
5			З покриттям
6		Понад 53,5	Без покриття
7	З покриттям		
8	З термічною обробкою після		Без покриття
9	обробки різанням		З покриттям

Кодування характеристики маси

Код	Маса, кг		Код	Маса, кг	
1	До 0,003		Д	Від 10	до 16
2	Від 0,003	до 0,006	Е	" 16	" 25
3	" 0,006	" 0,012	Ж	" 25	" 40
4	" 0,012	" 0,025	І	" 40	" 63
5	" 0,025	" 0,050	К	" 63	" 100
6	" 0,050	" 0,100	Л	" 100	" 160
7	" 0,100	" 0,200	М	" 160	" 250
8	" 0,200	" 0,500	Н	" 250	" 400
9	" 0,500	" 1,000	П	" 400	" 630
A	" 1,000	" 1,600	Р	" 630	" 1000
Б	" 1,600	" 2,500	С	" 1000	" 1600
В	" 2,500	" 4,000	Т	" 1600	" 2500
Г	" 4,000	" 10,00	У	" 2500	" 5000

#### 2.4. Визначення типу виробництва

Відповідно до ГОСТ 3.1108-74 ЕСТД і ГОСТ 14.004-74 ЕСТПВ однією з основних характеристик типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій  $K_{30}$ .

$K_{30}$  – це відношення кількості всіх різних операцій, які виконуються або мають виконуватися в цеху (на дільниці) протягом місяця, до кількості робочих місць. Він характеризує або кількість різних операцій, що приходяться в середньому на одне робоче місце за місяць, або ступінь спеціалізації робочих місць. При  $K_{30} \leq 1$  виробництво масове; якщо  $1 < K_{30} \leq 10$  – великосерійне;  $10 < K_{30} \leq 20$  – середньосерійне;  $20 < K_{30} \leq 40$  – малосерійне. В одиничному виробництві  $K_{30}$  не регламентується.

Відповідно до [1], при розрахунках для діючого цеху (дільниці)

$$K_{30} = \frac{\sum P_o}{P_{я}} = \frac{K_n \cdot \Phi \cdot \sum P_o}{\sum N_l \cdot T_l}, \quad (2.12)$$

де  $\sum P_o$  – сумарна кількість різних операцій;

$P_r$  – явочна кількість робітників підрозділу, що виконують різні операції;

$K_b$  – коефіцієнт виконання норм ( $K_b = 1,3$ );

$\Phi$  – місячний фонд часу робітника при роботі в одну зміну, год.;

$\sum N_i \cdot T_i$  – сумарна трудомісткість програми випуску, год.;

$N_i$  – програма випуску кожної  $i$ -ї позиції номенклатури, шт.;

$T_i$  – трудомісткість  $i$ -ї позиції, год.

Для умов навчального технологічного проектування при заданій річній програмі випуску  $N_p$  (шт.) і відомій трудомісткості основних операцій технологічного процесу  $T_{ш.к.}$  (хв.), явочна кількість робітників  $P_r$  може бути прийнята рівною кількості робочих місць  $P_{р.м.}$ . У той же час умовна кількість однотипних операцій  $P_{oi}$ , що виконуються на одному робочому місці, може бути визначена як

$$P_{oi} = \frac{\eta_n}{\eta_\Phi}, \quad (2.13)$$

де  $\eta_n$  – нормативний коефіцієнт завантаження робочого місця всіма, закріпленими за ним, операціями;

$\eta_\Phi$  – фактичний коефіцієнт завантаження даною операцією.

$$\eta_\Phi = \frac{T_{ш.к.} \cdot N_p}{60 \cdot F_d \cdot K_b}, \quad (2.14)$$

де  $K_b$  – коефіцієнт виконання норм;

$F_d$  – дійсний річний фонд часу роботи устаткування, год.

Прийнявши за довідковими даними  $K_b = 1,3$ ;  $\eta_n = 0,8$  і  $F_d = 4015$  год., отримаємо:

$$P_{oi} = \frac{\eta_n \cdot 60 \cdot F_d \cdot K_b}{N_p \cdot T_{ш.к.}}, \quad (2.15)$$

$$K_{zo} = \frac{250536}{N_p \cdot T_{р.м.}} \sum_{i=1}^{P_{oi}} \frac{1}{T_{ш.к.i}}. \quad (2.16)$$

**Задача 2.13.** Визначити умовну кількість однотипних операцій  $P_{oi}$ , виконуваних на кожному робочому місці, коефіцієнт закріплення операцій  $K_{zo}$  і тип виробництва при реалізації технологічних процесів виготовлення двох деталей, використовуючи вихідні дані (табл. 2.16).

**Розв'язання** (варіант 12, деталь 23):

$$P_{o1} = \frac{250536}{3000 \cdot 3,6} = 23,2; \quad P_{o2} = 16,1; \quad P_{o3} = 29,8; \quad P_{o4} = 10,1; \\ P_{o5} = 19,9.$$

У зв'язку з тим, що  $K_{zo} < 20$  – виробництво середньосерійне.

Таблиця 2.16

Вихідні дані для визначення типу виробництва

Варіант	№ деталі	$T_{ш.к.}$ на операцію						$N_i$ , шт.
		005	010	015	020	025	030	
1	1	3,3	4,8	4,6	5,9	6,3	7,5	4500
	2	2,1	5,3	8,8	7,5	1,8	11,2	10000
2	3	4,7	7,8	5,4	10,3	15,2	–	2500
	4	5,2	4,3	12,4	4,8	1,2	3,8	7500
3	5	1,2	0,8	2,1	2,8	1,9	0,7	15000
	6	12,0	32,3	15,6	10,3	9,2	–	1500
4	7	15,0	42,0	11,3	7,4	–	–	1000
	8	0,9	1,2	7,1	3,4	5,3	–	10000
5	9	3,0	4,5	6,3	5,4	1,2	1,7	7500
	10	1,2	2,1	0,9	1,8	3,2	–	30000
6	11	5,0	6,2	4,2	7,8	8,3	5,4	1500
	12	3,8	4,3	12,0	6,3	–	–	3800
7	13	7,0	6,5	8,3	5,4	7,8	2,4	10000
	14	4,0	7,0	2,2	3,5	4,7	–	50000

Варіант	№ деталі	$T_{ш.к}$ на операцію						$N_{г,}$ шт.
		005	010	015	020	025	030	
8	15	2,7	1,8	3,9	4,6	6,6	–	1500
	16	7,0	8,0	9,0	10,0	7,5	8,5	5000
9	17	13,5	6,8	7,5	14,0	3,5	–	1500
	18	3,0	4,5	2,9	7,4	1,8	–	12000
10	19	9,5	36,0	14,0	22,0	–	–	4000
	20	1,8	6,7	3,8	12,0	6,1	5,3	25000
11	21	6,5	4,3	11,2	7,8	1,2	3,4	1000
	22	0,8	1,7	1,9	0,6	1,4	3,2	40000
12	23	3,6	5,2	2,8	8,3	4,2	–	3000
	24	26,0	14,0	43,0	8,0	–	–	1000

### РОЗДІЛ 3 ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ОДЕРЖАННЯ ЗАГОТОВОК

Вибір оптимального методу одержання заготовки визначається на підставі аналізу ряду чинників: матеріалу деталі; технічних вимог щодо її виготовлення; обсягу та серійності випуску; форми поверхонь і розмірів деталей. Метод одержання заготовки, що забезпечує технологічність і мінімальну собівартість, вважається оптимальним.

#### 3.1. Визначення виду заготовок і засобів їх виготовлення

Вирішення завдання максимального наближення геометричних форми і розмірів заготовки до розмірів і форми готової деталі – одна з головних тенденцій у виробництві заготовок. Оптимізація вибору методу та засобів отримання заготовки дозволяє не тільки знизити витрати на її виготовлення, але і значно скоротити трудомісткість механічної обробки.

Найчастіше широко застосовують для отримання заготовок у машинобудуванні такі методи: лиття, обробка металів тиском, зварювання, а також комбінації цих методів. Проте кожний із методів містить велику кількість засобів отримання заготовок.

Види заготовок і засоби їх виготовлення для конкретних деталей визначаються відповідно до чинників:

*Матеріал.* Визначає метод отримання заготовок. Найбільш широко використовувані матеріали згруповані в 7 груп. Визначення коду групи здійснюється за табл. 3.1 на підставі креслення деталі.

*Серійність виробництва.* Для визначення цього показника необхідно знати масу деталі (відповідно до креслення) і конкретну програму випуску. Код серійності визначається за табл. 3.2.

*Конструкційна форма.* Конструкційні форми деталей загального машинобудування класифіковані в 14 видах. Вибір відповідного коду проводиться на підставі порівняння реальної деталі з описом типових деталей, поданому в табл. 3.3.

Маса заготовки. За масою заготовки згруповані в 8 діапазонів, вибір яких здійснюється за табл. 3.4 і 3.5.

Таблиця 3.1

Групова класифікація матеріалів заготовок

Вид матеріалу	Код групи
Сталі вуглецеві	1
Чавуни	2
Ливарні сплави	3
Високолеговані сталі та сплави	4
Низьковуглецеві сталі	5
Леговані сталі	6
Прокатані матеріали	7

Таблиця 3.2

Визначення серійності виробництва заготовок

Види заготовок	Маса, кг	Коди серійності заготовок			
		1	2	3	4
Штамповки, поковки	10	500	1000	2500	3500
	100	250	400	1000	1000
	1000	60	300	600	600
Прокат	10	500	1000	3500	3500
	100	250	400	1000	1000
	1000	60	300	600	600
Відливки	10	2000	12000	30000	30000
	100	600	400	8000	8000
	1000	300	1500	7000	7000

Таблиця 3.3

Конструкційна форма деталі

Код	Основні ознаки деталі
1	Вали гладкі круглого або квадратного перерізу.
2	Вали круглого перерізу з одним уступом або фланцем, з буртом або виїмкою без центрального отвору.
3	Деталі з циліндричними, конічними, криволінійними та комбінованими поверхнями довжиною $L \leq 0,5D$ без центрального отвору і з отвором.
4	$0,5D < L < 2D$ .
5	$L > 2D$ .
6	Циліндрична, конусна, криволінійна поверхні, гладка або ступінчаста зовнішня поверхня деталей з наскрізним глухим гладким або ступінчастим отвором.

Закінчення таблиці 3.2

Код	Основні ознаки деталі
7	Круглі в плані або близькі до цієї форми, які мають гладку або ступеневу зовнішню циліндричну поверхню з одно- або двосторонніми уступами і маточинами, з центральним отвором або без нього - $0,5D_0 < L < 2D_0$ .
8	Деталі складної просторової форми.
9	Різноманітної конфігурації деталі з подовженою, прямолінійною, вигнутою осями.
10	Корпусні деталі з зовнішніми поверхнями призматичної, циліндричної та іншої форми, що мають базові отвори та установочні площини з порожнинами та без них, ребра, заглиблення, виступи, бобишки та отвори
11	Призматична, циліндрична форма або поєднання криволінійної та призматичної форм зовнішніх поверхонь, відкритих нерознімних корпусів з привалковою поверхнею у вигляді прямокутних фланців, які мають ребра, заглиблення, виступи.
12	Коробчасті рознімні корпуси з установочною поверхнею $\parallel$ і $\perp$ відносно площини рознімання, що мають одну (та більше) базову поверхню, з ребрами, заглибленнями, виступами.
13	Деталі простої конфігурації, обмежені гладкими та ступінчастими плоскими, циліндричними і комбінованими поверхнями з ребрами, буртами, бобишками, фланцями та отворами.
14	Тонкостінні деталі з циліндричними, конічними та комбінованими формами зовнішньої поверхні, деталі типу дисків і кришок.

Таблиця 3.4

Діапазони відливок, поковок і штамповок за масою

№ діапазону	1	2	3	4	5	6	7	8
Маса, кг	До 0,63	0,63 - 1,60	1,60 - 4,00	4,00 - 10,0	10,00 - 63,0	63,00 - 100	100,0 - 400	Понад 400

Таблиця 3.5

Діапазони діаметрів прокату

№ діапазону	1	2	3	4	5	6	7	8
Діаметр, мм	До 5	5 – 30	30 – 50	50 – 100	100 – 140	140 – 210	210 – 250	Понад 250

Найчастіше використовувані засоби отримання заготовок у машинобудуванні, для зручності користування в роботі, закодовані (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Види заготовок і засоби їх виготовлення

Код	Засоби виробництва заготовок	Коефіцієнт
1	Виливання в піщано-глинисті форми	0,7
2	Відцентрове виливання	0,85
3	Виливання під тиском	0,91
4	Виливання в кокіль	0,8
5	Виливання в оболонкові форми	0,9
6	Виливання за моделями, що виплавляються	0,91
7	Штампування на молотах і пресах	0,8
8	Штампування на горизонтально-кувальних машинах	0,85
9	Вільне кування	0,6
10	Прокат	0,4
11	Зварні заготовки	0,95

Таким чином, визначивши коди за кожним з чотирьох чинників, виявимо перелік можливих видів і засобів отримання заготовок для даної деталі (табл. 3.7):

1. За кодом матеріалу деталі знаходимо відповідний стовпчик у таблиці.

2. За кодом серійності виробництва уточнюємо місце визначеного стовпчика.

3. Код конструктивної форми деталі визначає остаточне місце стовпчика даних у відповідному коді серійності.

4. Код маси деталі уточнює стовпчик потрібного коду форми деталі, що вказує перелік кодів видів заготовок.

Розшифрування кодів видів заготовок із вказівкою конкретних засобів виготовлення здійснюється відповідно до табл. 3.5 і є рекомендаційним для даної деталі на першому етапі вирішення поставленого завдання.

**Задача 3.1.** Визначити можливі види та засоби отримання заготовок для деталі "Вал-шестерня" – креслення ТМ1 (додаток 8). Річна програма випуску 10000 шт.

**Розв'язання.** 1. Визначаємо чотири основні показники деталі:

Матеріал – сталь 25 ХГНМТ – за табл. 3.1 для даної марки сталі визначаємо код – 5.

Серійність виробництва – за табл. 3.2 (вид заготовок – штамповки, поковки, прокат – маса 6,3 кг – програма 10000 шт.) визначаємо код – 4.

Конструктивна форма – за табл. 3.3 (основні ознаки деталі) відповідно до креслення визначаємо код – 2.

Маса заготовки – за табл. 3.4 визначаємо код – 4.

2. З огляду на визначені вище коди чотирьох основних показників деталі, визначаємо можливі види та засоби отримання заготовок для даної деталі:

матеріал – 5;

серійність – 4;

конструкційна форма – 2;

маса – 4.

Згідно табл. 3.7 за визначеними раніше кодами 5-4-2-4 - з рядка "Види заготовок" виписуємо рекомендовані коди видів - 7, 8, 9, 10.

Таблиця 3.7

Вибір можливих видів і засобів виготовлення заготовок

Найменування ознаки	Код ознаки								
Матеріал	1, 2, 3								
Серійність	1	2, 3, 4							
Конструктивна форма	1			2			3-4		
Маса деталі	1-6	7	8	1-6	7	8	1-6	7	8
Вид заготовок (метод отримання)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		4	4	4	4	4	4	2	4
		5	5	5	5	5	-	4	5
		6	-	-	6	-	-	5	-
		-	-	-	-	-	-	6	-
		-	-	-	-	-	-	-	-
Найменування ознаки	Код ознаки								
Матеріал	1, 2, 3								
Серійність	2, 3, 4								
Конструктивна форма	5			6			7		
Маса деталі	1-6	7	8	1-6	7	8	1-6	7	8
Вид заготовок (метод отримання)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	4
	3	-	-	4	4	4	3	-	5
	4	4	4	5	5	-	4	4	6
	5	5	-	6	-	-	5	-	-
	6	-	-	-	-	-	6	-	-
Найменування ознаки	Код ознаки								
Матеріал	1, 2, 3								
Серійність	2, 3, 4								
Конструктивна форма	8-9			10			11-12		
Маса деталі	1-6	7	8	1-6	7	8	1-6	7	8
Вид заготовок (метод отримання)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	4	4	3	-	-	3	-	-
	5	5	-	4	4	4	4	4	4
	6	-	-	5	5	-	5	5	-
	-	-	-	6	-	-	6	-	-
	-	-	-	-	-	-	11	11	11

Закінчення таблиці 3.7

Найменування	Код ознаки								
Матеріал	1, 2, 3								
Серійність	2, 3, 4								
Конструктивна форма	8-9			10			11-12		
Маса деталі	1-6	7	8	1-6	7	8	1-6	7	8
Вид заготовок (метод отримання)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	4	4	4	3	-	-	3	-	-
	5	5	-	4	4	4	4	4	4
	6	-	-	5	5	-	5	5	-
	-	-	-	6	-	-	6	-	-
	-	-	-	-	-	-	11	11	11
Найменування ознаки	Код ознаки								
Матеріал	1, 2, 3			4, 5, 6, 7					
Серійність	2, 3, 4			1					
Конструктивна форма	13			14	1-7	8	9	10-12	13-14
Маса деталі	1-6	7	8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	1-8
Вид заготовок (метод отримання)	1	1	1	1	9	9	9	11	9
	2	2	2	2	10	-	10	-	11
	3	-	-	11	-	-	-	-	-
	4	4	4	-	-	-	-	-	-
	5	5	-	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-	-	-
Найменування ознаки	Код ознаки								
Матеріал	4, 5, 6, 7								
Серійність	2, 3, 4								
Конструктивна форма	1	2-7		8	9	10-12		13-14	
Маса деталі	1-8	1-8		1-8	1-8	1-8	1-8	1-8	
Вид заготовок (метод отримання)	9	7		7	7	11		7	
	10	8		9	8	-		11	
	-	9		-	9	-		-	
	-	10		-	-	-		-	
	-	-		-	-	-		-	
	-	-		-	-	-		-	

Користуючись табл. 3.6, визначаємо коди видів заготовок:

- 7 – штампування на молотах і пресах;
- 8 – штампування на горизонтальних кувальних машинах;
- 9 – вільне кування;
- 10 – прокат.

Визначивши можливі види отримання заготовок для деталі “Вал–шестерня”, завершуємо даний етап.

**Задача 3.2.** *Визначити можливі види та засоби отримання заготовок для деталей (табл. 3.8).*

Таблиця 3.8

Дані до задачі 3.2

№ варіанта	Найменування деталі	№ креслення (додаток 8)	Річна програма випуску, шт.
1	Фланець кулака	ТМ2	1000
2	–		10000
3	–		40000
4	Сережка	ТМ3	50
5	–		1000
6	–		5000
7	Шестерня	ТМ5	10000
8	–		5000
9	–		1000
10	Корпус	ТМ6	100
11	–		2000
12	–		10000
13	Шестерня	ТМ7	1000
14	–		5000
15	–		10000
16	Фланець	ТМ8	100
17	–		1000
18	–		5000
19	Корпус	ТМ9	50
20	–		1000
21	–		5000
22	Кришка	ТМ10	50
23	–		500
24	–		5000

### 3.2. Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки\*

Проведені на першому етапі дослідження дозволяють визначити рекомендовані засоби отримання заготовок для деталей згідно креслень ТМ1 – ТМ10 (додаток 8). Прийняття остаточного рішення про вибір конкретного засобу з рекомендованих переліком (результати етапу I) здійснюється шляхом порівняння після визначення собівартості отримання заготовки для кожного з можливих видів.

Визначення собівартості виробництва заготовок (без урахування витрат на попередню механічну обробку), отриманих шляхом лиття і обробки тиском, здійснюється за залежністю:

$$C_{\text{заг}} = \left[ \frac{(C + K_{m.o.})}{1000} \cdot G_{\text{заг}} \cdot K_T - K_c - (G_{\text{заг}} - G_d) \frac{S_{\text{відх}}}{1000} \right] \cdot K_{\Phi}, \quad (3.1)$$

де  $C$  – базова вартість заготовок у грн./т (табл. 3.9 – 3.12);

$G_d$  – маса деталі, кг (див. креслення деталі);

$G_{\text{заг}}$  – маса заготовки, кг:

$$G_{\text{заг}} = \frac{G_d}{K_{\text{от}}}, \quad (3.2)$$

$K_{\text{от}}$  – коефіцієнт вагової точності (табл. 3.5);

$K_{m.o.}$  – коефіцієнт доплати за термічну обробку та очищення заготовок у грн./т (табл. 3.13);

$K_T$  – коефіцієнт, який враховує точнісні характеристики заготовок (табл. 3.14);

$K_c$  – коефіцієнт, який враховує серійність випуску заготовок (табл. 3.15 – 3.17);

$S_{\text{відх}}$  – вартість відходів (стружки) у грн./т;

$K_{\Phi}$  – коефіцієнт, який враховує інфляцію (для цін до 1991 року).

Порівняння засобів виробництва заготовок за їх собівартістю дає підставу для прийняття остаточного рішення щодо оптимального методу та засобу отримання.

**Задача 3.3.** Визначити собівартість виготовлення заготовки "Вал-шестерня", отриманої штампуванням на молотах - креслення ТМ1 (додаток 8). Річна програма становить 10000 шт.

**Розв'язання.** Визначаємо собівартість виробництва заготовки, отриманої штампуванням на молотах, за залежністю:

$$C_{\text{заг}} = \left[ \frac{(C + K_{\text{м.о}})}{1000} \cdot G_{\text{заг}} - K_{\text{т}} \cdot K_{\text{с}} - (G_{\text{заг}} - G_{\text{д}}) \frac{S_{\text{відк}}}{1000} \right] \cdot K_{\text{ф}}$$

$$G_{\text{заг}} = \frac{G_{\text{д}}}{K_{\text{ф}}}; K_{\text{вт}} = 0,8 \text{ (табл. 3.6)}; G_{\text{д}} = 6,3 \text{ кг.}$$

$$G_{\text{заг}} = \frac{6,3}{0,8} = 7,9 \text{ (кг).}$$

$$C = \Pi_1 - \frac{(\Pi_1 - \Pi_2) \cdot (G_{\text{заг}} - M_1)}{(M_2 - M_1)}$$

$$M_1 = 7,15 \text{ кг;}$$

$$\Pi_1 = 446 \text{ грн. *;}$$

$$M_2 = 9 \text{ кг;}$$

$$\Pi_2 = 432 \text{ грн.}$$

$$G = 446 - \frac{(446 - 432) \cdot (7,9 - 7,15)}{(9 - 7,15)} = 440,3 \text{ (грн.) *}$$

$$K_{\text{м.о}} = 8 \text{ (табл. 3.12);}$$

$K_{\text{т}}$  - для штамповок, поковок і прокату не враховується;

$$K_{\text{с}} = 1 \text{ (табл. 3.17);}$$

$$S_{\text{відк}} = 27 \text{ грн. / т;}$$

$$K_{\text{ф}} = 5$$

$$G_{\text{заг}} = \left[ \frac{(440,3 + 8)}{1000} \cdot 79 \cdot 1 - (7,9 - 6,3) \frac{27}{1000} \right] \cdot 5 = 17,5 \text{ (грн.) *}$$

Вартість заготовки-штамповки для ТМ1 - 17,5 грн. \*  
Аналогічно визначається вартість отримання заготовок за варіантами задачі 3.1, чим завершується 2-й етап рішення задачі на вибір засобу отримання заготовки.

Таблиця 3.9

Оптова ціна 1 т відливок з чавуну, грн. \*

Маса однієї відливки, кг	Група складності					
	1	2	3	4	5	6
До 4,50	322	401	496	590	704	843
5,65	316	394	486	579	691	827
7,15	310	386	477	569	677	811
9,00	304	379	468	557	665	796

Таблиця 3.10

Оптова ціна 1 т відливок зі сталі, грн. \*

Маса однієї відливки, кг	Група складності					
	1	2	3	4	5	6
До 14,25	352	439	542	645	770	922
18,00	346	431	533	634	756	906
22,5	341	424	524	623	744	891
28,25	335	417	515	613	732	876

Таблиця 3.11

Оптова ціна 1 т поковок, грн. \*

Маса однієї поковки, кг	Група складності			
	1	2	3	4
До 2,825	398	452	506	567
3,575	382	432	485	544
4,500	368	418	468	524
5,650	354	403	450	504
7,150	342	389	435	486
9,000	332	376	422	472
11,250	321	365	409	458

Оптова ціна 1 т штамповок, грн.\*

Таблиця 3.12

Маса однієї штамповки, кг	Група складності			
	1	2	3	4
До 1,800	508	577	647	724
2,250	482	548	613	686
2,825	457	519	582	651
3,575	439	499	558	625
4,500	422	480	538	602
5,650	407	463	517	579
7,150	393	446	500	559
9,000	381	432	484	542
11,250	369	419	469	526

а  
Коефіцієнт доплати за термообробку та очищення заготовок  $K_{то}$ \*

Таблиця 3.13

Вид термообробки	грн. / т
Відпалювання	15
Нормалізація	25
Очищення від окалини	8

Коефіцієнт  $K_T$ , який враховує клас точності розмірів заготовок-відливок

Таблиця 3.14

Спосіб лиття	У піщано-глинисті форми (ПГФ)	В оболонкові форми	Кокіль	Відцентрове лиття	Відливання за моделями, що виплавляються
$K_T$	1,165	1,165	1,270	1,270	1,670

Коефіцієнт  $K_c$ , який враховує серійність випуску заготовок поковок

Таблиця 3.15

Маса однієї поковки, кг	Програма випуску поковок (шт.)			
	Повод 501	251 - 500	126 - 250	125 та менше
2,5 - 10	1,00	1,10	1,25	1,50

Коефіцієнт  $K_c$ , який враховує серійність випуску штампованих заготовок

Таблиця 3.16

Маса однієї штамповки, кг	Кількість гарячих штамповок у річному замовленні за групами серійності (шт.)				
	1	2	3	4	5
1,6 - 2,5	Від 120000	4501 - 120000	1401 - 4500	701 - 1400	700 та менше
2,5 - 4,0	Від 100000	4001 - 100000	1251 - 4000	651 - 1250	650 та менше
4,0 - 10	Від 75000	3501 - 75000	1001 - 3500	501 - 1000	500 та менше
10 - 25	Від 50000	3001 - 50000	751 - 3000	401 - 750	400 та менше
$K_c$	0,90	1,00	1,15	1,30	за домовленістю з покупцями

Коефіцієнт  $K_c$ , який враховує серійність випуску заготовок-відливок

Таблиця 3.17

Величина партії, шт.	< 200	201-1000	1001- 4000	4001- 12000	12001- 20000	20001- 75000	75001- 200000
$K_c$	1,23	1,15	1,10	1,06	1,03	1,00	0,97

**Примітка:** \*Ціни умовні. Для реальних розрахунків необхідно користуватися прайс-листами та іншою інформацією, яка відображає нинішню вартість матеріалів, виробів та послуг.

## РОЗДІЛ 4 РОЗРАХУНКИ ПОХИБОК ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗАГОТОВОК У ПРИСТОСУВАННЯ

### 4.1. Визначення похибки установки

Забезпечення заданої точності механічної обробки з використанням пристосувань значною мірою залежить від вибору технологічних баз і схем встановлення заготовок. Обробка заготовок у пристосуваннях на попередньо налагоджених верстатах (метод автоматичного отримання розмірів) виключає розмічування заготовок і наступне вивірнення їх положення на верстаті. Проте, при цьому виникає похибка установки [4, 21]:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_{30}^2} + \varepsilon_{зк} + \varepsilon_i + \varepsilon_{вус} + \varepsilon_{вф}, \quad (4.1)$$

де  $\varepsilon_6$  – похибка базування;

$\varepsilon_{30}$  – похибка закріплення основна;

$\varepsilon_{зк}$  – похибка закріплення, пов'язана зі зміною форми поверхні контакту встановлюваного елемента внаслідок його спрацювання;

$\varepsilon_i$  – похибка, зумовлена прогресуючим спрацюванням установлюваних елементів;

$\varepsilon_{вус}$  – похибка виготовлення та складання опор верстатного пристосування;

$\varepsilon_{вф}$  – похибка встановлення та фіксації пристосування на верстаті.

У сукупності похибки  $\varepsilon_i$ ,  $\varepsilon_{вус}$  і  $\varepsilon_{вф}$  являють собою похибку положення заготовки у пристосуванні  $\varepsilon_{вф}$ .

Точність виконання заданих розмірів  $H$  може бути визначена як

$$TH = \varepsilon_y + \omega, \quad (4.2)$$

де  $TH$  – допуск виконуваного розміру  $H$ ;

$\omega$  – середня точність обробки на металообробних верстатах, дані про яку наведені в [5].

Для прийнятого методу обробки та схеми встановлення заготовки очікувана (розрахункова) точність обробки  $TH_{роз}$  має бути меншою допуску виконуваного розміру:

$$TH_{роз} \leq TH. \quad (4.3)$$

У зв'язку з розрахунком очікуваної точності обробки інженеру-технологу необхідно вирішувати такі задачі:

– визначення похибки базування залежно від прийнятої схеми встановлення заготовки у пристосування або вибір схеми встановлення, що забезпечує мінімальну похибку базування (задачі 4.1 – 4.14 і 4.22 – 4.32);

– визначення похибки закріплення залежно від зміни сил затискання, неоднорідності шорсткості та хвилястості поверхонь заготовок, спрацювання установлювальних елементів пристосувань (задачі 4.15 – 4.18);

– визначення похибки, зумовленої спрацюванням установлювальних елементів пристосувань (задачі 4.19 – 4.21);

– визначення виконуваних розмірів установних і напрямних елементів, які забезпечують задану точність обробки та можливість встановлення заготовок (задачі 4.33 – 4.50).

При розрахунку похибки базування  $\varepsilon_6$  необхідно використовувати універсальні розрахункові модулі, наведені в навчальному посібнику [5, с. 30–41].

Для визначення похибок закріплення  $\varepsilon_3$  або  $\varepsilon_{30}$  і  $\varepsilon_{зк}$  усі необхідні дані можна взяти з [23, с. 528–533].

Точність пристосувань є найважливішим чинником, який забезпечує точність виготовлення деталей. Нове пристосування має визначений запас точності, проте в процесі експлуатації спрацьовуватися його установні та напрямні елементи, пристрій втрачає здатність забезпечити необхідну точність. З метою проведення його ремонту, необхідно вміти визначати міжремонтний період роботи пристосування.

Лінійний знос установних елементів пристрою (опор) і визначає похибка  $\varepsilon_i$  ( $\varepsilon_i = i$  – для опор,  $\varepsilon_i = \frac{i}{\sin \alpha / 2}$  – для призм, де  $\alpha$  – кут призми). Розмір  $i$  визначається за рівнянням:

$$i = \frac{N \cdot K_y \cdot (1 + 0,003 \cdot L) \cdot 0,79 \cdot t_m}{m - m_1 \Pi_1 - m_2 \frac{0,1 \cdot Q}{F \cdot HV}}, \quad (4.4)$$

де  $N$  – кількість встановлюваних заготовок;

$\Pi_1$  – критерій зносостійкості [23, с. 535, табл. 18];

$Q$  – навантаження на опору, Н;

$F$  – площа контакту опори з базовою поверхнею заготовки,  $\text{мм}^2$  [23, с. 537, табл. 19];

$HV$  – твердість матеріалу опори за Віккером ( $HV \approx 11,6 HRC_e$ ), рекомендації щодо вибору твердості наведені в [23, с. 535, табл. 17];

$L$  – довжина шляху ковзання заготовки по опорах при досиланні її до упора,  $\text{мм}$  (визначається за умовами експлуатації пристосування);

$t_m$  – машинний час обробки заготовки в пристосуванні,  $\text{хв.}$ ;

$K_y$  – коефіцієнт, який враховує умови обробки [23, с. 537, табл. 20];

$m, m_1, m_2$  – коефіцієнти [23, с. 534, табл. 15].

Міжремонтний період  $\Pi_k$ , який визначає необхідність заміни або відновлення установних елементів пристосування, визначається за рівнянням:

$$\Pi_k = \frac{12k[N]}{N_p} (\text{місяців}), \quad (4.5)$$

де  $N_p$  – річна програма випуску деталей;

$k$  – коефіцієнт запасу, що враховує нестабільність зносу установних елементів ( $k = 0,80 \dots 0,85$ );

$[N]$  – допустима кількість установок заготовок до граничного зносу установлюваних елементів, визначається за рівнянням (4.4).

Допустима величина зносу  $[i]$  визначається допустимою похибкою  $[\varepsilon_i]$  ( $[\varepsilon_i] = [i]$  – для опор і  $[\varepsilon_i] = \frac{[i]}{\sin \alpha / 2}$  – для призм). Величина  $[\varepsilon_i]$  у припущенні, що похибки  $\varepsilon_{\text{вус}}$  і  $\varepsilon_{\text{вф}}$  можна компенсувати налагодженням верстата, визначається як

$$[\varepsilon_i] = TH - \omega - \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_{30}^2} - \varepsilon_{\text{зк}}. \quad (4.6)$$

Для виконання операцій механічної обробки на металорізальних верстатах найчастіше застосовується схема встановлення заготовок, за якою комплекс технологічних баз складається з плоскої поверхні (поверхонь) та отвору або площини і зовнішньої циліндричної поверхні. При цьому базування заготовок здійснюється за допомогою опорних пластин (штирів), установних пальців (циліндричних і зрізаних), центрувальних втулок із гарантованим зазором (у випадку циліндричних оправок – із гарантованим зазором або натягом [10, с. 40 – 48]).

Установні пальці для встановлення заготовок із гарантованим зазором виготовляються з полями допусків  $g5$ ;  $g6$ ;  $f6$ ;  $f7$ ;  $e7$ , центрувальні втулки –  $G5$ ;  $G6$ ;  $G7$ ;  $F7$ , а циліндричні оправки для встановлення заготовок із натягом виготовляються з полями допусків валів  $n$ ,  $p$ ,  $r$ ,  $s$ ,  $t$  5-го та 6-го квалітетів. Проте, для кожного конкретного випадку поле допуску на виконувальні розміри установних елементів визначається розрахунком з умови забезпечення нерухомості заготовки або можливості встановлення заготовок і забезпечення заданої точності розмірів за рівнянням (4.2).

Допуски на діаметри отворів кондукторних втулок призначають залежно від розмірів різального інструмента і точності обробки отворів [23, с. 563–565, табл. 37, 38]. Відхилення відраховують від найбільшого граничного розміру інструмента.

**Задача 4.1.** На горизонтально-фрезерному верстаті набором фрез одночасно обробляють поверхні 1, 2, 3, 4 (рис. 4.1). Написати розрахункові залежності для визначення похибки базування при виконанні розмірів  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6$ . Зазначити розміри, на точність виконання яких буде впливати зміна зусилля затискача заготовки  $Q$ . Розміри  $A_7$  і  $A_8$  виконані з відхиленнями відповідно  $\pm 1/2IT_{A_7}, \pm 1/2IT_{A_8}$ .

**Задача 4.2.** На вертикально-свердильному верстаті роблять зенкерування отвору та підрізки торця, витримуючи розміри  $A_1, A_2, A_3, A_5$  і  $D$  (рис. 4.2). Написати розрахункові залежності для визначення похибки базування при виконанні зазначених розмірів. Розмір  $A_4$  виконаний із відхиленням  $\pm 1/2IT_{A_4}$ .

**Задача 4.3.** На торцевій поверхні валів, установлених у призму, свердлять два отвори (рис. 4.3). Потрібно, щоб різниця розмірів  $H_1$  і  $H_2$  була мінімальною. Перевірити розрахунком, при якому розташуванні кондукторних втулок щодо призми дана вимога буде забезпечуватися. Діаметр вала  $\varnothing 80^{+0,15}$  мм, кут призми  $\alpha = 90^\circ$ .

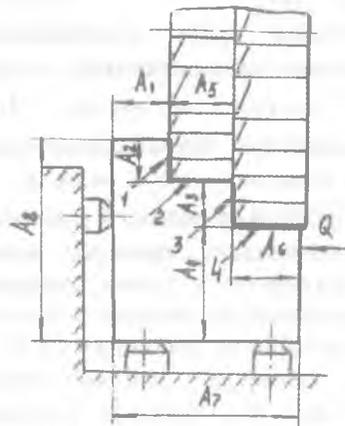


Рис. 4.1. Схема обробки заготовки (до задачі 4.1)

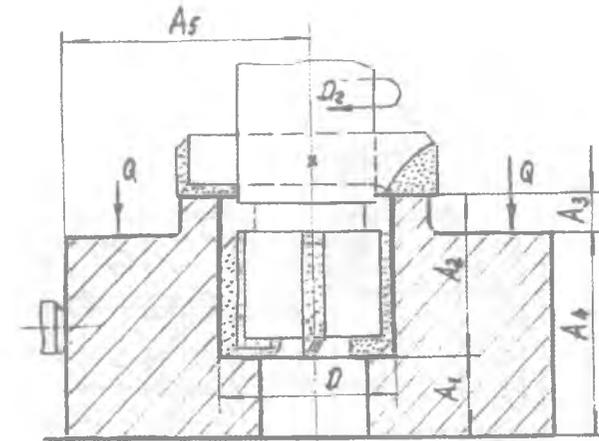


Рис.4.2. Схема обробки отвору (до задачі 4.2)

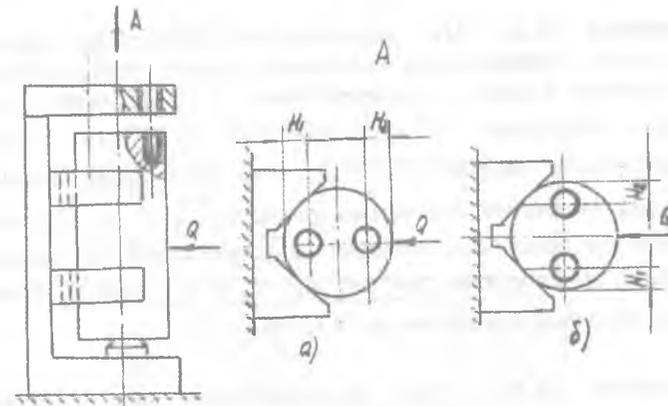


Рис. 4.3. Схеми розташування кондукторних втулок щодо призми (до задачі 4.3)

**Задача 4.4.** У торцях валів, оброблених з розміром  $\varnothing 65_{-0,2}$  мм, потрібно просвердлити отвір  $\varnothing 12,0$  мм. Положення вісі отвору визначається розміром  $H$ , заданим від твірної циліндричної поверхні вала. При проектуванні пристосувань можливі три варіанти розташування втулок у кондукторній плиті щодо призми, в якій установлено вал (рис.

4.4). Визначити, при якому положенні кондукторної втулки забезпечується найменша похибка базування для розміру  $H$ . Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ .

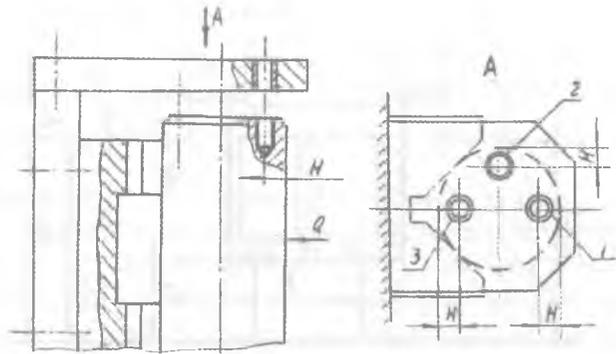


Рис. 4.4. Схеми встановлення кондукторної втулки при свердлуванні отвору в торці вала (до задачі 4.4)

**Задача 4.5.** На вертикально-фрезерному верстаті обробляють ступінчасту поверхню втулки, встановленої на циліндричний палець із буртом (рис. 4.5). Діаметр базового отвору виконаний з розміром  $D = 30^{+0,039}$  мм, діаметр установочного пальця  $d = 30_{-0,016}$  мм. Потрібно визначити очікувану точність виконання розмірів  $A_1$  і  $A_2$ . Складовою похибки встановлення, похибками закріплення та положення заготовки знехтувати, тобто,  $\varepsilon_{30}$ ,  $\varepsilon_{3K}$  і  $\varepsilon_{пр}$  рівні 0. Точність методу обробки прийняти  $\omega = 0,12$  мм.

**Задача 4.6.** Для фрезерування паза заготовка встановлюється в центрувальній втулці (рис. 4.6). Вивести розрахункові залежності для визначення похибки базування для розмірів  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  і  $A_5$  при заданій точності розмірів заготовки  $N$ ,  $A$ ,  $d$  і центрувальної втулки  $D$ .

**Задача 4.7.** На вертикально-фрезерному верстаті кінцевою фрезою обробляють ступінчасту поверхню кришки, встановленої у втулку центрувальну (рис. 4.7). Вивести розрахункові залежності визначення похибки базування для

розмірів  $A_1$ ,  $A_2$  і  $A_3$  при заданій точності розмірів заготовки  $d$ ,  $d_1$  і центрувальної втулки  $D$ .

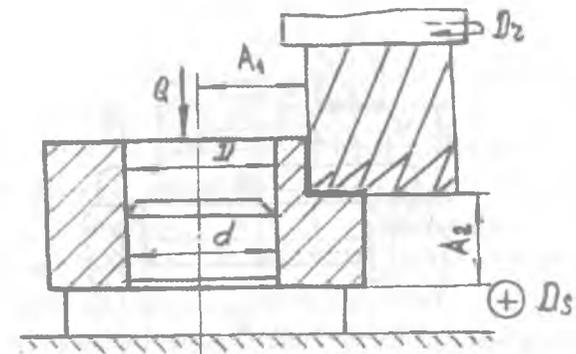


Рис. 4.5. Схема фрезерування втулки

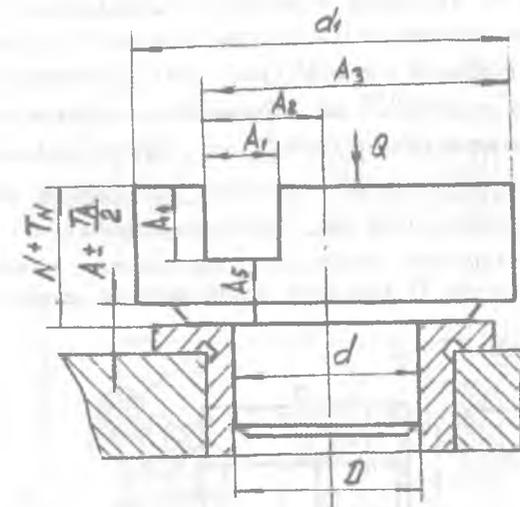


Рис. 4.6. Схема встановки заготовки при фрезеруванні паза (до задач 4.6 і 4.35)

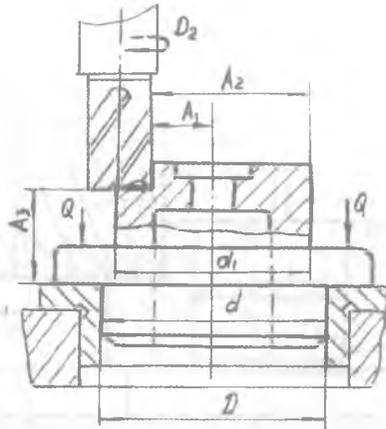


Рис. 4.7. Схема встановки заготовки при фрезеруванні (до задачі 4.7)

**Задача 4.8.** Обробку зовнішньої циліндричної поверхні втулки  $\varnothing 115$  мм виконують при установленні її із зазором на жорсткій шпindelній оправці (рис. 4.8). Діаметр базового отвору втулки –  $\varnothing 65^{+0,035}$  мм. Циліндрична робоча поверхня оправки, виконана в розмір  $\varnothing 65_{-0,06}$  мм, має радіальне биття  $0,020$  мм щодо її конусної поверхні, а биття шпинделя верстата становить  $0,01$  мм. Точність обробки  $\omega = 0,05$  мм. Визначити очікувану точність виконання циліндричної поверхні втулки та її можливу неспіввісність щодо базового отвору.

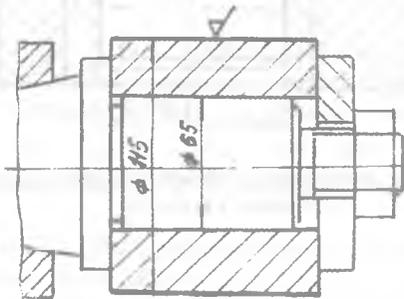


Рис. 4.8. Схема установки втулки (до задачі 4.8)

**Задача 4.9.** При встановленні заготовок на площину та за допомогою двох отворів обробляють поверхні 1, 2, 3 і паз, витримуючи розміри  $A$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ ,  $A_5$ ,  $A_6$  і  $A_7$  (рис.4.9).

Необхідно:

1) визначити похибку базування для зазначених розмірів, якщо відомо, що базові отвори заготовок  $D_1$  і  $D_2$  виконані з допуском  $TD_1 = TD_2 = 0,013$  мм, установні пальці  $d_1$  і  $d_2$  – із допуском  $Td_1 = Td_2 = 0,009$  мм, а мінімальний зазор у з'єднанні базових отворів із установними пальцями  $S_{1\min} = S_{2\min} = 0,007$  мм. Розмір між осями базових отворів  $L_0 = 150 \pm 0,05$  мм;  $A = A_5 = 30^{+0,15}$  мм.

2) визначити можливість обробки поверхонь 1 і 3 одночасно набором фрез, якщо точність прийнятого методу обробки  $\omega = 0,1$  мм.

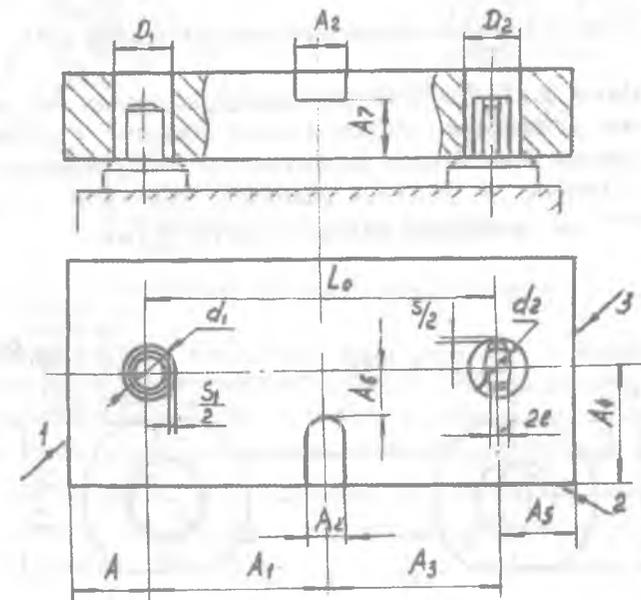


Рис. 4.9. Схема встановлення заготовки при обробці (до задач 4.9 і 4.38)

**Задача 4.10.** Для фрезерування паза кінцевою фрезею важіль встановлюють у призмах, як показано на рис. 4.10. Вивести розрахункові залежності похибки базування для розмірів  $A_1, A_2, A_3, A_4$ . Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ . Розмір  $L_0$  між осями базових циліндричних поверхонь ( $d_1$  і  $d_2$ ) виконаний із точністю  $\pm \frac{1}{2TL_0}$ .

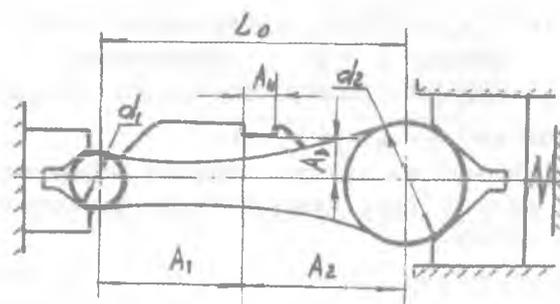


Рис. 4.10. Схема встановлення важеля (до задачі 4.10)

**Задача 4.11.** Визначити похибку базування для розміру  $A = 80$  мм і товщини стінок голівок шатуна  $t = 25$  мм при фрезеруванні його бічних поверхонь за дві установки (рис. 4.11). Отвори в голівках шатуна оброблені в розмір  $D = 30^{+0,033}$  мм, установні пальці —  $\varnothing 30f7^{(-0,02/-0,04)}$  мм.

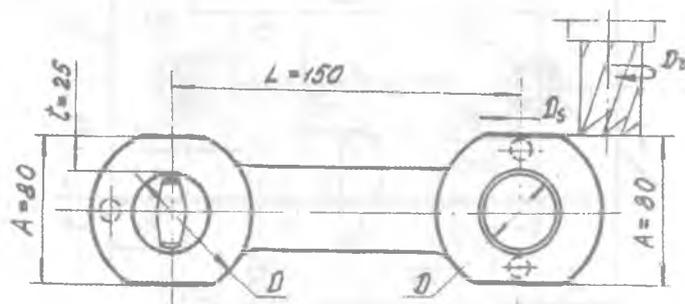


Рис. 4.11. Схема встановлення шатуна (до задачі 4.11)

**Задача 4.12.** На горизонтально протяжному верстаті оброблюють шпоночний паз (рис. 4.12). Потрібно вивести розрахункові залежності та визначити похибку базування при виконанні розмірів  $A$  і  $B$ , а також визначити відхилення від перпендикулярності вісі шпоночного паза щодо вісі отворів  $D_1$  і  $D_2$ , якщо відомо, що діаметри базових отворів виконані з допусками  $TD_1 = TD_2 = 0,025$  мм, а установних пальців —  $Td_1 = Td_2 = 0,011$  мм, величина мінімального зазору в з'єднанні базових отворів важеля з установними пальцями пристосування  $S_{1\min} = S_{2\min} = 0,009$  мм; міжосьова відстань  $L_0 = 200^{+0,3}$  мм.

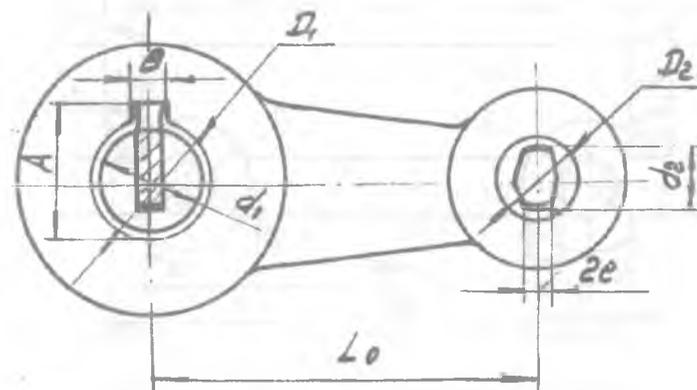


Рис. 4.12. Схема обробки шпоночного паза (до задач 4.12 і 4.40)

**Задача 4.13.** Визначити, чи можливе встановлення заготовки на площину та два отвори з використанням двох циліндричних пальців при обробці заготовки по контуру. Розміри отворів заготовки  $\varnothing 32H7^{+0,025}$  і  $\varnothing 13H7^{+0,018}$ , діаметрів пальців  $\varnothing 32g6^{(-0,009/-0,025)}$  і  $\varnothing 13g6^{(-0,006/-0,017)}$ , відстань між пальцями пристосування  $70 \pm 0,02$  мм, а допуск на міжосьову відстань отворів  $\pm 0,04$  мм.

**Задача 4.14.** На горизонтально-фрезерному верстаті обробляють поверхні голівок шатуна, встановленого по площині та двох отворах на циліндричний і зрізаний пальці

(рис. 4.13). Базові отвори виконані в розмір  $D_1 = D_2 = 50^{+0,039}$  мм. Установні пальці виготовлені в межах поля допуску  $\varnothing 50 f7 \left( \begin{smallmatrix} -0,025 \\ 0,050 \end{smallmatrix} \right)$  мм. Визначити точність виконання розміру 70 і можливість обробки поверхонь шатуна набором фрез при заданій точності виконання розмірів  $45^{+0,4}$  мм. Допуск на розмір між осями отворів  $TL = 0,1$  мм. Точність методу обробки  $\omega = 0,050$  мм.

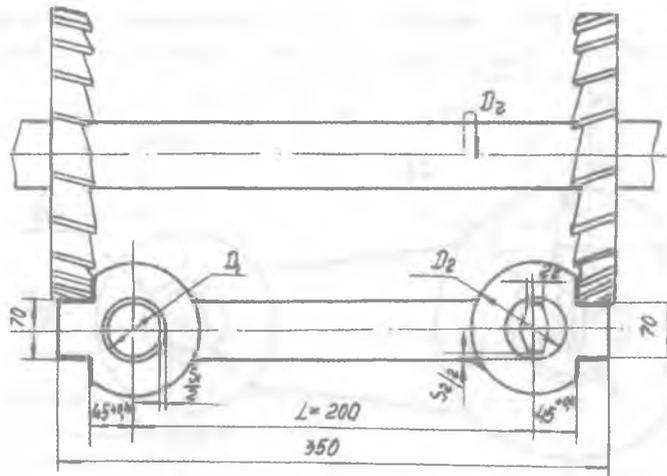


Рис. 4.13. Схема обробки шатуна (до задачі 4.14)

**Задача 4.15.** Заготовки з чавуну ( $R_{max} = 200 \dots 300$  мкм,  $170 \dots 190$  НВ) встановлюють на рифлені опори 7034-0379 ГОСТ 13442-68 ( $D = 20$  мм,  $t = 2$  мм,  $b_1 = 0,5$  мм [23, с. 327, табл. 3]). Сила затискання  $Q = 2000$  Н  $\pm 300$  Н. Допустиме спрацювання опори  $[i] = 300$  мкм. Визначити похибку закріплення  $\epsilon_3$  при найбільшому спрацюванні опор пристосування. Налаштування інструмента на розмір проводиться за установом.

**Розв'язання.** Використовуючи рівняння [23, с. 530, табл. 11], визначаємо:

а) похибка закріплення внаслідок коливання величини сили закріплення ( $\Delta Q = 600$  Н):

$$\begin{aligned} \epsilon_3^I &= \frac{0,15 \cdot R_{max}}{Q^{\frac{2}{3}} \cdot \left[ \frac{t^2}{\pi \cdot D^2 \cdot b_1^2 \cdot HB} \right]^{\frac{1}{3}}} \cdot \Delta Q = \\ &= \frac{0,15 \cdot 250}{2000^{\frac{2}{3}} \cdot \left[ \frac{2^2}{\pi \cdot 20^2 \cdot 0,5^2 \cdot 180} \right]^{\frac{1}{3}}} \cdot 600 = 6 \text{ (мкм)}; \end{aligned}$$

б) похибка закріплення внаслідок неоднорідності шорсткості бази заготовки:

$$\begin{aligned} \epsilon_3^{II} &= 0,46 \cdot \frac{Q \cdot t^2}{(\pi \cdot D^2 \cdot b_1^2 \cdot HB)^{\frac{1}{3}}} \cdot \Delta R_{max} = \\ &= 0,46 \cdot \frac{2000 \cdot 2^2}{(\pi \cdot 20^2 \cdot 0,5^2 \cdot 180)^{\frac{1}{3}}} \cdot 100 = 24,2 \text{ (мкм)}; \end{aligned}$$

в) похибка закріплення внаслідок спрацювання опорної поверхні встановлювальних елементів пристосування:

$$\begin{aligned} \epsilon_{зк} &= 0,46 \cdot R_{max} \cdot \left[ \frac{Q \cdot t^2}{\pi \cdot D^2 \cdot HB} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \left[ \frac{1^{\frac{2}{3}}}{b_1} - \frac{1}{(b_1 + 2 \cdot u)^{\frac{2}{3}}} \right] = \\ &= 0,46 \cdot 250 \cdot \left[ \frac{2000 \cdot 2^2}{\pi \cdot 20^2 \cdot 180} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \left[ \frac{1^{\frac{2}{3}}}{0,5} - \frac{1}{(0,5 + 2 \cdot 0,3)^{\frac{2}{3}}} \right] = 24,7 \text{ (мкм)}. \end{aligned}$$

Тоді сумарна похибка закріплення:

$$\varepsilon_3 = \sqrt{(\varepsilon_3^I)^2 + (\varepsilon_3^II)^2} + \varepsilon_{3к} = \sqrt{6^2 + 24,2^2} + 24,7 = 49,65 \text{ (мкм)}.$$

**Задача 4.16.** Заготовки зі сталі 45  $\varnothing 50^{+0,2}$  мм, оброблені точінням ( $R_Z = 30$  мкм,  $\Delta R_Z = 20$  мкм, безрозмірний параметр опорної кривої  $\nu = 1,9$ ,  $W_1 = 8$  мкм,  $\Delta W_3 = 6$  мкм), установлюють у призмі з кутом  $\alpha = 90^\circ$  для фрезерування шпоночного паза. Нормальне розподілене навантаження на опори  $q = 2000$  Н/см,  $\Delta q = 600$  Н/см. Визначити похибку закріплення при експлуатації призми до спрацювання  $i = 0,15$  мм. Налагоджування інструмента на розмір проводиться за установом.

**Задача 4.17.** Заготовки з чавуну ( $E = 140$  ГПа,  $\mu = 0,25$ ,  $R_{max} = 200 \dots 300$  мкм) встановлюють на сферичні опори ( $E_0 = 210$  ГПа,  $\mu_0 = 0,3$ ,  $r = 20$  мм). Сила, що діє на одну опору  $Q = 2400 \text{ Н} \pm 250 \text{ Н}$ . Допустиме спрацювання опори  $[i] = 0,2$  мм. Визначити похибку закріплення при найбільшому спрацюванні опор пристосування. Налагоджування інструмента на розмір проводиться за установом.

**Задача 4.18.** Заготовки з чавуну ( $E = 140$  ГПа,  $\mu = 0,25$ ,  $\sigma_r = 200$  МПа), базова поверхня яких оброблена фрезеруванням ( $R_{max} = 40$  мкм,  $\Delta R_{max} = 20$  мкм; параметри якості плоских баз заготовок  $\nu = 2$ ,  $b = 2$ ,  $c' = 5$ ;  $W = 10$  мкм;  $R_g = 4 \cdot 10^5$  мкм;  $\Delta R_g = 10^4$  мкм), установлюються на опорні планки ( $A = 1000$  мм<sup>2</sup>,  $E_0 = 210$  ГПа,  $\mu_0 = 0,3$ ) і закріплюються. Визначити похибку закріплення, якщо сила, що діє на одну опору,  $Q = 5000$  Н (коливання сили  $\Delta Q = 1500$  Н).

**Задача 4.19.** Визначити похибку  $\varepsilon_i$ , викликану спрацюванням опор після обробки 15000 заготовок. Необхідні дані про заготовку, пристрій та умови обробки наведені в табл. 4.1.

**Задача 4.20.** Визначити міжремонтний період роботи пристосування, якщо похибка базування  $\varepsilon_s = 0,08$  мм, похибки

закріплення  $\varepsilon_{30}$  і  $\varepsilon_{3к}$  рівні 0, похибки  $\varepsilon_{вус}$  і  $\varepsilon_{із}$  компенсуються налагоджуванням верстата. Необхідні дані про заготовку, пристрій та умови обробки наведені в табл. 4.1.

**Розв'язання** (для варіанта № 1).

Визначаємо допустиме значення  $[\varepsilon_i]$  за рівнянням (4.6):

$$[\varepsilon_i] = TH - \omega - \sqrt{\varepsilon_\sigma^2 + \varepsilon_{30}^2} - \varepsilon_{3к} = 0,2 - 0,1 - \sqrt{0,08^2 + 0^2} - 0 = 20 \text{ (мкм)}.$$

Допустиму кількість установлюваних заготовок  $[N]$  до граничного спрацювання установних елементів пристосування знаходимо за рівнянням (4.4):

$$[N] = \frac{[\varepsilon_i] \left( m - m_1 \cdot \Pi_1 - m_2 \cdot \frac{0,1 \cdot Q}{F \cdot HV} \right)}{K_y \cdot (1 + 0,003 \cdot L) \cdot 0,79 \cdot t_m}.$$

За [5, с. 534, табл. 15] знаходимо  $m = 1818$ ,  $m_1 = 1014$ ,  $m_2 = 1309$ , критерій стійкості проти спрацювання  $\Pi_1 = 1,03$  [5, с. 535, табл. 18], поправочний коефіцієнт, який враховує умови обробки  $K_y = 0,94$  [5, с. 537, табл. 20]. Тоді

$$[N] = \frac{20 \left( 1818 - 1014 \cdot 1,03 - 1309 \cdot \frac{0,1 \cdot 10000}{36,1 \cdot 650} \right)}{0,94 \cdot (1 + 0,003 \cdot 20) \cdot 0,79 \cdot 1,95} = 9353 \text{ (шт.)}.$$

Міжремонтний період, який визначає необхідність заміни або відновлення установних елементів пристосування, знаходимо за рівнянням 4.5:

$$\Pi_k = \frac{12 \cdot K_1 \cdot [N]}{N_r} = \frac{12 \cdot 0,85 \cdot 9353}{40000} = 2,4 \text{ (місяці)}.$$

**Задача 4.21.** Визначити міжремонтний період роботи пристрою, якщо  $\varepsilon_s = 0,05$  мм,  $\varepsilon_{30} = 0,01$  мм,  $\varepsilon_{3к} = 0,005$  мм.

Похибки через неточність виготовлення та складання установлювальних елементів і установлення пристрою на верстаті не компенсуються регулюванням верстата і відповідно мають величину  $\epsilon_{\text{вус}} = 0,01 \text{ мм}$ ,  $\epsilon_{\text{вф}} = 0,012 \text{ мм}$ .

Розрахунок виконати при  $N_r = 3000 \text{ шт.}$ , інші дані взяти з табл. 4.1.

4.1. Вихідні дані до задач 4.19–4.21

Варианти	Заготовка					
	Матеріал	$HRC_e$ (HB)	Форма базової поверхні	$N_p$ , шт.	$TH$ , мм	
1	Сталь незагартован	160 HB	Циліндр	40000	0,20	
2		200 HB		100000	0,30	
3	Чавун			55000	0,28	
4				70000	0,18	
5	Сталь загартована	50 $HRC_e$	Площина	85000	0,16	
6	Чавун			20000	0,25	
7	Сталь незагартован	HB 220		5000	0,20	
8	Чавун			25000	0,19	
Варианти	Пристрої					
	Тип опори	Матеріал	Твердість опори HV	$F$ , мм	$Q$ , Н	$L$ , мм
1	Призма	Сталь 20	650	36,10	1000 0	20
2		Сталь 40X	730	28,50	8000	40
3	Пластина опорна	Сталь 20	500	640,00	9000	50
4	Штир із плоскою голівкою	Сталь 45	700	28,3	2000	20
5		Сплав ВК8	800	28,3	2400 0	32
6	Штир із сферичною голівкою	Сталь У10А	600	2,90	6000	25
7		Сталь 20	520	3,36	1200 0	30
8	Штир із рифленою голівкою	Сталь 40X	570	10,0	9800	45

Закінчення таблиці 4.1

Варианти	Умови обробки		
	Метод обробки	$\omega$ , мм	$t_m$ , хв
1	Фрезерування з охолодженням	0,10	1,95
2	Свердління без охолодження	0,12	2,00
3	Фрезерування без охолодження	0,12	3,20
4	Шліфування без охолодження	0,06	4,70
5	Шліфування з охолодженням	0,06	2,10
6	Фрезерування без охолодження	0,12	1,30
7	Фрезерування з охолодженням	0,10	0,80
8	Гостріння без охолодження	0,08	1,20

Примітка. Для заготовок із чавуну твердість матеріалу в розрахунках не враховується.

#### 4.2. Вибір раціональних схем базування

**Задача 4.22.** Вивести розрахункові залежності для похибок базування  $\epsilon_s$  при виконанні розмірів  $A$  і  $B$  стосовно кожної схеми встановлення (рис. 4.14). Визначити, яка з поданих схем забезпечить найбільшу точність виконання обох розмірів.

**Задача 4.23.** Для свердлування отворів вали можуть мати різноманітні схеми встановлення (рис. 4.15). Вивести залежності для визначення відхилення від співвісності  $e$  оброблюваного отвору та вала при різноманітних схемах встановлення. Визначити, яка з наведених схем базування забезпечує найменшу похибку обробки, якщо відомо, що діаметр вала  $d = 50_{-0,062} \text{ мм}$  і кут призми  $\alpha = 90^\circ$ .

**Задача 4.24.** На циліндричних втулках із зовнішнім діаметром  $d = 80_{-0,2} \text{ мм}$  і внутрішнім  $D = 40^{+0,05} \text{ мм}$  необхідно фрезерувати шпоночний паз шириною  $B = 18^{+0,1} \text{ мм}$ , витримуючи розміри  $H = 70_{-0,2} \text{ мм}$  і  $h = 90^{+0,3} \text{ мм}$  (рис. 4.16). Величина зсуву вісі шпоночного паза щодо вісі втулки не повинна перевищувати 0,1 мм. Вибрати зі схем встановлення ту, для якої розрахункова похибка базування для виконуваних

розмірів  $B$ ,  $H$ ,  $h$  і відхилення від співвісності є мінімальними і забезпечують досягнення заданої точності обробки.

Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ , величина мінімального зазору при встановленні заготовки на палець або у втулку  $S_{\min} = 0,01$  мм. Допуск на виготовлення установного пальця і центральної втулки дорівнює  $0,02$  мм. Точність методу обробки  $\omega = 0,06$  мм. Похибки закріплення та положення заготовки прийняти рівними нулю.

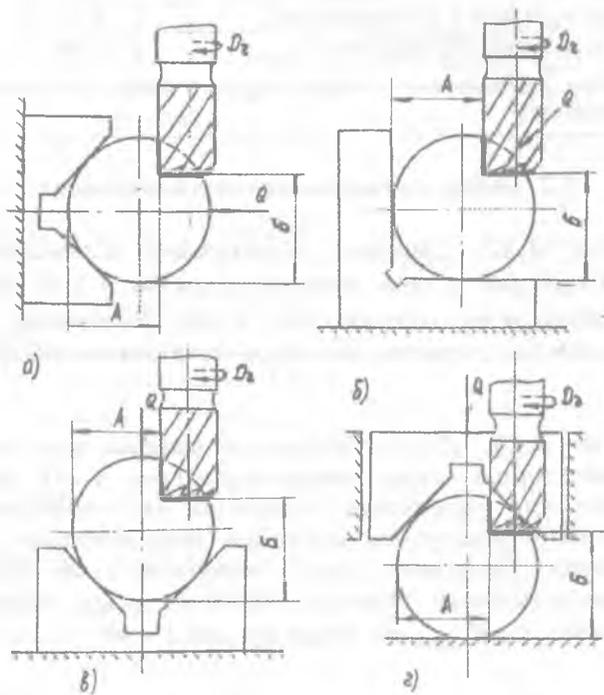


Рис. 4.14. Схеми встановлення заготовки при фрезеруванні (до задачі 4.22)

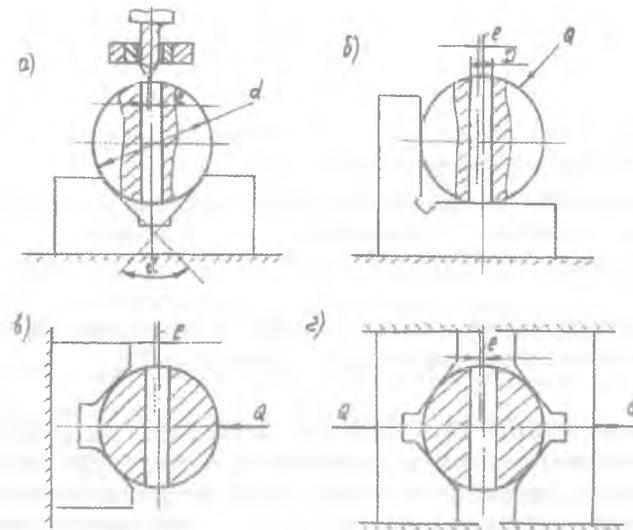


Рис. 4.15. Схеми встановлення заготовки при свердлуванні (до задачі 4.23)

**Задача 4.25.** Вирішити попередню задачу щодо розміру  $H_1$ .

**Задача 4.26.** На торцевій поверхні диска через кондукторну втулку свердлять отвір, положення вісі якого щодо вісі зовнішньої поверхні диска визначається розмірами  $A_1$  і  $A_2$ . Виконання операції свердлування можливе при різних схемах установлення заготовки (рис. 4.17). Вивести розрахункові залежності для визначення похибки базування для розмірів  $A_1$  і  $A_2$  диска при різних схемах установлення і визначити, яка з наведених схем базування забезпечує найбільшу точність. Діаметр заготовки  $d = 75_{-0,074}^{+0,029}$  мм, кут призми  $\alpha = 90^\circ$ , діаметр центральної втулки  $D = 75_{-0,010}^{+0,029}$  мм.

**Задача 4.27.** Для фрезерування поверхонь 1 і 2 можливі дві схеми встановлення заготовки (рис. 4.18). В якості технологічних баз використовують зовнішню циліндричну

поверхню  $d$ , площину (торцеву поверхню) та отвір  $D$  заготовки.

Потрібно:

1) вивести розрахункові залежності для визначення похибок базування для розмірів  $A_1$ ,  $A_2$  і  $A_3$ ;

2) визначити, на точність виконання яких розмірів буде впливати похибка закріплення в наведених схемах встановлення.

Розміри заготовки  $d$  і  $D$  виконані з допусками  $Td$  і  $TD$ , отвір центрувальної втулки  $D_1$  – з допуском  $TD_1$ .

**Задача 4.28.** При обробці поверхонь заготовки на горизонтально-фрезерному верстаті набором фрез можливі два варіанти встановлення (рис. 4.19). Потрібно визначити, яка схема встановлення забезпечує виконання заданої точності розмірів:  $50^{+0,3}$  мм,  $75_{-0,2}$  мм і  $40 \pm 0,1$  мм. Зовнішня циліндрична поверхня заготовки  $d = 60_{-0,2}$  мм, діаметр отвору  $D = 30^{+0,021}$  мм. Розміри установних пальців  $d = 30^{+0,007}_{-0,020}$  мм. Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ . Середня точність методу обробки  $\omega = 0,05$  мм. Похибками закріплення та положення заготовки в пристрої знехтувати, тобто прийняти  $\varepsilon_3 = \varepsilon_{\text{пр}} = 0$ .

**Задача 4.29.** Можливі два варіанти встановлення корпусу для одночасної обробки поверхонь 1 і 2 на повздовжньо-фрезерному верстаті (рис. 4.20). Вивести розрахункові залежності похибки базування при виконанні розмірів  $A_1$ ,  $A_2$  і  $A_3$  для обох схем встановлення і визначити, яка з них забезпечує найменшу різницю розмірів  $A_1$  і  $A_2$ .

**Задача 4.30.** На рис. 4.21 наведені можливі схеми встановлення шатуна в пристрої для свердлування 4-х отворів через кондукторні втулки. Кондукторна плита має жорсткий зв'язок із корпусом пристрою. Потрібно, з врахуванням точності виготовлення на базових поверхнях заготовок розмірів  $d = 70_{-0,3}$  мм,  $D = 30^{+0,033}$  мм,  $L_0 = 200 \pm 0,05$  мм,

визначити похибки базування при виконанні розмірів  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$  і можливе відхилення від співвісності оброблених отворів щодо площини симетрії базових поверхонь  $e_1$  і  $e_2$ . Вибрати, яка з наведених схем базування забезпечує найбільшу точність виконання зазначених розмірів. Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ , розмір установних пальців –  $\varnothing 30^{+0,007}_{-0,016}$  мм.

**Задача 4.31.** На горизонтально-фрезерному верстаті в голівках шатуна набором фрез обробляються пази шириною  $B_1$  і  $B_2$  (рис. 4.22). Через неточності виконання розмірів базових поверхонь  $d_1$ ,  $d_2$  і міжосьової відстані  $L_0$  виникає неспіввісність пазів щодо вісі голівок шатуна  $e_1$  і  $e_2$ . Вивести розрахункові залежності  $\varepsilon_{\delta e_1}$  і  $\varepsilon_{\delta e_2}$  для різноманітних схем встановлення і вибрати варіант базування шатуна з найменшою похибкою.

**Задача 4.32.** Для обробки паза кінцевою фрезею на вертикально-фрезерному верстаті можливі різноманітні схеми встановлення (рис. 4.23). Визначити похибку базування для розмірів  $A_1$ ,  $A_2$  і  $B$ , а також похибку базування, що зумовлює відхилення від співвісності вісі штопочного паза щодо вісі отворів  $D_1$  і  $D_2$  за такими даними: діаметр зовнішньої циліндричної поверхні заготовки  $d = 80_{-0,2}$  мм; діаметри внутрішніх циліндричних поверхонь  $D_1 = 40^{+0,05}$  мм і  $D_2 = 30^{+0,033}$  мм; діаметри установних пальців  $d_1 = 40$  мм,  $d_2 = 30^{+0,007}_{-0,016}$  мм; міжосьова відстань  $L_0 = 100^{+0,1}$  мм. Розміри  $A_2 = 34$  мм,  $A_4 = 5^{+0,1}$  мм і  $c = 20 \pm 0,05$  мм; кут призми  $\alpha = 90^\circ$ . Вибрати схему, що забезпечує мінімальні похибки базування для всіх виконуваних розмірів.

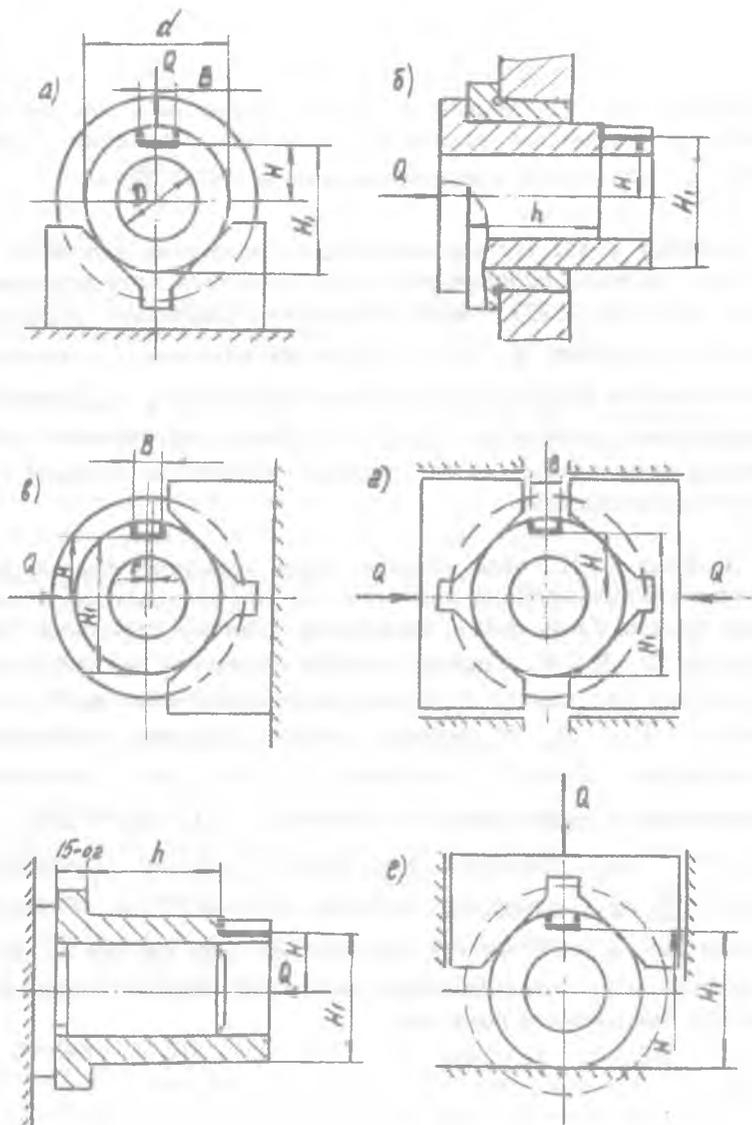


Рис. 4.16. Схеми встановлення заготовки при обробці шпоночного паза (до задач 4.24 і 4.25)

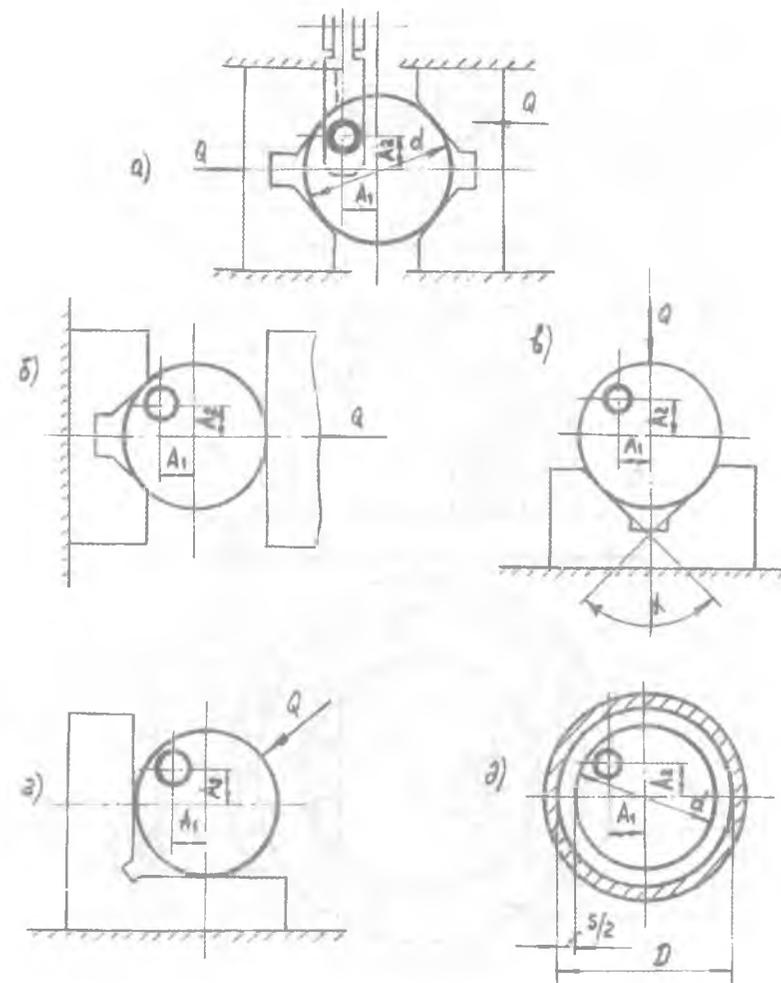


Рис. 4.17. Схеми встановлення диска (до задачі 4.26)

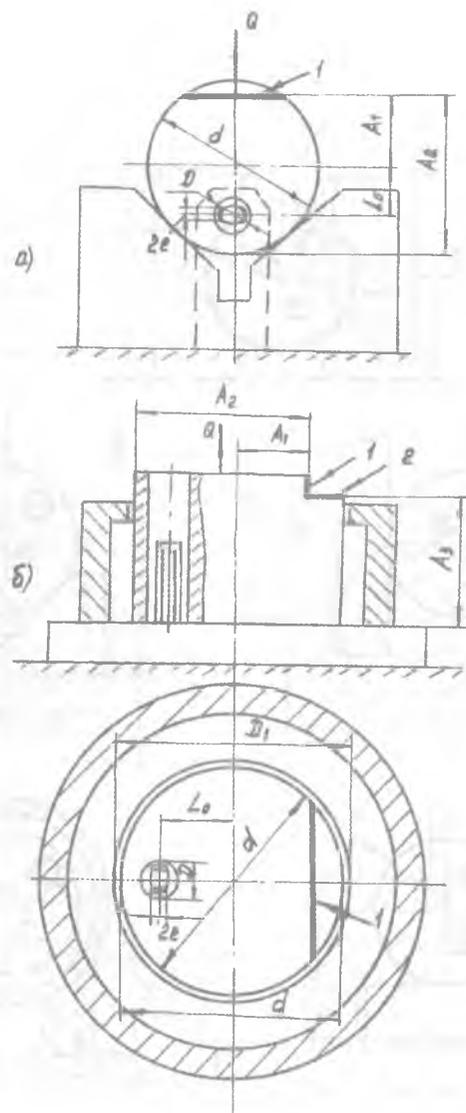


Рис. 4.18. Схеми встановлення заготовки при обробці (до задач 4.27, 4.45 і 4.46)

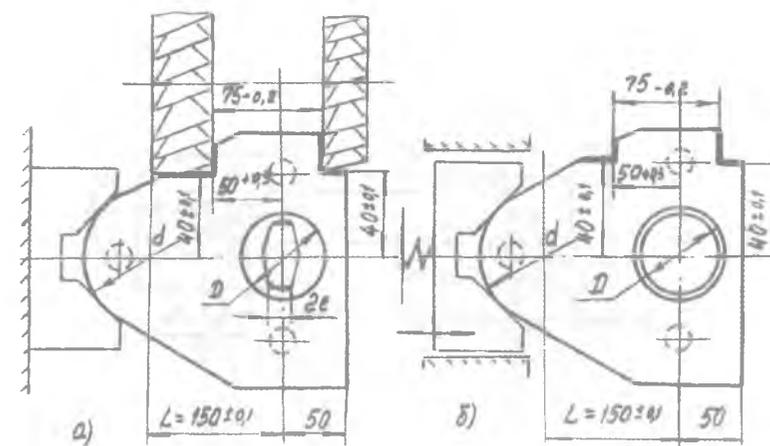


Рис. 4.19. Схеми встановлення заготовки при фрезеруванні (до задач 4.28 і 4.42)

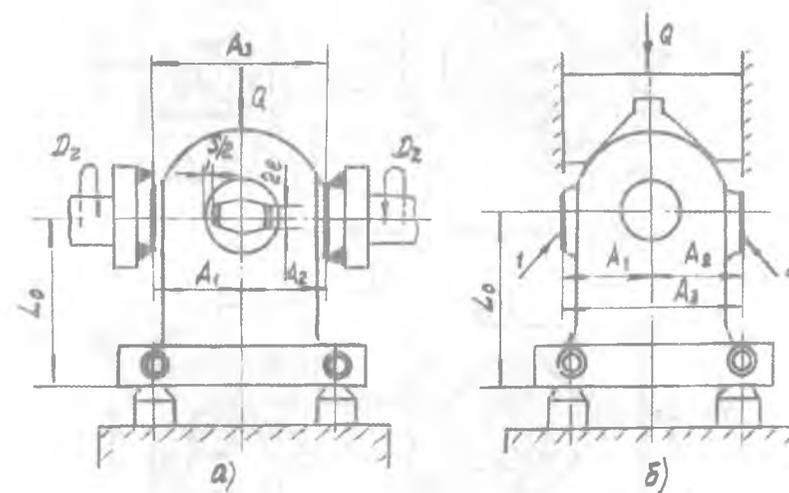


Рис. 4.20. Схеми обробки поверхонь корпусу (до задач 4.29 і 4.37)

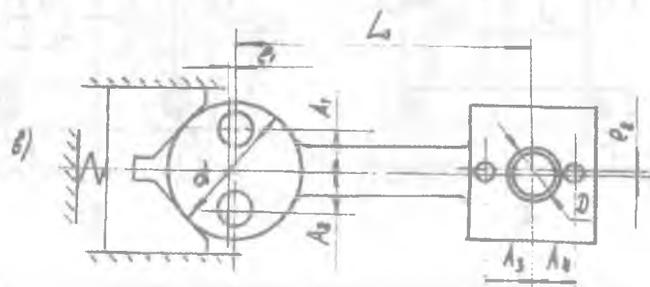
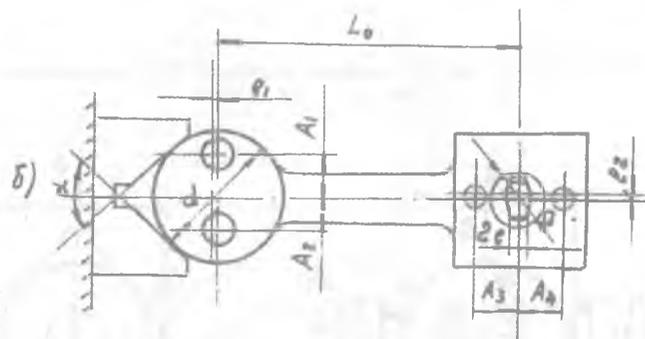
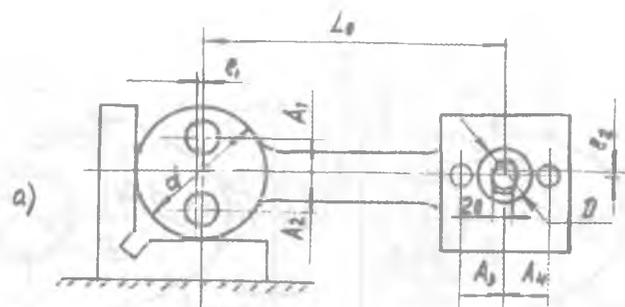


Рис. 4.21. Схеми встановлення шатуна при свердлуванні отворів (до задач 4.30, 4.39 і 4.41)

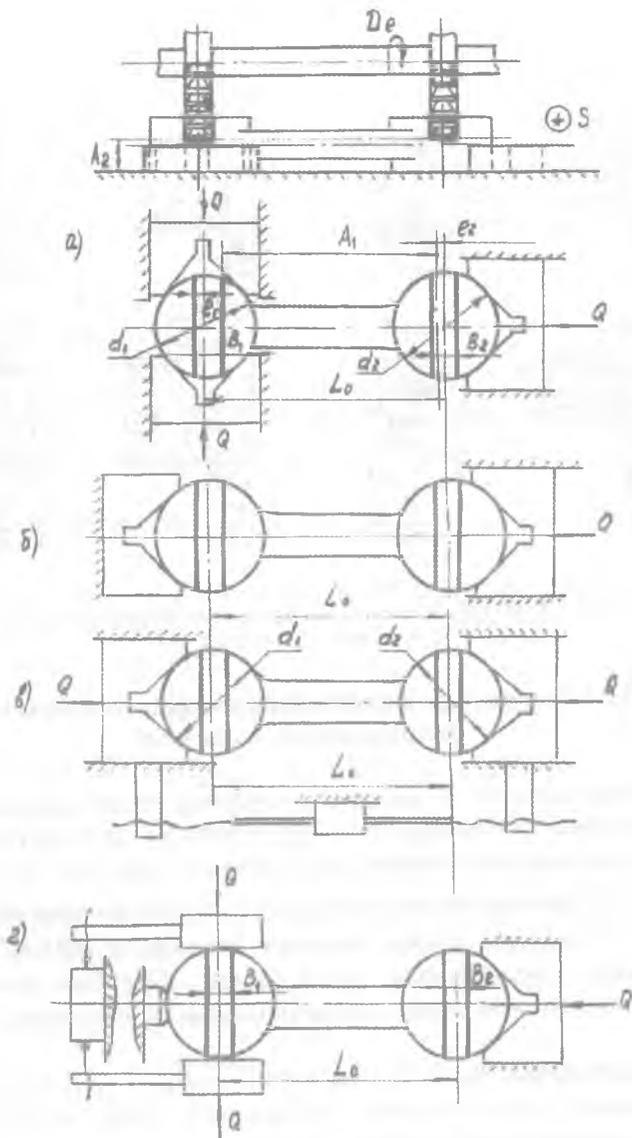


Рис. 4.22. Схеми обробки пазів у голівках шатуна (до задачі 4.31)

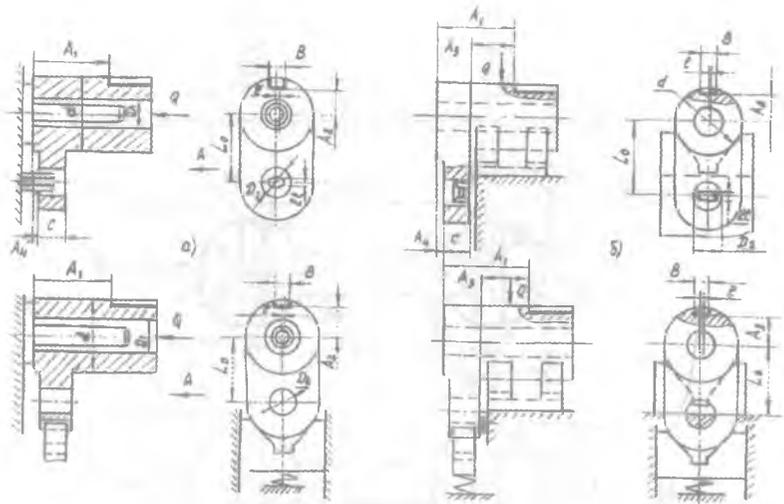


Рис. 4.23. Схеми встановлення заготовки при обробці шпоночного паза (до задач 4.32, 4.43 і 4.44)

### 4.3. Розрахунок виконуваних розмірів установних і напрямляючих елементів

**Задача 4.33.** У втулці, розміщеній торцевою поверхнею на пластині та отвором на циліндричному пальці (рис. 4.5) при фрезеруванні уступу виконують розмір  $A_1 = 80 \pm 0,1$  мм. Потрібно визначити виконавчий розмір установного пальця  $d$ , якщо відомо, що розмір базового отвору  $D = 60H8^{(+0,046)}$  мм, точність фрезерування  $\omega = 0,120$  мм. Похибки положення заготовки компенсуються налагоджуванням верстата.

**Розв'язання.** Аналіз схеми встановлення втулки показує, що виконавчий розмір (діаметр) установного пальця визначається з умови забезпечення заданої точності виконання розміру  $A_1$ :

$$TA_1 = \varepsilon_{yA1} + \omega.$$

З огляду на те, що похибка закріплення в цьому випадку дорівнює нулю, а похибки положення заготовки компенсуються налагоджуванням верстата, маємо:

$$TA_1 = \varepsilon_{\delta A1} + \omega,$$

де  $\varepsilon_{\delta A1}$  – похибка базування розміру  $A_1$ , визначена за рівнянням:

$$\varepsilon_{\delta A1} = \lambda_2(TD + Td) + S_{min},$$

де  $\lambda_2 = 0,517$  – коефіцієнт, який враховує закон розподілу розмірів у межах допуску [4].

Таким чином,  $TA_1 = \lambda_2(TD + Td) + S_{min} + \omega$ , звідки:

$$S_{min} + \lambda_2 Td = TA_1 - \lambda_2 TD - \omega = 0,20 - 0,517 \cdot 0,046 - 0,120 = 0,056 \text{ (мм)}.$$

З таблиць СТ РЕВ 144-75 підбираємо поле допуску вала (пальця) так, щоб виконувалася умова  $S_{min} + Td \geq ei$  (рис. 4.24):

Відхилення	g5	f6	g6	f7	e7
es, мкм	-10	-30	-10	-30	-60
ei, мкм	-23	-49	-29	-60	-90

Очевидно, що зазначену умову задовольняють поля допусків валів g5, f6 і g6, а з можливих необхідно вибрати найменш точний, тому що його виготовлення найдешевше. Тобто, розмір установного пальця  $d = 60f6^{(-0,030 / -0,049)}$ .

Виконаємо перевірочний розрахунок очікуваної точності виконання розміру  $A_1$ :

$$TA_1 = \lambda_2 \cdot (TD + Td) + S_{min} + \omega = 0,517 \cdot (0,046 + 0,019) + 0,030 + 0,120 = 0,184 \text{ (мм)}.$$

При заданому допуску  $TA_1 = 0,2$  мм на розмір  $A_1$  прийняте поле допуску установного пальця  $d = 60f6$  забезпечує деякий, а саме,  $0,016$  мм, запас точності.

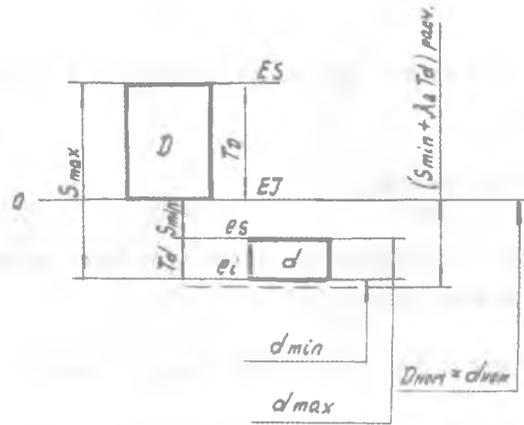


Рис. 4.24. Схема розташування полів допусків отвору заготовки та установного пальця (до задачі 4.33)

**Задача 4.34.** Базовий отвір заготовки виконаний в системі вала з відхиленнями поля допуску розміру  $D = 60F9^{(+0,104)}_{(+0,030)}$  мм. Схема встановлення й умови обробки заготовки – як у попередній задачі (рис. 4.5). Потрібно визначити виконавчий розмір циліндричного установного пальця, що забезпечує виконання заданої точності розміру  $A_1$  ( $TA_1 = 0,25$  мм). Точність методу обробки прийняти  $\omega = 0,12$  мм.

**Задача 4.35.** Визначити виконавчий розмір центрувальної втулки при встановленні заготовки площиною та зовнішньою циліндричною поверхнею (рис. 4.6) при обробці паза і виконанні розміру  $A_2 = 50 \pm 0,095$  мм. Зовнішня циліндрична поверхня оброблена в розмір  $d = 100h8^{(-0,054)}$  мм. Сумарна похибка положення заготовки  $\varepsilon_{пр} = 0,04$  мм. Точність фрезерування  $\omega = 0,06$  мм.

**Зауваження:** умовою для вибору виконавчих розмірів центрувальної втулки  $S_{min} + \lambda_2 TD \geq ES$ .

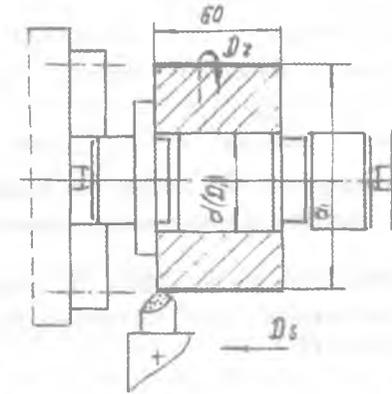


Рис. 4.25. Схема встановлення та обробки втулки

**Задача 4.36.** Втулки зі сталі 45 установлюють із натягом на циліндричну оправку (рис. 4.25), обробляють по зовнішній поверхні в розмір  $d_1 = 100_{-0,14}$  мм. Діаметр базового отвору втулки виконаний у розмір  $D = 50^{+0,016}$  мм із шорсткістю поверхні  $R_z = 6,3$  мкм. Робоча поверхня оправки зі сталі 20X (55...60 HRC<sub>e</sub>) після шліфування має шорсткість  $R_{z1} = 3,2$  мкм. Сила різання при тоцінці (з режимами  $t = 2,0$  мм;  $S = 0,2$  мм/об;  $V = 42$  м/хв.) становить  $P_z = 1080$  Н. Коефіцієнт тертя між заготовкою та оправкою  $f = 0,08$ . Коефіцієнт запасу міцності прийняти  $k = 2,5$ . Довжина базового отвору (довжина контакту заготовки з оправкою)  $l = 50$  мм.

Потрібно визначити виконавчий розмір оправки  $d$ , який забезпечує запресовану заготовку від прокручування під дією сили різання  $P_z$ .

**Зауваження:** при розв'язуванні використовувати залежності, наведені в п. 1.4 для визначення зусилля запресовування.

**Задача 4.37.** Для обробки поверхонь 1 і 2 та виконання розмірів  $A$  і  $A_2$  (рис. 4.20, а) корпус базують площиною й

отвором на зрізаний палець. Розмір  $L_0$  від осі отвору заготовки до базової площини виконаний з допуском  $TL_0 = 0,1$  мм, у пристосуванні розмір  $L_{II}$  від осі зрізаного пальця до робочої поверхні опор виконаний з допуском  $TL_{II} = 0,05$  мм. Розмір базового отвору  $D = 30^{+0,033}$  мм;

діаметр зрізаного пальця  $d = 30_{-0,030}^{-0,020}$  мм. Потрібно визначити ширину стрічки  $2e$  зрізаного пальця, при якій забезпечується можливість вільного встановлення заготовок.

**Розв'язання.** Збільшене до величини  $2C$  значення зазору, яка забезпечує встановлення партії заготовок, визначається за залежністю [10, с. 45 - 47]:

$$2C = TL_0 + TL_{II} - S_{1min},$$

де  $TL_0$  – допуск на розмір між базовими поверхнями заготовки;

$TL_{II}$  – допуск на розмір між установними елементами (від осі зрізаного пальця до робочої поверхні пластини);

$S_{1min}$  – мінімальний зазор між циліндричними пальцями та отвором заготовки.

Для наведеної схеми встановлення (рис. 4.20, а)  $S_{1min} = 0$ , тоді

$$2C = TL_0 + TL_{II} = 0,1 + 0,05 = 0,15 \text{ (мм)}.$$

Ширина стрічки циліндричної поверхні зрізаного пальця визначається за залежністю [10]:

$$2e = \frac{D_2 \cdot S_{2min}}{2C} - C,$$

де  $D_2$  – номінальний діаметр отвору, яким заготовка вставляється на зрізаний палець;

$S_{2min}$  – мінімальний зазор у з'єднанні базового отвору з ромбічним пальцем.

У даному випадку ширина стрічки зрізаного пальця, при якій гарантується можливість вільного встановлення всієї партії заготовок, для наведеної схеми базування буде дорівнювати:

$$2e = \frac{30 \cdot 0,020}{0,15} - 0,075 = 4,0 \text{ (мм)},$$

тобто, ширина стрічки зрізаного пальця має бути не більшою 4,0 мм.

При від'ємному розмірі  $2C$  зрізаний палець непотрібний (у цьому випадку застосовується циліндричний палець).

**Задача 4.38.** Заготовку встановлюють площиною на пластини та двома отворами ( $D_1 = D_2 = 40$  мм) на циліндричний і зрізаний палець (рис. 4.9). Мінімальний зазор у з'єднанні отворів із установними пальцями  $S_{1min} = S_{2min} = 0,009$  мм. Розмір між осями базових отворів  $L_0$  виконаний з допуском  $TL_0 = 0,1$  мм; між осями установних елементів з допуском  $TL_{II} = 0,05$  мм. Визначити ширину стрічки зрізаного пальця, що забезпечує вільне встановлення заготовок.

**Задача 4.39.** Для свердлування чотирьох отворів шатуни розміщують площиною (торцями голівок) у пристосуванні, зовнішньою циліндричною поверхнею  $d = 70_{-0,3}$  мм у призмі й отвором  $D = 35^{+0,039}$  мм на зрізаному пальці (рис. 4.21, б)  $\varnothing 35_{-0,041}^{-0,025}$  мм. Взаємне положення вісі базових поверхонь заготовки – у межах допуску  $TL_0 = 0,1$  мм; положення установних елементів – із допуском  $TL_{II} = 0,05$  мм. Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ . Визначити ширину стрічки зрізаного пальця, при якій будуть забезпечені вільне встановлення заготовок і дотик зовнішньої циліндричної поверхні заготовки до робочих поверхонь призми.

**Зауваження:** збільшене значення зазору  $2C$ , який забезпечує встановлення партії заготовок відповідно до даної схеми, визначати за залежністю  $2C = \frac{TL_0 + TL_{II} + Td}{2 \sin \alpha / 2}$ .

**Задача 4.40.** Важіль для протягування в ньому шпоночного паза встановлюють на циліндричний і зрізаний пальці (рис. 4.12). Базові отвори заготовок мають розміри  $D_1 = 50^{+0,025}$  мм і  $D_2 = 35^{+0,025}$  мм, циліндричний палець –  $d_1 = 50^{+0,009}_{-0,020}$  мм, зрізаний палець –  $d_2 = 35^{+0,025}_{-0,041}$  мм. Допуск на розмір між осями базових отворів  $TL_0 = 0,1$  мм, між осями установних пальців  $TL_{II} = 0,05$  мм. Визначити допустиму ширину стрічки на циліндричній поверхні зрізаного пальця.

**Задача 4.41.** Свердлування отворів через кондукторські втулки роблять при встановленні шатуна площиною, зовнішньою циліндричною поверхнею й отвором, як показано на рис. 4.21, а. Зовнішня поверхня голівки шатуна виконується з допуском  $Td = 0,5$  мм. Отвір виготовлений з розміром  $D = 55^{+0,046}$  мм. Діаметр зрізаного пальця  $\varnothing 55^{+0,030}_{-0,049}$  мм. Точність взаємного положення осей базових поверхонь  $TL_0 = 0,1$  мм і встановлювальних елементів (призми та зрізаного пальця)  $TL_{II} = 0,04$  мм. Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ . Визначити ширину стрічки зрізаного пальця, що забезпечує вільне встановлення заготовки і дотик зовнішньої циліндричної поверхні до голівки шатуна з призмою.

**Задача 4.42.** Для одночасної обробки поверхонь набором фрез заготовку встановлюють площиною, зовнішньою циліндричною поверхнею й отвором, як показано на рис. 4.19, а. Зовнішня циліндрична поверхня оброблена в розмір  $\varnothing 60_{0,1}$  мм, отвір –  $\varnothing 60^{+0,035}$  мм. Розмір між осями базових поверхонь  $L_0 = 150$  мм, виконаний з допуском  $TL_0 = 0,2$  мм, розмір між установлювальними елементами – з допуском  $TL_{II} = 0,04$  мм. Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ . Потрібно визначити ширину стрічки зрізаного пальця, що забезпечує вільне встановлення заготовки.

**Задача 4.43.** Для обробки шпоночного паза заготовку встановлюють отвором і торцем на довгий циліндричний палець із буртом, а другим отвором на зрізаний палець (рис. 4.23, а). Базові отвори виконані в розмір  $D_1 = D_2 = 20^{+0,052}$  мм, установні пальці –  $d_1 = d_2 = 20^{+0,020}_{+0,030}$  мм. Точність розмірів між осями базових поверхонь заготовки  $TL_0 = 0,1$  мм, між осями установних пальців  $TL_{II} = 0,04$  мм. Визначити ширину стрічки зрізаного пальця, що забезпечує вільне встановлення заготовки.

**Задача 4.44.** Визначити ширину стрічки циліндричної поверхні зрізаного пальця, що забезпечує вільне встановлення заготовки за схемою базування, показаною на рис. 4. 23, б.

Зовнішня циліндрична поверхня виконана в розмір  $d = 80_{-0,19}$  мм. Отвір  $D_2 = 40^{+0,062}$  мм, зрізаний палець  $d_2 = 40^{+0,025}_{-0,064}$  мм. Розмір між осями базових поверхонь заготовки виконаний із точністю  $TL_0 = 0,1$  мм, між осями призми та зрізаного пальця –  $TL_{II} = 0,04$  мм. Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ .

**Задача 4.45.** Визначити необхідну ширину стрічки зрізаного пальця при встановленні заготовки пристосування за схемою базування, показаною на рис. 4. 18, а. Зовнішня циліндрична поверхня оброблена в розмір  $d = 80_{-0,30}$  мм, отвір – у розмір  $D = 20^{+0,021}$  мм, зрізаний палець – в розмір  $d_1 = 20^{+0,020}_{-0,041}$  мм. Розмір між осями базових поверхонь виконаний із допуском  $TL_0 = 0,15$  мм, між осями призми та зрізаного пальця –  $TL_{II} = 0,04$  мм. Кут призми  $\alpha = 90^\circ$ .

**Задача 4.46.** Для обробки поверхонь 1 і 2 циліндричну заготовку встановлюють зовнішньою поверхнею  $d = 100_{-0,022}$  мм у центрувальну втулку і торцевою площиною на пластину. При цьому кутове положення заготовки щодо її вісі визначається встановленням отвором  $D = 30^{+0,021}$  мм на зрізаний палець (рис. 4. 18, б). Потрібно визначити ширину стрічки зрізаного пальця  $\varnothing 30^{+0,020}_{-0,033}$  мм, якщо відомо, що розмір

між осями базових поверхонь заготовки виконаний із допуском  $TL_0 = 0,1$  мм, а розмір між осями центрувальної втулки і зрізаного пальця – із допуском  $TL_{II} = 0,05$  мм. Діаметр центрувальної втулки  $D_1 = 100^{+0,027}_{+0,012}$  мм.

**Задача 4.47.** Визначити виконавчий розмір діаметра отвору кондукторної втулки під свердло точного виконання (ГОСТ 885 - 77) із номінальним діаметром 8 мм.

**Розв'язання.** По табл. 37 [23, с. 563] виконавчий розмір діаметра свердла  $8_{-0,022}$  мм, а найбільший граничний розмір – 8 мм.

Виконавчий розмір діаметра отвору кондукторної втулки отримаємо, якщо приймемо поле допуску G7 для найбільшого граничного розміру свердла, –  $\varnothing 8G7 = \varnothing 8^{+0,020}_{+0,005} = 8,005^{+0,015}$  (мм). (Для зенкерів та розверток відхилення рекомендованого поля допуску також розраховується від найбільшого граничного розміру інструмента).

**Задача 4.48.** Визначити виконавчий розмір діаметра кондукторної втулки під зенкер №1 (ГОСТ 1677 - 75) із номінальним діаметром 16 мм.

**Задача 4.49.** Визначити виконавчий розмір діаметра отвору кондукторної втулки під розвертку для обробки отвору діаметром 12H9.

**Задача 4.50.** Визначити виконавчий розмір діаметра отвору кондукторної втулки під чистову розвертку для обробки отвору  $\varnothing 18G7$ .

## РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА МАРШРУТНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 5.1. Розробка технологічних процесів обробки елементарних поверхонь

Розробка маршрутного технологічного процесу обробки деталі починають із визначення маршрутів обробки її елементарних поверхонь (плоских, циліндричних, зовнішніх, внутрішніх, різевих тощо). Попередній вибір методів обробки цих поверхонь і кількості необхідних переходів (операцій) роблять на підставі даних довідкових таблиць економічної точності обробки або за узагальненими таблицями типових маршрутів (див. дод. 7), виходячи з вимог, які висуваються до кінцевої точності та якості поверхонь, виду вихідної заготовки, властивостей матеріалу і типу виробництва. Для кожного типу поверхонь визначають ту, для якої задані найбільш жорсткі вимоги щодо точності та якості і встановлюють один або декілька методів її остаточної обробки, тобто останній технологічний перехід (або операцію). Знаючи вид і точність вихідної заготовки, також вибирають перший, початковий метод обробки.

Визначивши перший і останній переходи, визначають необхідність проміжних переходів, кількість яких тим більша, чим нижчою є точність вихідної заготовки і вищі кінцеві вимоги стосовно поверхні. Кількість варіантів обробки поверхні може бути досить значною (додаток 7), їх зменшення можливе з урахуванням деяких чинників. До них можна віднести, наприклад, доцільність: обробки даної поверхні на одному верстаті за декілька послідовних переходів, обробки разом з іншими поверхнями заготовки за одну установку, обмеження можливості застосування деяких методів через недостатню жорсткість деталі тощо.

Визначення кількості та послідовності технологічних переходів при обробці елементарних поверхонь є основою для розрахунку загальних і проміжних припусків, операційних розмірів на обробку, виявлення необхідних стадій обробки,

формування маршруту обробки деталі в цілому, розробка окремих операцій.

**Задача 5.1.** Розробити маршрут обробки отвору  $\varnothing 100 H7$  ( $R_a = 1,25$ ) у корпусній деталі із сірого чавуну для умов дрібносерійного виробництва. Заготовка – відливка II класу точності по ГОСТ 26645 – 85.

**Розв'язання.** У додатку 7 наведено п'ять типових маршрутів для обробки отворів із заданими параметрами точності та шорсткості в заготовках із чавуну. Вибір найбільш раціонального з них для заданих умов робимо, виходячи з наступного:

а) найбільш прийнятним із рекомендованих для отримання заданих параметрів є тонке розточування, тому що застосування розверток не є характерним для дрібносерійного виробництва;

б) свердлування отвору не потрібно, бо він відлитий у вихідній заготовці, тому першим чорновим переходом доцільно вибрати попереднє розточування;

в) після попереднього розточування не можна виконувати тонке розточування, тому що для усунення всіх похибок попередньої обробки різець працював би з неприпустимо великою глибиною різання; одже тонкому розточуванню повинне передувати напівчистове і чистове розточування;

г) виконання всіх переходів на одному верстаті дозволяє забезпечити принцип концентрації операцій і послідовної обробки отвору з однієї установки.

Таким чином, для заданих умов маршрут обробки отвору містить чотири переходи:

- попереднє розточування за 14-м квалітетом точності;
- напівчистове розточування за 11-м квалітетом точності;
- чистове розточування за 9-м квалітетом точності;
- тонке розточування за 7-м квалітетом точності.

**Задача 5.2.** Розробити технологічні маршрути обробки поверхонь відповідно до умов, поданих у табл. 5.1.

Варіанти завдань до задачі 5.2

Варіанти	№ кресл. (додаток 8)	Виробництво	Оброблювана поверхня	Заготовка – тип, квалітет
1	ТМ1	Масове	Шийка $\varnothing 48h7$	Штамповка 14
2	ТМ2	Великосерійне	Отвір $\varnothing 50^{+0,03}$	Штамповка 16
3	ТМ3	Серійне	Отвір $\varnothing 20H8$	Штамповка 16
4	ТМ4	Масове	Шийка $\varnothing 60f7$	Штамповка 14
5	ТМ5	Серійне	Отвір $\varnothing 190^{+0,045}$	Штамповка 16
6	ТМ6	Малосерійне	Отвір $\varnothing 24H7$	Відливка 16
7	ТМ7	Крупносерійне	Отвір $\varnothing 10K6$	Штамповка 15
8	ТМ8	Малосерійне	Отвір $\varnothing 30H7$	Прокат 16
9	ТМ9	Серійне	Отвір $\varnothing 110H7$	Відливка 16
10	ТМ10	Масове	Шийка $\varnothing 70H8$	Штамповка 14

## 5.2. Розрахунок припусків

Припуск – прошарок матеріалу, що знімається з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні деталі. Припуск на обробку поверхонь деталі може бути визначений за довідковими таблицями або на підставі розрахунково-аналітичного методу. Розрахунковим розміром припуску є мінімальний припуск на обробку, достатній для усунення на виконуваному переході похибок обробки, дефектів поверхневого прошарку, отриманих на попередньому переході, і компенсації похибок, які виникають на виконуваному переході.

Мінімальний припуск при обробці зовнішніх і внутрішніх поверхонь (двосторонній припуск):

$$2Z_{i \min} = 2 \left[ (R_Z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right]; \quad (5.1)$$

при обробці поверхонь обертання в центрах:

$$2Z_{i \min} = 2(R_{Zi-1} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1}); \quad (5.2)$$

при послідовній обробці протилежних поверхонь (односторонній припуск):

$$Z_{i \min} = (R_Z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i, \quad (5.3)$$

при одночасній обробці протилежних поверхонь (двосторонній припуск):

$$2Z_{i \min} = 2[(R_Z + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i], \quad (5.4)$$

де  $R_{Z_{i-1}}$  – висота нерівностей профілю за десятьма точками на попередньому переході;

$h_{i-1}$  – глибина дефектного поверхневого прошарку на попередньому переході (безвуглецевий або вибілений прошарок);

$\Delta_{\Sigma i-1}$  – сумарні відхилення розташування поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, співвісності) на попередньому переході;

$\varepsilon_y$  – похибка встановлення заготовки на виконуваному переході.

Відхилення розташування  $\Delta_{\Sigma}$  необхідно враховувати в заготовках (під перший технологічний перехід); після чорнової та напівчистої обробки різальним інструментом (під наступний технологічний перехід); після термічної обробки. У зв'язку із закономірним зменшенням розміру  $\Delta_{\Sigma}$  при обробці поверхні за декілька переходів, на стадіях чистої та винчувальної обробки цією похибкою нехтують.

На підставі розрахунку проміжних припусків визначають граничні розміри заготовки за всіма технологічними переходами. Проміжні розрахункові розміри встановлюють у порядку, протилежному ходу технологічного процесу обробки цієї поверхні, тобто від розміру готової деталі до розміру заготовки, шляхом послідовного додавання (для зовнішніх поверхонь) до вихідного розміру готової деталі проміжних припусків або шляхом послідовного вирахування (для внутрішніх поверхонь) від вихідного розміру готової деталі проміжних припусків. Найменші (найбільші) граничні розміри на всіх технологічних переходах визначають, округлюючи їх шляхом збільшення

(зменшення) розрахункових розмірів. Округлення роблять до того знака десяткового дробу, який має допуск на розмір для кожного переходу. Найбільші (найменші) граничні розміри визначають шляхом додавання (вирахування) допуску до округленого найменшого (найбільшого) граничного розміру.

Граничні значення припусків  $Z_{max}$  визначають як різницю найбільших (найменших) граничних розмірів і  $Z_{min}$  – як різницю найменших (найбільших) граничних розмірів попереднього і виконуваного (виконуваного і попереднього) переходів.

Загальні припуски  $Z_{0max}$  і  $Z_{0min}$  визначають як суму проміжних припусків на обробку:

$$Z_{0max} = \sum Z_{imax}, \quad (5.5)$$

$$Z_{0min} = \sum Z_{imin}. \quad (5.6)$$

Правильність розрахунків визначають за рівняннями:

$$Z_{imax} - Z_{imin} = T_{i-1} - T_i; \quad (5.7)$$

$$2Z_{imax} - 2Z_{imin} = T_{Di-1} - T_{Di}; \quad (5.8)$$

$$Z_{0max} - Z_{0min} = T_{заг} - T_{дет}; \quad (5.9)$$

$$2Z_{0max} - 2Z_{0min} = T_{Dзаг} - T_{Dдет}; \quad (5.10)$$

де  $T_{i-1}$ ,  $T_{Di-1}$  – допуски розмірів на попередньому переході;

$T_i$ ,  $T_{Di}$  – допуски розмірів на виконуваному переході;

$T_{заг}$ ,  $T_{Dзаг}$  – допуски на заготовку;

$T_{дет}$ ,  $T_{Dдет}$  – допуски на деталь.

**Задача 5.3.** Треступінчастий вал виготовляється зі сталі 45 (заготовка – штамповка, клас точності 5T за ГОСТ 7505 89) (рис. 5.1). Маса заготовки 2 кг. Токарній операції передувала операція фрезерно-центрувальна – були

профрезеровані торці і зацентровані отвори. Базування заготовки при фрезерно-центрувальній операції здійснювалося по поверхнях  $D_1$  і  $D_3$  ( $D_1 = D_3 = 25$  мм). Шийка з найбільшим діаметром  $D_2$  ступеня має розмір  $\varnothing 55h_{(-0,02)}$ . Розрахувати аналітичним методом проміжні припуски для обробки шийки  $D_2$ . Розрахувати проміжні розміри для виконання кожного переходу.

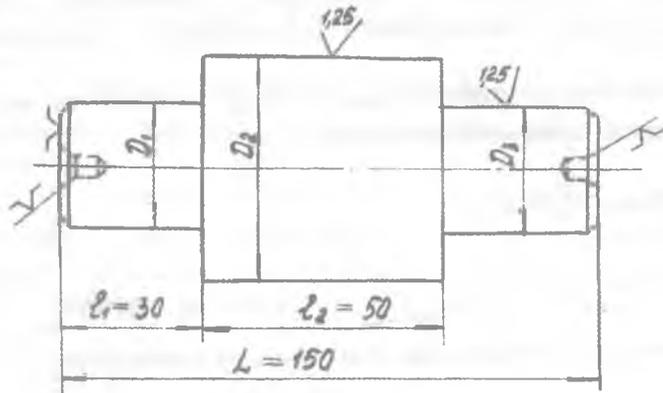


Рис. 5.1. Ескіз вала (до задачі 5.3)

**Розв'язання.** Відповідно до заданих умов визначаємо маршрут обробки шийки  $D_2$  [18, с.8 - 9, табл. 4]:

- 1) чорнове обточування,
- 2) чистове обточування,
- 3) попереднє шліфування,
- 4) остаточне шліфування.

Вся обробка виконується при встановленні в центрах.

Заносимо маршрут обробки в графу 1, табл. 5.2. Дані для заповнення граф 2, 3 для штампованої заготовки беремо з [18, с.186, табл. 12], для механічної обробки – із [19, с.188, табл. 25]. Дані графі 8 для заготовки взяті з [19, с.245, табл. 47], для механічної обробки – із [18, с.8, табл. 4].

Розрахунок похибок розташування поверхонь:

Відхилення штампованої заготовки при обробці в центрах визначаємо за формулою [18, с. 187, табл. 18]:

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

де  $\Delta_{\Sigma k}$  – загальне відхилення вісі від прямолінійності.

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

Тут  $l_k$  – віддаль від перетину, для якого визначається кривизна, до найближчого зовнішнього торця –  $l_k = l_1 + l_2$ . Для аналізованого випадку  $l_1 + l_2 = 80$  мм;

$\Delta_k$  – питома кривизна в мкм на 1 мм довжини (у маршруті передбачена правка заготовки на пресі, після якої  $\Delta_k = 0,15$  мкм/мм [21, с. 186, табл. 16]; середній діаметр, який необхідно знати для вибору величини  $\Delta_k$ , визначається як:

$$D_{\text{ср}} = \frac{D_1 l_1 + D_2 l_2 + \dots + D_n l_n}{L} = \frac{25 \cdot 30 + 55 \cdot 50 + 25 \cdot 70}{150} = 35 \text{ (мм)},$$

де  $\Delta_y$  – зміщення осі заготовки через похибки центрування.

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

де  $T$  – допуск на діаметральний розмір бази заготовки, використаної при центруванні [9, с.245, табл. 47] ( $T = 1,8$  мм).

**Чорнове обточування.** Розмір залишкових просторових відхилень визначають за рівнянням:

$$\Delta_r = K_y \cdot \Delta_{\Sigma} = 0,066 \cdot 500 = 30 \text{ (мкм)},$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення [21, с.190, табл. 29] ( $K_y = 0,066$ ).

**Чистове обточування** Величина залишкових просторових відхилень:

$$\Delta_r = K_y \cdot \Delta_\Sigma = 0,04 \cdot 30 = 1,2 \text{ (мкм)},$$

тут  $K_y$  – коефіцієнт уточнення [21, с.190, табл. 29] ( $K_y = 0,04$ ).

Розрахункові розміри відхилень розташування поверхонь заносимо у графу 4 (табл. 5.2).

Розрахунок мінімальних припусків на діаметральні розміри для кожного переходу проводиться згідно (5.2):

а) чорнове обточування –  $2Z_{i\min} = 2(160 + 200 + 500) = 1720 \text{ (мкм)}$ ;

б) чистове обточування –  $2Z_{i\min} = 2(50 + 50 + 30) = 260 \text{ (мкм)}$ ;

в) попереднє шліфування –  $2Z_{i\min} = 2(25 + 25 + 1,2) = 102 \text{ (мкм)}$ ;

г) чистове шліфування –  $2Z_{i\min} = 2(10 + 20) = 60 \text{ (мкм)}$ .

Розрахункові значення припусків заносимо у графу 6 (табл. 5.2).

Розрахунок найменших розмірів по технологічних переходах починаємо з найменшого (найбільшого) розміру деталі згідно робочого креслення і робимо за залежністю  $d_{i+1} = d_i + Z_{i\min}$  у такій послідовності:

попереднє шліфування  $54,980 + 0,060 = 55,040 \text{ (мм)}$ ;

чистове обточування  $54,040 + 0,102 = 55,142 \text{ (мм)}$ ;

чорнове обточування  $55,142 + 0,260 = 55,402 \text{ (мм)}$ ;

заготовка  $55,402 + 1,720 = 57,122 \text{ (мм)}$ .

Найменші розрахункові розміри заносимо в графу 7 (табл. 5.2). Найменші граничні розміри (округлені) заносимо в графу 10 (табл. 5.2).

Розрахунок найбільших граничних розмірів по переходах робимо за залежністю  $d_{i\max} = d_{i\min} + Td_i$  у такій послідовності:

остаточне шліфування  $54,980 + 0,020 = 55 \text{ (мм)}$ ;

попереднє шліфування  $55,040 + 0,60 = 55,100 \text{ (мм)}$ ;

чистове обточування  $55,15 + 0,120 = 55,270 \text{ (мм)}$ ;

чорнове обточування  $55,40 + 0,400 = 55,800 \text{ (мм)}$ ;

заготовка  $57,0 + 2,0 = 59 \text{ (мм)}$ .

Результати розрахунків заносимо в графу 9 (табл. 5.2).

Розрахунок фактичних мінімальних і максимальних припусків по переходах робимо в такій послідовності:

Максимальні припуски:	Мінімальні припуски:
$55,100 - 55,0 = 0,100 \text{ (мм)}$ ;	$55,040 - 54,980 = 0,06 \text{ (мм)}$ ;
$55,270 - 55,100 = 0,170 \text{ (мм)}$ ;	$55,150 - 55,15 = 0,11 \text{ (мм)}$ ;
$55,80 - 55,270 = 0,530 \text{ (мм)}$ ;	$55,40 - 55,15 = 0,25 \text{ (мм)}$ ;
$59,0 - 55,80 = 3,2 \text{ (мм)}$ .	$57,00 - 55,40 = 1,6 \text{ (мм)}$ .

Результати розрахунків заносимо в графу 11 і 12 (табл. 5.2).

Розрахунок загальних припусків робимо за відомими залежностями.

Загальний найбільший припуск:

$$Z_{0\max} = \sum Z_{\max} = 0,1 + 0,17 + 0,53 + 3,2 = 4 \text{ (мм)},$$

Загальний найменший припуск:

$$Z_{0 \min} = \sum Z_{\min} = 0,06 + 0,11 + 0,25 + 1,6 = 2,02 \text{ (мм)}.$$

Перевірку розрахунків проводимо за рівнянням (5.9):

$$Z_{0 \max} - Z_{0 \min} = T_a - T_d = 4 - 2,02 = 2,0 - 0,02 = 1,98 \text{ (мм)}.$$

**Задача 5.4.** Чотириступінчастий вал виготовляється зі штампованої заготовки класу точності 5Т за ГОСТ 7505 - 89, отриманої на молотах. Умови виконання операцій та маршрут обробки елементарних поверхонь для варіантів 1 - 12 такі ж, як у задачі 5.3 (табл. 5.2, графа 1). Для варіантів (13-24) маршрут обробки поверхні той же, що і для варіантів (1-12), але перед попереднім шліфуванням передбачається термообробка заготовки в печах. Розрахувати припуски і проміжні розміри по переходах. Дані до задачі наведені в табл. 5.3.

**Задача 5.5.** Чотириступінчастий вал виготовляється зі сталеві штампованої заготовки класу точності 5Т за ГОСТ 7505 89, виконаної на молотах (табл. 5.3). Шийка діаметром  $D_3$  має параметр шорсткості  $R_a = 2,5$  мкм. Маршрут обробки — див. задачу 5.3. Визначити припуски на заготовку за таблицями ГОСТ 7505-89 і розрахунково-аналітичним методом. Розрахувати економію матеріалу за рахунок застосування розрахунково-аналітичного методу визначення припусків при річній програмі випуску 20 тис. штук.

**Задача 5.6.** Диск із центральним отвором виготовляють з вуглецевої сталі. Заготовка — поковка класу точності Т4 за ГОСТ 7505-89, виготовлена на ГKM. Обробка поверхонь отвору може здійснюватися за два або одне встановлення. При двох установленнях послідовність обробки така:

- чорнове розточування отвору з базуванням по зовнішній необробленій поверхні  $D_1$  у патроні 1;
- чорнове обточування зовнішньої поверхні  $D_1$  з базуванням по обробленому отвору  $D_2$  на оправці;
- остаточна обробка отвору з базуванням по поверхні  $D_1$ .

У другому випадку остаточна обробка отвору проводиться з базуванням по необробленій зовнішній поверхні  $D_1$  у патроні. Потрібно розрахувати припуск на поверхню  $D_2$  і визначити, який із варіантів обробки найбільш ефективний (з точки зору економії металу). Дані до задачі наведені в табл. 5.4.

**Задача 5.7.** Чавунну втулку виготовляють відцентровим виливанням на машинах із вертикальною віссю обертання. Відливка 10-го класу точності за ГОСТ 26645 - 85. Чорнову та напівчистову обробку поверхні  $D_2$  роблять на токарному верстаті при встановленні у трикулачковому патроні. Чистова обробка здійснюється шліфуванням. Як зміниться розмір припуску під час шліфування при наявності або відсутності перед цією операцією загартування СВЧ? Дані до задачі наведені в табл. 5.5.

Таблиця 5.2  
Результати розрахунку припусків на обробку і граничні розміри по технологічних переходах (до задачі 5.3)

Маршрут обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий		Допуск на проміжні розміри, мкм	Прийняті (округлені) розміри заготовки по переходах, мм		Граничний припуск, мкм	
	$R_Z$	$h$	$\Delta_{\Sigma}$	$\epsilon_{\Sigma}$	припуск $Z_i$ , мкм	мінімальний розмір, мм		найбільший	найменший	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$
Штамповка	160	200	500	—	—	57,122	2000	59,0	57,0	—	—
Точіння:											
чорнове	50	50	30	0	1720	55,402	400	55,80	55,40	3,20	1,60
чистове	25	25	1,2	0	260	55,142	120	55,27	55,15	0,53	0,25

Закінчення таблиці 5.2

Маршрут обробки	Елементи припуску, <i>мм</i>				Розрахун- ковий		Допуск на проміжні розміри, <i>мм</i>	Прийняті (округлені) розміри заготовки по переходах, <i>мм</i>		Граничний припуск, <i>мм</i>	
	$R_Z$	$h$	$\Delta_\Sigma$	$\varepsilon_y$	припуск $Z_1$ , <i>мм</i>	мінімальний розмір, <i>мм</i>		найбільший	найменший	$Z_{max}$	$Z_{min}$
Шліфування: попереднє остаточне	10 —	20 —	0 —	0 —	102 60	55,040 54,980	60 20	55,10 55,00	55,04 54,98	0,17 0,10	0,11 0,06

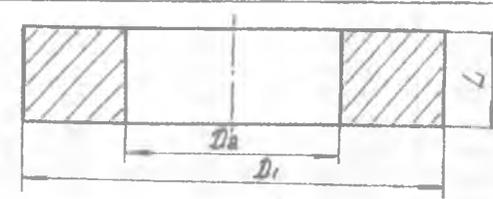
Таблиця 5.3

Дані до задач 5.4 і 5.5

Варіанти	Діаметри шийок заготовки, <i>мм</i>			$L$	Довжина ступенів заготовки, <i>мм</i>			Маса заготовки $G$ , <i>кг</i>
	$D_1$ , $D_4$	$D_2$	$D_3$		$l_1$	$l_2$	$l_3$	
1,13	30	50	40n 6	220	45	55	85	2,0
2,14	45	65	55g 6	260	55	65	95	4,7
3,15	20	40	30h 6	180	40	50	60	1,0
4,16	50	75	60f 7	350	70	120	80	8,2
5,17	25	45	35k 6	200	40	50	70	1,5
6,18	60	80	70m 6	300	80	120	50	9,1
7,19	40	60	50d 8	280	50	70	90	4,1
8,20	70	90	80u 7	350	75	125	90	13,8
9,21	35	55	45j 6	240	50	60	90	2,9
10,22	55	75	65s 6	300	65	85	85	7,5
11,23	50	60	50f 7	260	40	65	60	3,8
12,24	20	35	30h 6	200	50	60	60	1,6

Дані до задачі 5.6

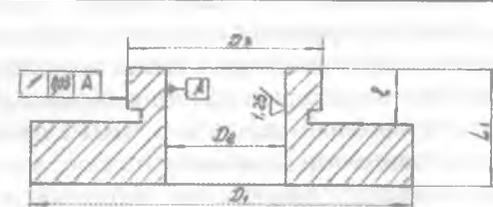
Таблиця 5.4



Варіанти	Розміри диска, <i>мм</i>			Шорсткість поверхні $D_2$ ( $R_a$ , <i>мм</i> )	Маса заготовки $G$ , <i>кг</i>
	$D_1$	$D_2$	$L$		
1	180	80H8	32	2,50	5,10
2	150	60H8	20	1,25	2,10
3	220	100H8	25	2,5	5,80
4	100	40H7	15	1,25	0,77
5	350	150H8	25	2,50	6,10
6	190	100H8	20	2,50	3,10
7	280	200H7	25	1,25	5,70
8	220	200H8	30	2,50	1,50
9	260	180H7	35	1,25	7,40
10	190	140H8	25	2,50	2,40
11	290	170H7	20	1,25	6,60
12	220	140H8	40	2,50	3,70

Таблиця 5.5

Дані до задачі 5.7



Варіанти	Розміри втулки, <i>мм</i>				
	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$L_1$	$l$
1	115	40H7	70	30	15
2	110	30H8	60	60	40
3	200	70H7	90	110	60
4	120	80H8	100	40	20

Закінчення таблиці 5.5

Варіанти	Розміри втулки, мм				
	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$L_1$	$l$
5	120	50H7	80	70	40
6	160	60H8	120	40	20
7	200	90H7	140	60	40
8	180	100H8	130	80	55
9	190	110H7	140	50	35
10	180	95H8	120	45	25
11	120	50H7	80	70	40
12	150	80H8	110	60	35

### 5.3. Розробка технологічних маршрутів обробки типових деталей

При проектуванні маршруту обробки заготовки необхідно вирішити наступні завдання:

1. Аналіз креслення деталі та якісна оцінка її технологічності.
2. Вибір вихідної заготовки (див. розділ 3).
3. Вибір технологічних баз і схем установлювання заготовки (при цьому керуються основними принципами базування).
4. Визначення методів і маршрутів оброблення окремих поверхонь (див. п. 5.1.) і груп поверхонь, оброблювання яких доцільно робити з одного установлення з однаковими вимогами щодо точності і якості.
5. Вибір устаткування. З урахуванням заданого типу виробництва, габаритних розмірів заготовки й обраних методів обробки визначають відповідні типи і моделі верстатів [19]. Для одиничного виробництва використовують універсальні верстати, для серійного – універсальні верстати з ЧПК і напівавтомати, для масового – напівавтомати й автомати.
6. Розробка маршруту оброблення заготовки в цілому, з необхідними термічними, контрольними, слюсарними та іншими допоміжними операціями. При визначенні раціональної послідовності операцій враховують необхідність отримання при перших операціях технологічних баз, поділ операцій на чорнові, чистові та викінчувальні, завершення технологічного процесу оброблення найбільш відповідальних поверхонь деталі. Розроблений варіант маршруту рекомендується оформити у

вигляді маршрутної карти, заповненої відповідно до ГОСТ 1118 - 82 (форми 1 і 1а).

Методика проектування маршрутних технологічних процесів викладена в навчальній та довідковій літературі [18, 21].

**Задача 5.8.** Розробити для варіанта 1 (табл. 5.6) маршрут обробки ступінчастого вала-шестерні (рис. 6.1).

**Розв'язання.** Аналіз креслення показує, що найбільш високі вимоги щодо точності та якості висуваються стосовно опорних шийок, прилеглих до них торців і зубчастої поверхні вала-шестерні. Конструкція деталі в основному відпрацьована на технологічність, має достатню жорсткість, забезпечує вільний доступ інструмента до обробці поверхонь, що дозволяє використовувати при обробленні багатоінструментальні налагодження і високопродуктивні режими різання. Опорні шийки вала-шестерні оброблюють на шліфувальних верстатах (із нахилом шліфувального круга), які забезпечують високу точність розташування торців до поверхонь опорних шийок і зниження трудомісткості операцій за рахунок одночасної обробки цих поверхонь. Задані кресленням точність розмірів поверхонь, їхнього відносного розташування та параметри якості поверхневих прошарків можуть бути достатньо економічно забезпечені традиційними методами обробки.

Водночас, передбачена кресленням форма шпоночного паза нетехнологічна, тому що потребує обробки неефективним методом – багатопрхідним фрезеруванням кінцевою фрезою. Очевидно, що, без погіршення міцності вала, форму цього паза доцільно було б замінити або на сегментну, або на напіввідкриту і застосувати більш продуктивні дискові фрези. Недостатньо технологічною роблять конструкцію також різноманітні радіуси перехідних поверхонь від опорних шийок до торців зокрема ( $R 2^{+1}$  і  $R 1,6 \max$ ).

З огляду на конфігурацію, розміри деталі та великосерійний характер виробництва за вихідну заготовку вибираємо штамповку класу точності 4Т за ГОСТ 7505 - 89. Вибір технологічних баз робимо, виходячи з основних принципів базування. При обробці валів, як правило, за базу

використовують вісь вала та один із торців. На першій операції ці бази оброблюються при установленні вихідної заготовки у самоцентрувальні призми (подвійна напрямляюча база) з упором по торцю  $\varnothing 60$  мм (опорна база). Загальна вісь двох центрових отворів, оброблених на цій операції, є постійною базою для виконання більшості наступних операцій. Опорні бази в напрямку лінійних розмірів вибираємо з урахуванням характеру їх проставляння на кресленні та можливості суміщення технологічних і вимірвальних баз. Так, на операції фрезерування шпоночного паза за опорну базу доцільно використовувати торець  $\varnothing 48$  мм.

Вихідні дані до задач 5.8 і 5.9

Таблиця 5.6

Варіанти	Найменування деталі	№ креслення (додаток 8)	Тип виробництва
1	Вал-шестерня	ТМ1	Великосерійне
2			Малосерійне
3	Фланець кулачка	ТМ2	Масове
4			Серійне
5	Сережка	ТМ3	Малосерійне
6			Великосерійне
7	Хрестовина	ТМ4	Масове
8			Серійне
9	Шестерня	ТМ5	Масове
10			Серійне
11	Корпус	ТМ6	Малосерійне
12			Масове
13	Шестерня конічна	ТМ7	Масове
14			Серійне
15	Фланець	ТМ8	Малосерійне
16			Великосерійне
17	Корпус	ТМ9	Серійне
18			Масове
19	Кришка	ТМ10	Малосерійне
20			Крупносерійне

Обсяг обробки кожної з поверхонь визначаємо за [19], виходячи з висунутих щодо неї вимог стосовно точності і якості. Так, загальний план оброблення зовнішніх поверхонь обертання заготовки може бути таким: чорнове обточування всіх

поверхонь, чистове обточування та одноразове шліфування після термооброблення шийок  $\varnothing 48h7$  і  $\varnothing 40f7$  і прилеглих до них торців.

Захист поверхні під різь М36 від цементациї та наступного загартування до 60...64 HRC можливий за двома варіантами:

1) обміднити її прошарком міді 0,02...0,04 мм. У цьому випадку цементация і загартування проводяться одночасно і звичайно виконуються після чистової обробки;

2) залишити на ній збільшений захисний припуск (перевершуючий глибину цементациї), який знімають після цементациї перед загартуванням.

Для умов великосерійного виробництва перший варіант більш доцільний, тому що виключає повторне повернення заготовки в механічний цех для зняття проміжного припуску і повторне нагрівання заготовки для загартування. Вимоги щодо зубчастих поверхонь деталі (7-а ступінь точності і шорсткість  $R_a = 1,25$ ) можуть бути виконані зубофрезеруванням і шевінгуванням, проте, з огляду на втрату точності і погіршення шорсткості після термічного оброблення, доцільним є проведення операції зубохонінгування.

Тип виробництва і конфігурація деталі визначають вибір устаткування, яке повинне забезпечити високопродуктивне оброблення та задану точність шляхом налагодження. Найкраще при заданих умовах цим вимогам задовольняють фрезерно-центрувальні, гідрокопіювальні, шпоночно-фрезерні, зубофрезерні, зубошевінгувальні і торцекруглошліфувальні напівавтомати.

Як контрольні у технологічний процес внесено операції попереднього перед термічним обробленням і остаточного контролю наприкінці технологічного процесу. Після операції зубофрезерування, пов'язаної з використанням змащувально-охолоджувальних рідин, передбачена операція лиття.

Розроблений маршрут обробки вала-шестерні подано в табл. 6.2.

**Задача 5.9.** Спроекувати маршрутний технологічний процес обробки за варіантами 2–20 (додаток 8).

#### 5.4. Розмірно-точнісний аналіз технологічних процесів

Метою розмірно-точнісного аналізу є: виявлення схеми взаємозв'язків між розмірами заготовки, готової деталі, технологічних операційних розмірів і припусків на оброблення; виявлення та розрахунок технологічних розмірних ланцюгів; оцінка точності прийнятого варіанта технологічного процесу виготовлення деталі.

Розмірний аналіз процесу механічного оброблювання зображено на рис. 5.2. Викреслюють суміщений ескіз вихідної заготовки і готової деталі (рис. 5.3), на якому зображують також проміжні стани заготовки. Всі поверхні заготовки і деталі нумерують по черзі, зліва направо, і через них проводять вертикальні лінії. Між цими лініями вказують розміри вихідної заготовки  $B$ , готової деталі  $A$ , припуску  $Z_n$  (індекс  $n$  означає номер поверхні), а також технологічні розміри  $S$ , отримувані після виконання кожного технологічного переходу. Розміри  $S$  подають у вигляді спрямованих стрілок, при цьому точка ставиться на лінії, що відповідає поверхні, використовуваний як технологічна або налагоджувальна база. На рис. 5.2 наведено розмірний аналіз технологічного процесу виготовлення східчастого вала із штампованої заготовки за три операції. На першій операції – “фрезерно-центрувальній” – виконуються розміри  $S_1$  і  $S_2$ . На другій “токарна – 1” – виконується розмір  $S_3$ . На операції “токарна – 2” – виконуються розміри  $S_4$  і  $S_5$ . Виявлення розмірних ланцюгів починають з останньої операції, тобто, рухаючись по розмірній схемі знизу вгору. Для спрощення процесу виявлення розмірних ланцюгів рекомендується побудувати граф розмірних зв'язків (рис. 5.4). Спочатку будують граф технологічних розмірів, де кружечками з цифрами всередині позначають обробку поверхні (у вигляді подвійного кружечка позначається поверхня заготовки, з якої починається оброблювання). Даний граф доповнюють графом розмірів заготовки (розміри її відмічають при цьому подвійними лініями) і отримують спільний граф, на якому у вигляді дуг зображують розміри готової деталі, а у вигляді орієнтованих ломаних ліній – припуски на оброблювання (стрілка на таких лініях показує, до якої поверхні відносяться припуск), рис. 5.3.

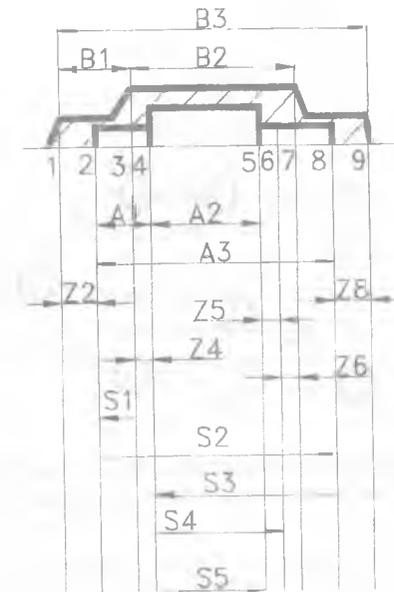


Рис. 5.2 Розмірна схема технологічного процесу виготовлення східчастого вала

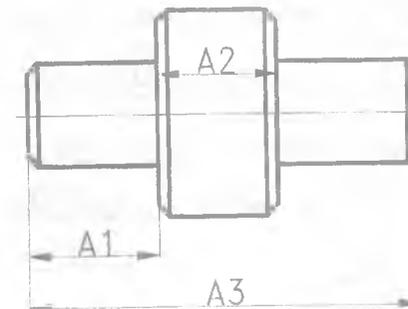


Рис. 5.3. Ескіз деталі

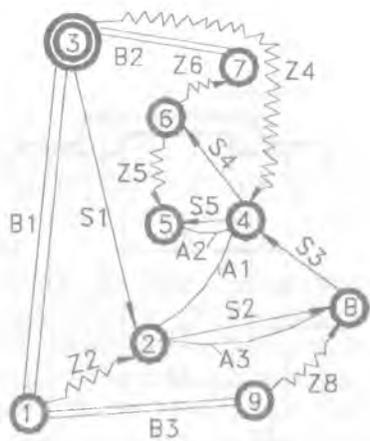


Рис. 5.4. Граф розмірних зв'язків технологічного процесу виготовлення ступінчастого вала (рис. 5.2)

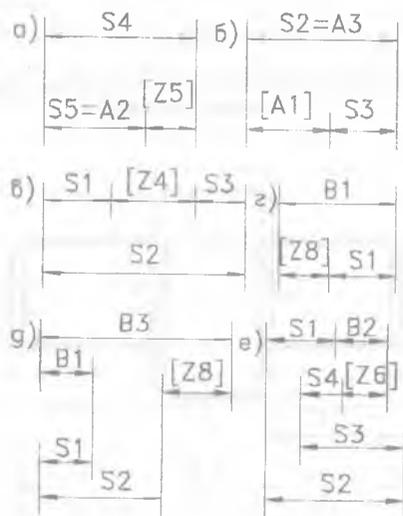


Рис. 5.5. Розмірні ланцюги, виявлені за допомогою графа розмірних зв'язків:

а, б, в – для визначення технологічних розмірів  $S_4$ ,  $S_3$  і  $S_1$  відповідно;  
 г, д, е – для визначення розмірів заготовки  $B_1$ ,  $B_3$  і  $B_2$  відповідно

Важливо побудувати об'єднаний граф так, щоб його ребра (лінії) не перетиналися. Будь-який замкнутий контур об'єданого графа утворить розмірний ланцюг. Замикальною ланкою такого ланцюга є або розмір деталі, або припуск на оброблювання (рис. 5.5). Розмірні ланцюги рекомендується будувати так, щоб припуски не входили в них як складові ланок. Будь-який технологічний розмірний ланцюг має одну замикальчу та дві або більше складових ланок.

Свої особливості має розмірний аналіз технологічних процесів механічного оброблювання заготовки для корпусних деталей. При побудові розмірної схеми таких процесів варто враховувати, що розміри, які визначають положення основних отворів корпусної деталі, отримані на декількох операціях, мають однакові номінальні значення, але виконуються з різною точністю. У зв'язку з цим на розмірній схемі лінія, що визначає положення осі основного отвору, виконується переривчастою. На рис. 5.6 зображена розмірна схема оброблювання заготовки корпусної деталі за три операції. На першій операції – “фрезерній” – виконується розмір  $S_0$ , другій – “розточувальній – 1” – розмір  $S_1$ , третій розмір  $S_2$ .

У результаті рішення розмірних ланцюгів з'ясовується, чи може прийнятий варіант технологічного процесу виготовлення деталі забезпечити її точність відповідно до креслення. При цьому важливо, щоб точність виконання технологічних розмірів  $S$  не перевищувала середньоекономічну точність прийнятих методів оброблення. В іншому випадку необхідно переглянути варіант технологічного процесу виготовлення деталі.

**Задача 5.10.** Скласти граф розмірних зв'язків за схемою, зображеною на рис. 5.6.

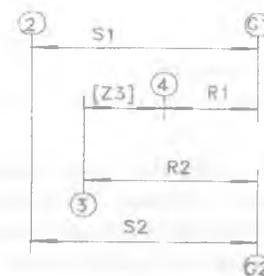
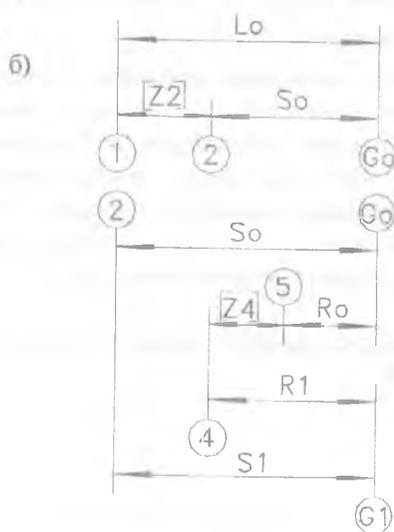
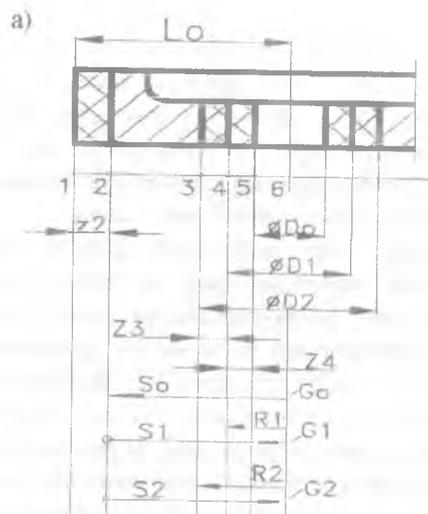


Рис. 5.6. Розмірна схема (а) і технологічні розмірні ланцюги (б) процесу механічного оброблення заготовки корпусної деталі ( $R = D/2$ )

**Задача 5.11.** Для вала, виготовленого зі сталі 45, відповідно до вихідних даних, наведених у табл. 5.7, розробити маршрутний технологічний процес механічного оброблення і призначити припуски на оброблення. Визначити лінійні розміри заготовки (отриманої гарячим штампуванням на пресах у закритих штампах), виходячи з розмірного аналізу прийнятого процесу оброблення.

Таблиця 5.7

Вихідні дані до задачі 5.11

Розміри	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$A_1, \text{ мм}$	$30_{-0,13}$	$40_{-0,16}$	$40 \pm 0,08$	$60_{-0,12}$	$60 \pm 0,06$
$A_2, \text{ мм}$	$60 \pm 0,15$	$70_{-0,3}$	$80 \pm 0,15$	$90_{-0,35}$	$100_{-0,35}$
$A_3, \text{ мм}$	$100_{-0,87}$	$130_{-0,54}$	$140_{-0,54}$	$150_{-0,63}$	$160_{-1,0}$
$R_{z1}, \text{ мкм}$	$R_{z1}=30$	$R_{z1}=15$	$R_{z1}=15$	$R_{z1}=15$	$R_{a1}=1,6$
$R_{z2}, \text{ мкм}$	$R_{z2}=15$	$R_{z2}=15$	$R_{z2}=15$	$R_{a2}=1,6$	$R_{a2}=1,6$
$R_{z3}, \text{ мкм}$	$R_{z3}=15$	$R_{z3}=15$	$R_{a3}=1,6$	$R_{a3}=1,6$	$R_{a3}=1,6$

**Задача 5.12.** Для вала (рис. 5.7) розробити маршрутний технологічний процес механічної обробки і призначити припуски. Провести розмірний аналіз прийнятого процесу обробки, виявити за допомогою графа розмірні ланцюги.

**Задача 5.13.** Для втулки, виготовленої зі сталі 35, відповідно до вихідних даних, наведених у табл. 5.8, розробити маршрутний технологічний процес оброблювання за умови, що заготовка втулки виготовлена штампуванням на горизонтально-кувальних машинах. Призначити припуски провести розмірний аналіз процесу обробки. За допомогою графів виявити розмірні ланцюги.

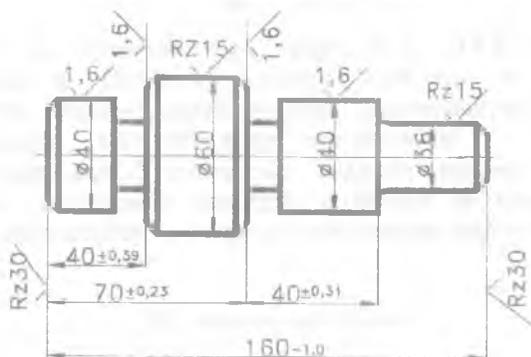


Рис. 5.7. Ескіз вала (до задачі 5.12)

**Задача 5.14.** Для корпусу, виготовленого з чавуну СЧ20 (рис. 5.8), розробити маршрутний технологічний процес оброблювання заготовки. Провести розмірний аналіз, побудувати графи розмірних зв'язків і виявити за їхньою допомогою розмірні ланцюги.

Вихідні дані до задачі 5.13

Розміри	Варіанти				
	1	2	3	4	5
A <sub>1</sub> , мм	20 <sup>-0,21</sup>	20 <sup>-0,21</sup>	40 <sup>-0,16</sup>	40 <sup>-0,16</sup>	60 <sup>-0,12</sup>
A <sub>2</sub> , мм	40 <sup>+0,25</sup>	50±0,08	60 <sup>+0,3</sup>	80±0,15	100 <sup>+0,22</sup>
A <sub>3</sub> , мм	50 <sup>-0,62</sup>	60 <sup>-0,74</sup>	80 <sup>-0,46</sup>	100 <sup>-0,54</sup>	120 <sup>-0,54</sup>
R <sub>z1</sub> , мкм	R <sub>z1</sub> =15	R <sub>z1</sub> =15	R <sub>z1</sub> =15	R <sub>z1</sub> =15	R <sub>z1</sub> =15
R <sub>z2</sub> , мкм	R <sub>z2</sub> =15	R <sub>z2</sub> =15	R <sub>a2</sub> =1,6	R <sub>a2</sub> =1,6	R <sub>a2</sub> =0,8
R <sub>z3</sub> , мкм	R <sub>z3</sub> =15	R <sub>a3</sub> =1,6	R <sub>a3</sub> =1,6	R <sub>a3</sub> =0,8	R <sub>a3</sub> =0,8
R <sub>z4</sub> , мкм	R <sub>z4</sub> =15	R <sub>z4</sub> =15	R <sub>z4</sub> =15	R <sub>a4</sub> =1,6	R <sub>a4</sub> =1,6

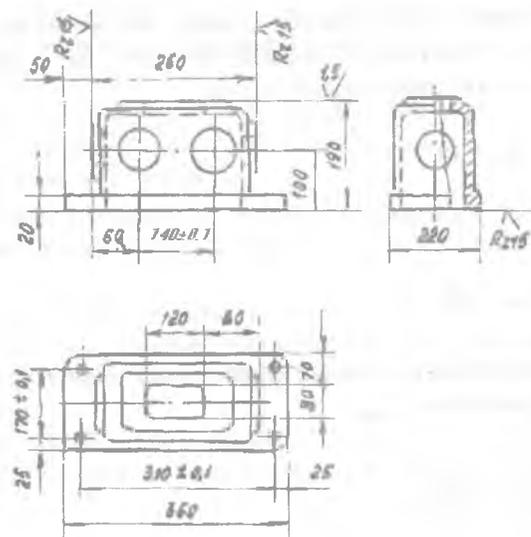


Рис. 5.8. Ескіз корпусної деталі (до задачі 5.14)

### 5.5. Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів

Технологічні розмірні ланцюги найчастіше розраховують методом цілковитої взаємозамінності. Замикальною ланкою в технологічному розмірному ланцюзі є та, що утворюється останньою як результат виконання всіх інших.

Деякі особливості має методика розрахунку розмірних ланцюгів, у яких замикальною ланкою є припуск на оброблювання. Спочатку за таблицями або розрахунком визначають його мінімальний розмір  $Z_{min}$ . Потім визначають найменший граничний розмір збільшуючої ланки  $S_{gmin}$  або найбільший граничний розмір зменшуючої ланки  $S_{lmax}$ :

$$Z_{min} = \sum_1^{n_g} S_{gmin} - \sum_1^{n_l} S_{lmax}, \quad (5.11)$$

де  $n_g$  і  $n_l$  – відповідна кількість збільшуючих і зменшуючих ланок.

Після цього для даної ланки встановлюють допуск, призначають граничні відхилення (верхнє  $Es$  і нижнє  $Ei$ ) і визначають його номінальний розмір

$$S_g = S_{gmin} - Ei \quad (5.12)$$

або

$$S_l = S_{lmin} - Es. \quad (5.13)$$

Далі визначають номінальний розмір припуску  $Z$  і його найбільше значення  $Z_{max}$ :

$$Z = \sum_1^{n_g} S_g - \sum_1^{n_l} S_l; \quad (5.14)$$

$$Z_{max} = \sum_1^{n_g} S_{gmax} - \sum_1^{n_l} S_{lmin} \quad (5.15)$$

Знаходять верхнє  $Es$  і нижнє  $Ei$  граничні відхилення припуску:

$$Es = Z_{max} - Z; \quad (5.16)$$

$$Ei = Z_{min} - Z. \quad (5.17)$$

Правильність розрахунків перевіряють за рівняннями:

$$EsZ = \sum_1^{n_g} EsS_g - \sum_1^{n_l} EiS_l; \quad (5.18)$$

$$EiZ = \sum_1^{n_g} EiS_g - \sum_1^{n_l} EsS_l. \quad (5.19)$$

Нижче розглянемо такі задачі побудови, розрахунку та аналізу технологічних розмірних ланцюгів:

– визначення параметрів (номінального розміру, допуску, верхнього та нижнього відхилень) замикальної ланки (обернена задача – див. задачу 5.15);

– визначення параметрів однієї зі складових ланок (пряма задача – див. задачі 5.16 – 5.21).

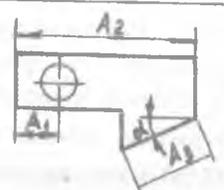
**Задача 5.15.** *Визначити методом цілковитої взаємозамінності, з яким відхиленням буде виконано розмір від уступу до вісі отвору (табл. 5.9).*

**Задача 5.16.** *Визначити, з яким відхиленням при обробленні різанням повинен бути виконаний розмір  $A$  (рис. 5.9).*

**Задача 5.17.** Встановити допуск і підібрати відхилення на оброблюваний розмір 120 мм (рис. 5.9) відповідно до ГОСТ 25347-82, якщо розмір 30 мм заданий із відхиленням  $\pm 0,065$  мм.

Вихідні дані до задачі 5.15

Таблиця 5.9



Розміри	Варіанти					
	1	2	3	4	5	6
$A_1$ , мм	$12 \pm 0,09$	$10 \pm 0,11$	$8_{-0,09}$	$6 \pm 0,11$	$6_{-0,22}$	$6_{-0,22}$
$A_2$ , мм	$82_{-0,12}$	$62_{-0,19}$	$52 \pm 0,15$	$42_{-0,1}$	$42 \pm 0,05$	$42 \pm 0,05$
$A_3$ , мм	$42 \pm 0,08$	$32 \pm 0,05$	$32_{-0,1}$	$20_{-0,13}$	$20^{+0,13}$	$20^{+0,13}$
$\alpha_1$ , °	50	40	30	20	20	0

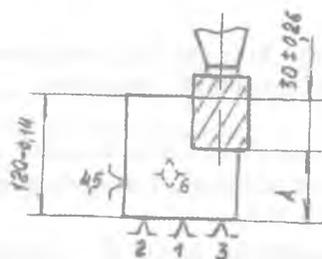


Рис. 5.9. Схема механічного оброблення заготовки (до задач 5.16 і 5.17)

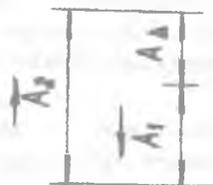


Рис. 5.10. Схема розмірного ланцюга (до задачі 5.17):

$A_1$  – зменшуючий розмір;  
 $A_2$  – збільшуючий розмір.

**Розв'язання.** Складемо схему розмірного ланцюга (рис 5.10). У даному випадку

$$T_{A_2} = T_{A_1} + T_{A_2}; \quad 0,13 = T_{A_1} + 0,14.$$

Потрібно за заданими допуском і відхиленням замикальної ланки визначити допуски, верхні та нижні відхилення складових ланок.

Допуски на складові розміри звичайно (особливо при невеликій кількості ланок у розмірному ланцюзі) призначають методом підбору, використовуючи значення, наведені в ГОСТ 25346-89 і ГОСТ 25347-82. Середня точність за якітетом складових ланок може бути визначена:

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

Значення одиниць допуску  $i_{A_1}$  для розмірів  $A_1 = 90$  мм і  $A_2 = 120$  мм, а також середню точність за якітетом вибираємо в табл. 1.1 і 1.2. Приймаємо найближче менше табличне значення  $a_c = 25$ , якому відповідає точність 8-го якітету. В такому випадку

$$T_{A_1} = T_{A_2} = 0,054 = T_{A_1} + T_{A_2} = 0,054 + 0,054 = 0,108 < 0,13.$$

Тобто, задана точність замикальної ланки забезпечується з деяким запасом

$$k = \frac{T_{A_2}}{T_{A_1}} = \frac{0,13}{0,108} = 1,2.$$

Тут  $T_{A_2}$ ,  $T_{A_1}$  – відповідно задане і фактично забезпечуване значення допуску замикальної ланки. Бажано, щоб при призначенні допусків на складові ланки  $k = 1$ .

Правильним є варіант, коли допуски на складові ланки виконують із точністю за різними якітетами, враховуючи

трудність виконання того або іншого розміру при оброблюванні. В даному випадку можна прийняти  $T_{A1} = 0,087$  мм (точність за 9-м квалітетом) і  $T_{A2} = 0,035$  мм (точність за 7-м квалітетом).

Тоді

$$T_{A\Delta} = T_{A1} + T_{A2} = 0,087 + 0,035 = 0,122 \text{ (мм)}, \quad k = \frac{0,13}{0,122} = 1,07$$

Оскільки на операційний розмір відхилення підбираємо відповідно до ГОСТ 25346-89 і ГОСТ 25347-82, допуск на нього визначимо з рівняння:

$$0,13 = T_{A1} + 0,035; \quad T_{A1} = 0,095 \text{ мм.}$$

Очевидно, що  $A_2 = 120_{-0,035}$  мм і координата середини поля допуску на розмір  $A_2$   $E_{cA_2} = -0,0175$ . Визначимо координату середини поля допуску на розмір  $A_1$ :

$$E_{c\Delta} = E_{cA_1} + -E_{cA_2},$$

$$0 = -E_{cA_1} + (-0,0175), \quad E_{cA_1} = -0,0175.$$

Тоді верхнє і нижнє відхилення на розмір  $A_1$  становлять:

$$E_{sA_1} = -0,0175 + \frac{1}{2} \cdot 0,095 = 0,03 \text{ (мм)};$$

$$E_{iA_1} = -0,0175 + \frac{1}{2} \cdot 0,095 = 0,065 \text{ мм.}$$

Найбільш прийнятними відхиленнями (відповідно до ГОСТ 25346-89 і ГОСТ 25347-82) на розмір  $A_1 = 90$  мм є:  $E_{sA_1} = 0$  і  $E_{iA_1} = -0,054$  мм (8-й квалітет).

У цьому випадку фактичне значення координати середини поля допуску замикальної ланки

$$E_{c\Delta_{\text{фак}}} = -E_{cA_1} + E_{cA_2} = -(-0,027) + (0,0175) = 0,0095 \text{ (мм)}.$$

Верхнє та нижнє відхилення на розмір  $A_1 = 30$  мм:

$$E_{s\Delta_{\text{фак}}} = 0,0095 + \frac{1}{2} \cdot (0,054 + 0,035) = 0,054 \text{ (мм)};$$

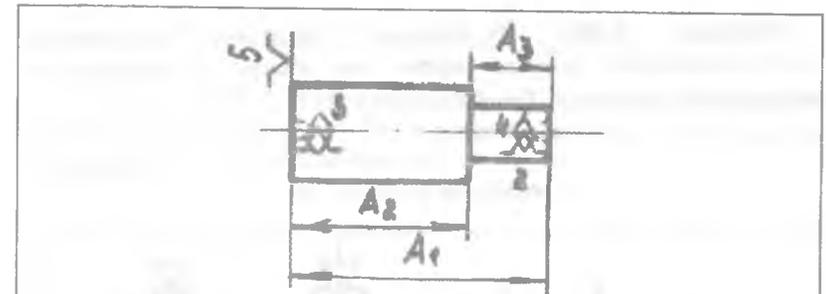
$$E_{i\Delta_{\text{фак}}} = 0,0095 - \frac{1}{2} \cdot (0,054 + 0,035) = -0,035 \text{ (мм)},$$

тобто, знаходяться в межах заданого поля допуску.

**Задача 5.18.** Встановити методом цілковитої взаємозамінності допуск і підібрати відхилення на операційний розмір  $A_2$  (табл. 5.10) відповідно до ГОСТ 25347-82.

Таблиця 5.10

Вихідні дані до задачі 5.18



Розміри, мм	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$A_1$	$150_{-0,16}$	$150_{-0,16}$	$150_{-0,16}$	$150 \pm 0,08$	$150 \pm 0,08$
$A_3$	$52_{-0,3}$	$52 \pm 0,15$	$52^{+0,3}$	$52_{-0,3}$	$52 \pm 0,15$

Розміри, мм	Варіанти			
	6	7	8	9
$A_1$	$150 \pm 0,08$	$150^{+0,16}$	$150^{+0,16}$	$150^{+0,16}$
$A_3$	$52^{+0,3}$	$52_{-0,3}$	$52 \pm 0,15$	$52^{+0,3}$

**Задача 5.19.** Встановити методом цілковитої взаємозамінності і підібрати відхилення на операційний розмір  $A_2$  (табл. 5.11) відповідно до ГОСТ 25347-82.

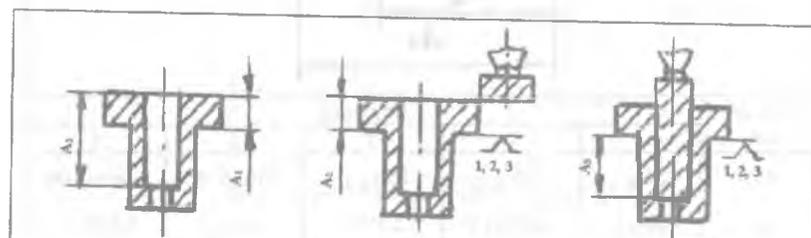
Вихідні дані до задачі 5.19 (див. ескіз до табл. 5.10)

Розміри, мм	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$A_1$	$150_{-0,16}$	$150_{-0,16}$	$150_{-0,16}$	$150 \pm 0,08$	$150 \pm 0,08$
$A_3$	$52_{-0,12}$	$52 \pm 0,06$	$52^{+0,12}$	$52_{-0,12}$	$52 \pm 0,06$

Розміри, мм	Варіанти			
	6	7	8	9
$A_1$	$150 \pm 0,08$	$150^{+0,16}$	$150^{+0,16}$	$150^{+0,16}$
$A_3$	$52^{+0,12}$	$52_{-0,12}$	$52 \pm 0,06$	$52^{+0,12}$

**Задача 5.20.** Визначити методом цілковитої взаємозамінності допуск, верхнє та нижнє відхилення на операційний розмір  $A_3$  (табл. 5.12).

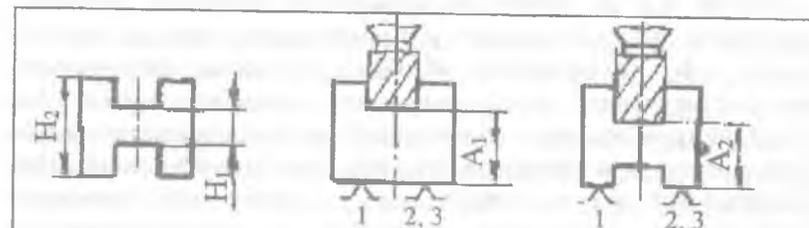
Вихідні дані до задачі 5.20



Розміри, мм	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$A_1$	$22_{-0,11}$	$22_{-0,11}$	$22_{-0,11}$	$22 \pm 0,055$	$22 \pm 0,055$
$A_2$	$54^{+0,19}$	$54 \pm 0,095$	$54_{-0,19}$	$54^{+0,19}$	$54_{-0,19}$

**Задача 5.21.** Визначити методами повної та неповної взаємозамінності допуски, верхні та нижні відхилення на операційні розміри  $A_1$  і  $A_2$  (табл. 5.13).

Вихідні дані до задачі 5.21



Розміри, мм	Варіанти				
	1	2	3	4	5
$H_1$	$20^{+0,13}$	$20^{+0,13}$	$20^{+0,13}$	$20 \pm 0,065$	$20 \pm 0,065$
$H_2$	$80_{-0,19}$	$52 \pm 0,085$	$80^{+0,19}$	$80_{-0,19}$	$80^{+0,19}$

**Задача 5.22.** Виявлені за результатами розмірного аналізу (див. задачу 5.12) розмірні ланцюги розрахувати методом повної взаємозамінності.

## РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ

### 6.1. Вибір послідовності переходів в операції та засобів їх технологічного оснащення

Продуктивність технологічних операцій у значній мірі залежить від їх структури, зумовленої кількістю заготовок, одночасно встановлюваних у пристосуванні або на верстаті (одно- або багатомісна обробка), кількістю інструментів, використовуваних при виконанні операції (одно- або багатоінструментальне оброблення) та послідовністю роботи інструментів при виконанні операції (послідовність переходів). Послідовний вступ інструментів у роботу або послідовне розташування декількох заготовок у пристосуванні за напрямком подачі характеризує структуру операції з послідовним оброблюванням. При паралельному розташуванні оброблюваних заготовок у пристосуванні (тобто при їх розташуванні перпендикулярно до напрямку подачі) і при одночасному обробленні декількох поверхонь однієї або декількох заготовок формується структура операції з паралельною обробкою. При багатомістній обробці заготовок, розташованих у пристосуванні в декілька рядів вздовж або поперек подачі, операція визначається як операція з паралельно-послідовною обробкою.

Економічна ефективність технологічних процесів оброблювання деталей у значній мірі залежить від раціонального вирішення питань побудови загального плану (маршруту) оброблення. Під технологічним маршрутом виготовлення деталі розуміється послідовність виконання технологічних операцій (уточнення послідовності при типовому або груповому процесах) із визначенням змісту операцій, вибором устаткування і технологічного оснащення для їх виконання. Технологічні маршрути досить різноманітні і залежать від конфігурації деталі, їх розмірів, точності, наявності термічної обробки, програми випуску та інших чинників. Водночас, для якісного проектування маршруту можуть бути рекомендовані деякі загальні принципи, характерні для всіх класів оброблюваних деталей:

1. На перших (одній-двох) операціях оброблюють поверхні, що будуть використовуватися як технологічні бази на всіх або більшості операцій технологічного процесу (про принципи вибору чорнових і чистових баз див. п. 4.2.).

2. Використовуючи чистові бази, оброблювання інших поверхонь ведуть у послідовності, зворотній їх ступеням точності, тобто, чим точнішою повинна бути оброблена поверхня, тим пізніше її оброблюють.

3. Використовуючи розроблені раніше маршрути обробки окремих поверхонь (див. п. 5.1.), виявляють необхідність розчленування процесів виготовлення деталі на окремі стадії оброблення. Стадія оброблення – це частина технологічного процесу, що містить однорідні за характером і точністю обробки різноманітні поверхні та деталі в цілому. При механічному оброблюванні такими стадіями є: чорнова, чистова, тонка й кінцева (табл. 6.1).

Таблиця 6.1  
Вибір стадій обробки поверхонь залежно від вимог щодо точності і шорсткості

Стадії обробки	Отримана точність (квалітет) шорсткість $R_a$ ( $R_z$ ), мкм			
	12/(80)	10/(20)	7/1,25	6/0,63
Чорнова	1	1	1	1
Чистова	–	2	2	2
Тонка	–	–	3	3
Кінцева	–	–	–	4

Доцільність поділу технологічного процесу на стадії оброблювання зумовлюється необхідністю отримання деталей заданої точності і раціонального використання устаткування, тому що це пов'язано з кількістю та змістом операцій технологічного процесу. На кожній стадії виконують операції, що забезпечують приблизно однакову точність обробки. Таким чином, на перших стадіях поєднують остаточну обробку неточних поверхонь і попереднє оброблення точних поверхонь, а кінцеве оброблення точних поверхонь (точне й викінчувальне) проводять наприкінці технологічного процесу. Такий поділ процесу на стадії дозволяє виділити технологічні комплекси поверхонь, які доцільно оброблювати разом, використовуючи

принцип єдності баз, тобто, з однієї установки. У такі комплекси звичайно включають поверхні, об'єднані допусками на взаємне розташування (биття, співвісність, координатні розміри). Рационально також утворювати технологічні комплекси за економічним принципом, домагаючись скорочення оперативного часу за рахунок послідовної та паралельної концентрації операцій.

4. Допоміжні поверхні (отвори, фаски, галтелі, пази тощо) звичайно оброблюють на чистовій стадії. У самостійні операції виділяють оброблювання зубів, шлиців, груп отворів або пазів.

5. Попередньо зміст операцій встановлюють об'єднанням на даній стадії оброблення тих переходів, які можуть бути виконані на одному верстаті. На цьому етапі проектування визначають тиши, розміри та моделі устаткування [22] для виконання основних операцій технологічного процесу залежно від типу, габаритних розмірів деталі, заданого масштабу їх випуску. При виборі устаткування звичайно орієнтуються: для одиничного виробництва – на універсальні верстати; для серійного – на універсальні верстати, верстати з ЧПК і напівавтомати; для великосерійного і масового – на напівавтомати, автомати й автоматичні лінії.

6. Операції механічного оброблення погоджують з операціями термічного і хіміко-термічного оброблювання. Проміжна термічна обробка при необхідності застосовується після чорнової стадії і полягає у нормалізації сталевих деталей для поліпшення їх оброблюваності на чистових операціях, а також – для старіння відливок із метою зняття залишкових напружень у металі заготовки.

Остаточну термічну обробку виконують у вигляді об'ємного або поверхневого загартування. Якщо остаточна термічна обробка полягає в об'ємному загартуванні деталі до твердості вище  $40 HRC_e$ , то цю операцію виконують після чистової обробки до шліфування. При необхідності цементації з наступним загартуванням окремих поверхонь деталі застосовують захисне обміднення тих поверхонь, які не підлягають цементації.

7. У маршрутний технологічний процес включають другорядні операції (обробка кріпильних отворів, слюсарні операції, промивання тощо), а також визначають місце

контрольних операцій.

Розроблений варіант операції рекомендується оформляти у вигляді операційної карти, ГОСТ 3. 1404-86 (форми 2 і 2а).

**Задача 6.1.** Розробити маршрут обробки вала-шестерні (рис. 6.1), що виготовляється зі сталі 45 ( $40...45 HRC_e$ ) в умовах малосерійного виробництва.

**Зауваження.** Приклад подібного технологічного процесу (задача 5.8) наведено в табл. 6.2.

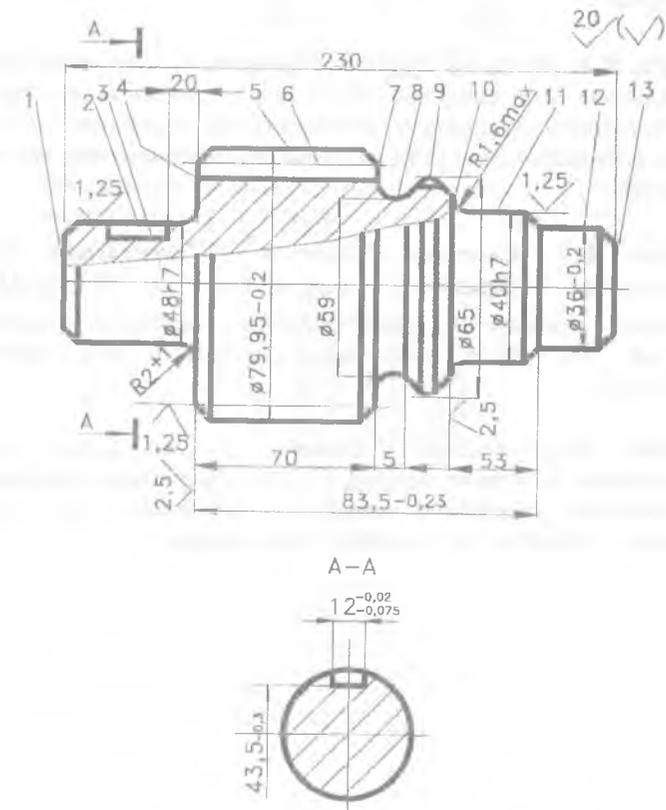


Рис 6.1. Ескіз вала-шестерні (до задачі 6.1): не вказані граничні відхилення на розміри – за 14-м квалітетом точності модуль зубів  $m = 6,5$ ; кількість зубів – 12;

**Задача 6.2.** Вал-шестерню (додаток 8, креслення ТМ1) виготовляють із загартованої до 35...45 HRC<sub>c</sub> сталі 30ХГТ. Розробити маршрути оброблювання заготовки вала-шестерні відповідно для умов одиничного, серійного та масового виробництва.

**Задача 6.3.** Шестерню (додаток 8, креслення ТМ7) виготовляють зі сталі 40Х, загартованої до 42...48 HRC<sub>c</sub>. Розробити маршрути оброблювання заготовки шестерні відповідно для умов одиничного, серійного та масового виробництва.

**Задача 6.4.** Фланець кулачка (додаток 8, креслення ТМ2) виготовляють із полірованої сталі 45 або алюмінієвого сплаву АЛ4. Розробити маршрути оброблювання заготовки фланця кулачка відповідно для умов одиничного, серійного та масового виробництва.

**Задача 6.5.** Серезжку (додаток 8, креслення ТМ3) виготовляють зі сталі 45, загартованої до 37...42 HRC<sub>c</sub>. Розробити маршрути оброблювання заготовки серезжки відповідно для умов одиничного, серійного та масового виробництва.

**Задача 6.6.** Корпус (додаток 8, креслення ТМ6) виготовляють із сірого чавуну СЧ 18. Розробити маршрути оброблювання заготовки корпусу відповідно для умов одиничного, серійного та масового виробництва.

Таблиця 6.2  
Технологічний маршрут обробки вала-шестерні (до задач 5.8 і 6.1)

№ операції	Найменування і стислий зміст операцій	Технологічна база	Устаткування
1	Фрезерно-центрувальна, фрезерувати торці 1 і 13 (рис. 6.1), зацентрувати з двох сторін	Вісь і торець вихідної заготовки	Фрезерно-центрувальний напівавтомат МР73М
2	Токарно-копіювальна, точити поверхні 11, 12, 5, фаски, підрізати торець 10	Вісь і торець 1	Токарно-копіювальний напівавтомат 1Н713
3	Токарно-копіювальна, точити поверхню 2, фаски, підрізати торці 4 і 7, прорізати канавку 8	Вісь і торець 10	Токарно-копіювальний напівавтомат 1Н713
4	Токарно-копіювальна, точити під шліфування поверхню 11 і підрізати торець 10	Вісь і торець 4	Токарно-копіювальний напівавтомат 1Н713
5	Токарно-копіювальна, точити під шліфування поверхню 2 і підрізати торець 4	Вісь і торець 10	Токарно-копіювальний напівавтомат 1Н713

Закінчення табл. 6.2

№ операції	Найменування і стислий зміст операцій	Технологічна база	Устаткування
6	Шпоночно-фрезерувальна, фрезерувати шпоночний паз 3	Поверхні 2, 11 і торець 4	Шпоночно-фрезерувальний 6Д91
7	Зубофрезерувальна, фрезерувати зуби 6	Вісь вала	Зубофрезерувальний напівавтомат 5В312
8	Зубошевінгувальна, шевінгувати зуби 6	Вісь вала	Зубошевінгувальний 5702
9	Контрольна	—	—
10	Термічна, нагріти і відпустити до HRC <sub>e</sub> 40...45	—	—
11	Зубохонінгувальна, хонінгувати зуби 6	Вісь вала	Зубохонінгувальний 5А913
12	Шліфувальна, шліфувати одночасно поверхні 10 і 11, витримуючи R1,6max	Вісь і торець 4	Торцекруглошліфувальний 3Т161А
13	Шліфувальна, шліфувати одночасно поверхні 2, 4, витримуючи R2	Вісь і торець 10	Торцекруглошліфувальний 3Т161А
14	Контрольна	—	—

## 6.2. Розрахунок режимів обробки

Методика призначення режимів різання для різноманітних методів обробки докладно викладене в довідковій літературі [21 та ін.]. При цьому найбільш вигідними вважаються такі режими обробки, які забезпечують найменшу собівартість механічної обробки при задоволенні всіх вимог щодо якості продукції та продуктивності обробки.

У загальному випадку необхідно дотримуватися певної послідовності призначення режимів різання ( $t \rightarrow S \rightarrow V \rightarrow n$ ):

1. Вибір глибини різання  $t$  (мм), виходячи з умов зняття припуску на обробку (за один робочий хід, або залежно від вимог щодо точності й шорсткості обробленої поверхні, коли припуск необхідно розподілити по стадіях обробки).

Визначення глибини різання за один робочий хід. При обробки поверхонь тіл обертання:

$$t = \frac{0,5}{(D_i - D_{i-1})}; \quad (6.1)$$

при односторонній обробці плоских поверхонь

$$t = H_i - H_{i-1}, \quad (6.2)$$

де  $D_i$  і  $H_i$  – відповідно діаметр і лінійний розмір після обробки;

$D_{i-1}$  і  $H_{i-1}$  – відповідно діаметр і лінійний розмір до обробки.

2. Вибір подачі на один оберт –  $S_0$  (мм/об) або подачі на один зуб (для багатозубчастих інструментів) –  $S_z$  (мм/зуб).

Подачу при чорновій обробці вибирають максимально можливою з урахуванням таких обмежень: надійність механізмів приводу і подач верстата; стійкість інструмента; міцність заготовки; жорсткість технологічної системи. Потужність верстата, як правило, не обмежує подачу: при недостатній потужності в більшості випадків варто зменшувати не подачу, а швидкість.

При чистовій обробці подачу вибирають залежно від вимог стосовно точності й шорсткості поверхонь.

3. Визначення швидкості різання  $V_p$  (мм/хв.), з урахуванням вибраних  $t$  і  $S$ , властивостей оброблюваних і різальних матеріалів, геометрії та стійкості інструмента, здійснюється за емпіричними залежностями, які мають загальний вид:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot k_v, \quad (6.3)$$

де  $C_v$ ,  $m$ ,  $x$ ,  $y$  – коефіцієнти, що враховують вид обробки;

$k_v$  – коефіцієнт, який враховує конкретні умови обробки [22].

Найбільш вигідні періоди стійкості приймаються відповідно до нормативів.

4. Визначення частоти обертання  $n_p$ , ( $хв.^{-1}$ )

$$n_p = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D} \quad (6.4)$$

За паспортними даними верстата визначають  $n$ , близьку до розрахункової  $n_p$ . При відсутності цих даних ряд частот обертання можна визначити, виходячи з довідкової літератури за залежністю

$$n_{np} = n_{min} \cdot \varphi^{x-1}, \quad (6.5)$$

де  $n_{np}$  – прийнята (найближча менша від розрахункової) частота обертання;

$n_{min}$  – мінімальна частота обертання для даного верстата;

$\varphi$  – знаменник ряду геометричної прогресії ( $\varphi = 1,26$ );

$x$  – номер ступеня, на якому забезпечується рівність (6.5).

Після призначення частоти обертання шпинделя визначають хвилину подачу  $S_{хв} = S_{об} \cdot n_{np}$  ( $мм / хв.$ ).

### 6.3. Нормування витрат праці на виконання операції

Однією з основних вимог при проектуванні технологічних операцій є вимога мінімуму витрат праці при їх виконанні. Критерієм оцінки трудомісткості є норма штучно-калькуляційного ( $T_{шк}$ ) або штучного ( $T_{шт}$  – для масового виробництва) часу,  $хв.$ :

$$T_{шк} = \frac{T_{шт} + T_{п.з}}{n_p}, \quad (6.6)$$

де  $T_{п.з}$  – підготовчо-заключний час,  $хв.$  на партію запуску заготовок у виробництво,  $n_{шт}$

$$T_{шт} = T_0 + T_d + T_{обс} + T_n, \quad (6.7)$$

де  $T_0$  – основний (технологічний) час;

$T_d$  – допоміжний час;

$T_{обс}$  – час обслуговування робочого місця;

$T_n$  – час перерв у роботі.

Основний час обробки  $T_0$  розраховується (після визначення режимів різання) за рівнянням

$$T_0 = \frac{L_p i}{S_{хв}}, \quad (6.8)$$

де  $L_p$  – розрахункова довжина робочого ходу інструмента,  $мм$ ;

$i$  – кількість проходів;

$S_{хв}$  – хвилинка подача інструмента (або заготовки) у напрямку подачі,  $мм / хв.$

Для різних видів обробки трансформацію рівняння (6.8) див. [15, с. 610–619]. Розрахункова довжина робочого ходу інструмента,  $мм$ :

$$L_p = L_0 + L_{оп} + l_{пер}, \quad (6.9)$$

де  $L_0$  – довжина оброблюваної поверхні (у напрямку подачі);

$l_{оп}$  і  $l_{пер}$  – довжина врізання та перебігу інструмента [15, с. 620–625].

Основний час  $T_0$  на виконання операції залежить від її структури [21, с. 200–209]. Так, при послідовному виконанні переходів одномісних операцій основний час є сумою часу виконання всіх переходів:

$$T_o = \sum_1^n T_{oi} \quad (6.10)$$

При паралельній схемі обробки основний час виконання операції визначається тривалістю найбільшого (лімітного) переходу  $T_{ol}$ , тобто

$$T_o = T_{ol} \quad (6.11)$$

При паралельно-послідовній схемі основний час включає суму послідовно виконуваних на позиціях лімітних переходів:

$$T_o = \sum_1^n T_{oi} \quad (6.12)$$

Для багатомісних схем обробки основний час зменшується в середньому в  $N$  раз ( $N$  – кількість одночасно оброблюваних заготовок) [21, с. 204].

Допоміжний час  $T_d$  операцій, типових за структурою і технологічною оснащеністю, виконуваних на універсальних верстатах при серійному виробництві, визначають із виразу:

$$T_d = T_{yc} + T_{пер} + T_k \quad (6.13)$$

де  $T_{yc}$  – час установлення і зняття заготовки;

$T_{пер}$  – час, пов'язаний з виконанням переходу (або операції);

$T_k$  – час, витрачений на контрольне вимірювання отриманих розмірів.

Елементи допоміжного часу визначаються за [14, 16], а при обробки на верстатах із ЧПК – за [21, с. 603–622] або [15]. У цих же джерелах наведені дані для визначення інших складових ітучно-калькуляційного часу ( $T_{обс}, T_n, T_{н.з.}$ ).

**Задача 6.7.** Розрахувати режими різання та штучно-калькуляційний (штучний) час виконання операцій згідно з варіантами і умовами, поданими у табл. 6.3.

Варіанти завдань до задачі 6.7

Таблиця 6.3

№ вар	№ крес. (додаток. 8)	Найменування операції	Модель верстата	Назва операції	Партія запуску, шт.
1	ТМ1	Токарно-копіювальна	1Н713	Чистове точіння	120
2	ТМ1	Токарна з ЧПК	16Н20Ф3	Чистове точіння	120
3	ТМ2	Вертикально-свердлувальна	2Н150	Зенкерування отворів $\varnothing 45^{+0,17}$	150
4	ТМ2	Горизонтально-протяжна	7Б55	Протягування шлиців	150
5	ТМ3	Горизонтально-фрезерувальна	6Р80	Фрезерування паза 32 Н12	40
6	ТМ4	Круглошліфувальна	3М150	Шліфування шипів $\varnothing 60f7$	200
7	ТМ5	Внутрішшліфувальна	3К228А	Шліфування отворів $\varnothing 190^{+0,045}$	100
8	ТМ5	Зубошліфувальна	5А841	Шліфування зубів	100
9	ТМ6	Вертикально-фрезерувальна	6Р10	Фрезерування підставки	
10	ТМ6	Алмазно-розточувальна	2705П	Розточування отворів $\varnothing 24Н7$	100
11	ТМ7	Вертикально-фрезерувальна	6Р10	Фрезерування шпоночного паза 10Р9	80
12	ТМ7	Токарно-копіювальна	1Н713	Чистове точіння циліндричних поверхонь	250
13	ТМ8	Вертикально-фрезерувальна	6Р10	Фрезерування паза В=30	50
14	ТМ9	Алмазно-розточувальна	2705П	Розточування отворів $\varnothing 110Н7$	100
15	ТМ10	Вертикально-свердлувальна	2Н118	Свердлування та розвертування отворів $\varnothing 10 Н8$	40

#### 6.4. Оптимізація режимів обробки різанням

Оптимізація технологічних процесів і режимів різання, зокрема, ґрунтується на побудові математичних моделей. Для визначення математичної моделі вибираються технічні обмеження, що найбільшою мірою визначають процес і оцінку функції (критерій оптимальності).

Вибір тих або інших технічних обмежень залежить від виду обробки і конкретних умов технологічного, конструкційного й організаційно-виробничого характеру. Проте, можна виділити ряд найбільш важливих технічних обмежень, які становлять основу математичних моделей процесу різання при точінні, фрезеруванні, свердлуванні та інших методах оброблювання. Такими обмеженнями є різальні можливості інструмента, зумовлені його стійкістю; потужність електродвигуна приводу головного руху; найменша і найбільша швидкості різання (частота обертання шпинделя) та подача, що допускається кінематикою верстата; стійкість і жорсткість різального інструмента; точність обробки; шорсткість обробленої поверхні.

В якості оціночної функції при оптимізації за двома параметрами ( $n$ ,  $S$ ) звичайно використовують мінімальну собівартість

$$F_{min} = \frac{c}{n \cdot S}, \quad (6.14)$$

де  $c$  – коефіцієнт, що не залежить від режимів різання  $n$  і  $S$ .

З (6.14) очевидно, що функція  $F_{min}$  буде найменшою, коли  $n$  буде максимальним.

Технічні обмеження будуються на основі відомих залежностей. Так, технічне обмеження стосовно стійкості інструмента для точіння буде отримане з виразів для швидкості різання:

$$V = \frac{V_V}{T^m \cdot t^{x_V} \cdot S^{y_V}} \cdot K_V; \quad V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (6.15)$$

де  $T$  – період стійкості інструмента, хв.;

$m$  – показник відносної стійкості;

$t$  – глибина різання;

$D$  – діаметр заготовки, мм;

$C_V$ ,  $x_V$ ,  $y_V$  – коефіцієнти, що характеризують умови обробки;

$K_V$  – загальний поправний коефіцієнт.

Після відповідних перетворень отримаємо технічне обмеження в такому вигляді:

$$nS^{y_V} \leq \frac{318 \cdot C_V \cdot K_V}{D \cdot T^m \cdot t^{x_V}}. \quad (6.16)$$

Аналогічно визначають інші технічні обмеження. Для вибору оптимальних значень режимів різання з використанням методів лінійного програмування всі технічні обмеження та оціночна функція приводяться до лінійного виду логарифмуванням. Так, вираз (6.16) після логарифмування буде мати вигляд:

$$\ln n + y_V \ln S = \ln \frac{318 \cdot C_V \cdot K_V}{D \cdot T^m \cdot t^{x_V}}. \quad (6.17)$$

Введемо позначення:

$$x_1 = \ln n; \quad x_2 = \ln 100S; \quad b_1 = \ln \frac{318 \cdot C_V \cdot K_V}{D \cdot T^m \cdot t^{x_V}} \cdot 100^{y_V}, \quad (6.18)$$

(у позначенні  $x_2$  подача  $S$  збільшується в 100 разів для уникнення негативних значень логарифмів).

Звідси отримаємо перше технічне обмеження в лінійному виді:

$$x_1 + y_V x_2 \leq b_1. \quad (6.19)$$

Для оціночної функції з урахуванням її виду (6.14) після логарифмування будемо магі:

$$f_0 = (x_1 + x_2)_{\max} \quad (6.20)$$

Приведення всіх технічних обмежень до лінійного виду та подання їх у вигляді системи нерівностей у сукупності з оціночною функцією дає математичну модель процесу різання металів. Визначення оптимальних режимів різання за допомогою побудованої математичної моделі може виконуватися аналітичним або графічним методами.

**Задача 6.8.** Побудувати математичну модель процесу різання і визначити оптимальні режими різання для точіння поверхні заготовки вала діаметром  $D = 100$  мм і довжиною  $L = 700$  мм, матеріал – сталь 45, необхідна шорсткість  $R_z = 40$  мкм, глибина різання  $t = 2,5$  мм.

**Розв'язання.** З огляду на розміри заготовки для обробки вибирають токарно-гвинторізний верстат із ЧПК 16К20Ф3. Точіння ведуть прохідним різцем із різальною пластиною Т15К6 при охолодженні. Розміри державки різця приймаються  $B = 12$  мм,  $H = 16$  мм, виліт різця  $L_{\text{вр}} = 50$  мм.

Виділимо найбільш важливі обмеження:

**Обмеження 1.** Різальні можливості інструмента, обумовлені періодом стійкості.

Відповідно до залежності (6.16) знаходимо значення періоду стійкості інструмента і коефіцієнтів, які входять у рівняння для швидкості різання  $V$  [22, с. 268–271]:

$$T = 60 \text{ хв.}; C_v = 350; x_v = 0,15; y_v = 0,35; m = 0,2.$$

Значення коефіцієнта

$$K_v = K_{mv} K_{rv} K_{\phi v} K_{rv} K_{qv} K_o^v = 1,44.$$

Тоді

$$nS^{0,35} \leq \frac{318 \cdot 350}{100 \cdot 60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15}} \cdot 1,44 \quad \text{або} \quad nS^{0,35} \leq 613,95.$$

Приведемо отриману нерівність до лінійного вигляду логарифмуванням і після позначення отримаємо

$$x_1 + 0,35x_2 \leq b;$$

$$\text{де } b_1 = \ln(613,95 \cdot 100^{0,35}) = 8,03.$$

**Обмеження 2.** Потужність електродвигуна приводу головного руху верстата. Це обмеження виражається умовою  $N_{\text{эф}} \leq N_{\eta}$ , де  $N$  – потужність електродвигуна головного приводу верстата, кВт;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії кінематичного ланцюга від електродвигуна до інструмента.

Ефективна потужність, кВт, що витрачається на процес різання

$$N_{\text{эф}} = \frac{P_z \cdot V}{102 \cdot 60}, \quad (6.21)$$

де  $P_z$  – сила різання, що, відповідно до [22, с. 271], визначиться як

$$P_z = C_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot S^{y_{Pz}} \cdot V^{n_{Pz}} \cdot K.$$

Підставляючи у вираз (6.20) значення сили різання  $P_z$ , отримаємо для другого технічного обмеження:

$$n^{n_{Pz}+1} S^{y_{Pz}} \leq \frac{6120(10^3)^{n_{Pz}+1} \cdot N_{\eta}}{C_{Pz} \cdot t^{n_{Pz}+1} \cdot D^{n_{Pz}+1} \cdot \pi^{n_{Pz}+1} \cdot K_P}$$

Значення коефіцієнтів для аналізованого прикладу [22, с. 273–274]:

$$C_{Pz} = 300; x_{Pz} = 1,0; y_{Pz} = 0,75; n_{Pz} = -0,15.$$

Значення поправного коефіцієнта для сили різання:

$$K_p = K_{mp} K_{pp} K_{rp} K_{\lambda p} K_{tp} = 1,05.$$

Потужність електродвигуна верстата 16К20Ф3  $N = 10 \text{ кВт}$ ,  $\eta = 0,85$ . Тоді

$$n^{0,85} S^{0,75} \leq \frac{6120(10^3)^{0,85} \cdot 10 \cdot 0,85}{300 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 100^{0,85} \cdot \pi^{0,85} \cdot 1,05} \leq 177,1.$$

Після приведення до лінійного виду і введення позначень отримаємо:

$$0,85x_1 + 0,75x_2 \leq b_2;$$

$$\text{де } b_2 = \ln(177,1 \cdot 100^{0,775}) = 8,63.$$

**Обмеження 3.** Найменша допускна швидкість різання, зумовлена кінематикою верстата.

Для частоти обертання шпинделя верстата  $n$  це обмеження має вигляд:  $n \geq n_{в. \min}$ . Для верстата 16К20Ф3  $n_{в. \min} = 12,5 \text{ хв}^{-1}$ . Тоді

$$x_1 \geq b_3,$$

$$\text{де } b_3 = \ln 12,5 = 2,52.$$

**Обмеження 4.** Найбільша допускна швидкість різання, зумовлена кінематикою верстата.

Для частоти обертання шпинделя верстата це обмеження має вигляд:  $n \leq n_{в. \max}$ . Для верстата 16К20Ф3  $n_{в. \max} = 200 \text{ хв}^{-1}$ . Тоді

$$x_1 \leq b_4,$$

$$\text{де } b_4 = \ln 200 = 7,6.$$

При аналогічних перетвореннях були отримані в лінійному вигляді наступні обмеження:

обмеження 5 – щодо найменшої подачі;

обмеження 6 – щодо найбільшої подачі;

обмеження 7 – щодо стійкості різального інструмента;  
обмеження 8 – щодо жорсткості ріжучого інструмента;  
обмеження 9 – щодо жорсткості заготовки;  
обмеження 10 – щодо необхідної шорсткості поверхні.

Обмеження 5–10 разом із розглянутими вище обмеженнями утворюють математичну модель процесу різання в аналітичному виді. Крім технічних обмежень, які подаються як системи нерівностей, до складу моделі входить оціночна функція  $f_0$ :

$$\begin{aligned} x_1 + 0,35x_2 &\leq 8,03; \\ 0,85x_1 + 0,75x_2 &\leq 8,63; \\ x_1 &\geq 2,52; \\ x_1 &\leq 7,6; \\ x_2 &\geq 1,61; \\ x_2 &\leq 5,63; \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 &\leq 1,81; \\ -0,15x_1 + 0,75x_2 &\leq 2,84; \\ -0,3x_1 + 0,6x_2 &\leq 3,34; \\ x_2 &\leq 4,09 \end{aligned}$$

$$f_0 = (x_1 + x_2)_{\max}.$$

Визначення оптимальних значень  $x_{1\text{опт}}$  і  $x_{2\text{опт}}$  може проводитися шляхом використання числових методів лінійного програмування з застосуванням ЕОМ. У аналізованому прикладі задача буде розв'язана графічним методом. У цьому випадку кожне технічне обмеження рекомендується зображати граничною прямою, що визначає напівплощину, де можливе існування розв'язків системи нерівностей. Граничні прямі, перетинаючись, утворюють багатокутник розв'язків ABCD (рис. 6.2), всередині якого будь-яка точка задовольняє усім без винятку нерівностям. Для визначення оптимальних значень  $x_{1\text{опт}}$  і  $x_{2\text{опт}}$  під кутом  $45^\circ$  до вісей  $x_1$  і  $x_2$  будується вектор максимізації  $M$  для оціночної функції  $f_0 = x_1 + x_2$ , яка відображає пряму (штрихова лінія), перпендикулярну цьому

вектору. У точці  $D$ , де пряма оціночної функції торкнеться многокутника розв'язків, функція приймає мінімальне значення  $f_0 \min$ , а в точці  $B$  – максимальне  $f_0 \max$ . Координати цих точок є оптимальними значеннями  $x_{1\text{опт}} = 6,5$  і  $x_{2\text{опт}} = 3,8$ .

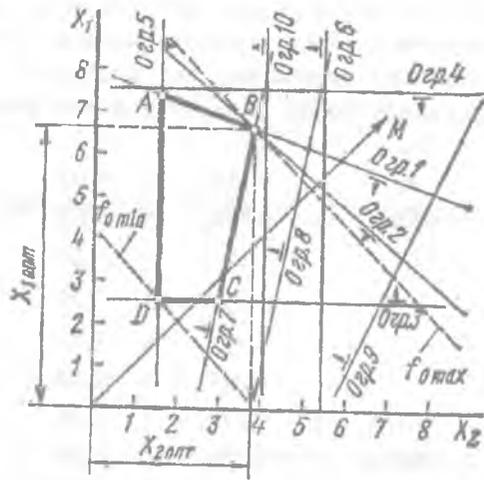


Рис. 6.2. Графічна побудова математичної моделі визначення оптимальних режимів різання (до задачі 6.8)

Числові значення оптимальних режимів різання обчислюються за такими залежностями:

$$n_{\text{опт}} = e^{X_{1\text{опт}}} = e^{6,5} = 665 \text{ (хв.}^{-1}\text{)};$$

$$S_{\text{опт}} = \frac{1}{100} e^{X_{2\text{опт}}} = \frac{1}{100} e^{3,8} = 0,447 \text{ (мм/об)}.$$

**Задача 6.9.** Побудувати математичну модель процесу різання і визначити оптимальні режими ( $n$ ,  $S$ ) для точіння заготовки вала діаметром  $D$  і довжиною  $L$  із врахуванням виду та матеріалу заготовки, необхідної точності, шорсткості поверхні  $R_z$  і глибини різання  $t$  (табл. 6.4).

**Задача 6.10.** Побудувати математичну модель процесу різання і визначити оптимальні режими ( $n$ ,  $S$ ) для свердлування в заготовці типу "Плита" отвору діаметром  $d$  і глибиною  $t$  при 12-му квалітету точності за даними, наведеними у табл. 6.5.

**Задача 6.11.** Побудувати математичну модель процесу різання та визначити оптимальні режими ( $n$ ,  $S$ ) для фрезерування торцевою фрезою на вертикально-фрезерувальному верстаті площини заготовки типу "Плита" шириною  $B$  і довжиною  $L$  з урахуванням виду матеріалу заготовки, необхідної шорсткості і квалітету, наведених у табл. 6.6.

Вихідні дані до задачі 6.9

Таблиця 6.4

Варианти	Матеріал заготовки	Вид заготовки	Глибина різання, $t$ , мм	$D$ , мм	$L$ , мм	$R_z$ , мкм	Квалітет
1	Латунь ЛС59-1	Прокат	2,0	30	220	20	10
2	Алюмінієвий сплав АЛ9	Прокат	3,0	42	200	20	10
3	Сталь 30ХГСА	Прокат	3,5	56	300	20	10
4	Бронза БрАЖ9-	Прокат	2,5	64	360	20	10
5	Сталь 45	Поковка	3,0	92	420	40	10
6	Сталь 30ХГСА	Поковка	3,0	90	300	40	10
7	Сталь 12Х18Н9Т	Поковка	3,0	96	500	40	12
8	Сталь 20	Прокат	2,5	120	560	40	12
9	Сталь 45	Прокат	4,0	140	700	60	12
10	Сталь 40Х	Прокат	2,0	160	820	60	12

Вихідні дані до задачі 6.10

Таблиця 6.5

Варіанти	Матеріал заготовки	$d$ , мм	$L$ , мм
1	Сталь 45	6	16
2	Чавун СЧ 20	8	20
3	Чавун ВЧ 45	16	24
4	Сталь 12Х18Н9Т	24	32
5	Алюмінієвий сплав АЛ9	30	40
6	Алюмінієвий сплав АЛ9	36	56
7	Сталь 20	40	80
8	Чавун СЧ 20	42	100
9	Чавун ВЧ 45	48	120
10	Сталь 40Х	40	120

Вихідні дані до задачі 6.11

Таблиця 6.6

Варианти	Матеріал заготовки	$B$ , мм	$L$ , мм	Глибина фрезерування $t$ , мм	$RZ$ , мкм	Квалітет
1	Сталь 45	60	120	3	10	10
2	Чавун СЧ 20	66	100	5	20	10
3	Чавун ВЧ 45	88	300	5	40	10
4	Сталь 12Х18Н9Т	100	200	5	40	10
5	Сталь 12Х18Н9Т	150	200	10	40	12
6	Алюмінієвий сплав	166	400	20	60	12
7	АЛ9	180	500	25	60	12
8	Чавун СЧ 20	276	600	10	40	12
9	Сталь 20	300	600	15	60	12
10	Сталь Ст3	400	800	12	60	12

## 6.5. Розрахунок технологічної собівартості \*

Технологічною собівартістю деталі називається та частина її повної собівартості, елементи якої істотно змінюються для різноманітних варіантів технологічного процесу. До таких змінювальних елементів, відносяться:

$M_o$  – вартість вихідної заготовки;

$Z_o$  і  $Z_{в.р}$  – заробітна плата відповідно верстатника і наладчика;

$A_o$  – амортизаційні відрахування від вартості устаткування;

$A_{т.о}$  – амортизаційні відрахування від вартості технологічного устаткування;

$P_o$  – витрати на ремонт і обслуговування устаткування;

$I$  – витрати на інструмент;

$L_o$  – витрати на силову електроенергію;

$\Pi_{л}$  – витрати на амортизацію й утримання виробничих площ;

$\Pi_{р}$  – витрати на підготовку і експлуатацію програмного забезпечення (для верстатів із ЧПК).

Розрахунок вартості вихідної заготовки наведено у п. 3.1. Сума цих елементів являє собою технологічну собівартість обробки. З огляду на те, що порівнянню звичайно піддаються окремі операції (або групи операцій), оцінку варіантів доцільно виконувати порівнянням технологічної собівартості виконання операції:

$$C_{оп} = Z_o + Z_{в.р} + A_o + A_{т.о} + P_o + I + L_o + \Pi_{л} + \Pi_{р} \quad (6.22)$$

**Примітка.** \* В розділі наведена тільки методика розрахунку технологічної собівартості. Ціни на устаткування, вартість заготовок та інші фінансові витрати подано в умовних величинах.

Масштабно-цінові коефіцієнти

№ з/п	Елемент собівартості	Змішований елемент витрат	$K_{цi}$
1	Заробітна плата $Z_0$ і $Z_{в.р.}$	$H_{о.ч.}$ і $H_{н.г.}$	$K_{ц1} = 2$
2	Амортизаційні відрахування $A_0$ та $A_{т.о.}$	$\Phi$ і $\Phi_{т.о.}$	$K_{ц2} = 5$ (верстати із ЧПК) $K_{ц2} = 10$ (інші)
3	Витрати на ремонт і обслуговування устаткування	$H_m$ і $H_e$	$K_{ц3} = 5$
4	Витрати на ріжучий інструмент	$\Phi_i$	$K_{ц4} = 5$
5	Витрати на електроенергію	$\Pi_e$	$K_{ц5} = 20$
6	Витрати на виробничі площі	$H_p$	$K_{ц6} = 5$
7	Витрати на програмне забезпечення	$\chi$	$K_{ц7} = 3$
8	Середні витрати на обслуговування та експлуатацію устаткування	$H_0$	$K_{ц8} = 6$

Заробітна плата верстатника з урахуванням усіх видів доплат і нарахувань:

$$Z_0 = \frac{K_{ц1} \cdot H_{о.ч.} \cdot t_{шт.к} \cdot K_m}{60}, \quad (6.24)$$

де  $H_{о.ч.}$  – норматив годинної заробітної плати верстатника відповідного розряду, грн./год., визначається за [22, с. 429];

$t_{шт.к}$  – штучно-калькуляційний час на операцію, хв.;

$K_m$  – коефіцієнт, який враховує оплату праці основного робітника при багатоверстатному обслуговуванні. Визначають залежно від кількості обслуговуваних верстатів за такими даними:

Для кожної порівнюваної операції елементи, що входять у структуру  $C_{оп}$ , можуть бути визначені або прямим калькулюванням, або нормативним методом із використанням нормативів за статтями собівартості, віднесеними до однієї хвилини або одного часу роботи устаткування. Метод прямого калькулювання є більш трудомістким, але й більш точним методом розрахунку собівартості. Порівняння варіантів на основі мінімуму технологічної собівартості проводиться, коли порівнювані варіанти не потребують для свого виконання істотних капітальних вкладень. У протилежному випадку оцінку варіантів ведуть на основі мінімуму приведених витрат:

$$W_i = C_i + E_n \cdot K_i, \quad (6.23)$$

де  $C_i$  – технологічна собівартість виготовлення деталі (або виконання операції);

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ( $E_n = 0,12$ );

$K_i$  – питомі капітальні вкладення, віднесені на одиницю продукції.

Розрахунок капітальних вкладень може бути зроблений за [22, с. 432–437].

Методика розрахунку технологічної собівартості, викладена нижче, заснована на нормативній базі кінця 80-х років [20]. З метою приведення витрат за елементами собівартості до сучасного рівня в навчальних технологічних розрахунках рекомендується множити елемент витрат, який змінюється, на відповідний масштабний ціновий коефіцієнт  $K_{цi}$ , середні значення якого наведені в табл. 6.7 (хоча це і не завжди можливо в умовах реального виробництва).

Кількість обслуговуваних верстатів	1	2	3	4	5	6	7	8
Коефіцієнт $K_m$	1,00	0,65	0,48	0,39	0,35	0,32	0,30	0,29

Заробітна плата налагоджувальника з урахуванням усіх видів доплат і нарахувань:

$$Z_{н.р.} = \frac{K_{ц1} \cdot H_{н.р.} \cdot t_{шт.к} \cdot m}{60 \cdot k_{о.н} \cdot F_d}, \quad (6.25)$$

де  $H_{н.р.}$  – норматив річної заробітної плати налагоджувальника відповідного розряду, *грн / рік* [25, с. 429];

$m$  – кількість змін роботи верстата (приймається звичайно  $m = 2$ );

$k_{о.н}$  – кількість верстатів, які обслуговуються налагоджувальником за зміну;

$F_d$  – дійсний річний фонд часу роботи устаткування, *год.* (при двозмінному режимі роботи для верстатів із ручним управлінням  $F_d = 4015$  *год.*, а для верстатів із ЧПК – 3890 *год.*)

Амортизаційні відрахування від вартості устаткування

$$A_0 = \frac{K_{ц2} \cdot \Phi \cdot H_a \cdot t_{шт.к}}{100 \cdot 60 \cdot F_d}, \quad (6.26)$$

де  $\Phi$  – вартість устаткування, *грн.*, визначається як добуток оптової ціни  $C$  та коефіцієнта 1,122, що враховує витрати на транспортування і монтаж;

$H_a$  – загальна норма амортизаційних відрахувань, %.

Оптові ціни на стандартне устаткування визначаються згідно з прайс-листами, а норми амортизації – за [22, с. 424].

Амортизаційні відрахування від вартості технологічного оснащення, що припадають на одну деталь (при розрахунковому терміні служби 2 роки) визначаються як

$$A_{т.о} = \frac{K_{ц2} \cdot \Phi_{т.о}}{2 \cdot N_p}, \quad (6.27)$$

де  $\Phi_{т.о}$  – вартість технологічного оснащення, *грн.* (може бути визначена для серійного оснащення за прайс-листами, а для спеціального – за [22, с. 426]);

$N_p$  – річна програма випуску деталей.

Витрати на ремонт і обслуговування устаткування:

$$P_o = \frac{K_{ц3} \cdot (H_m \cdot K_m + H_e \cdot K_e) \cdot t_{шт.к}}{60 \cdot F_d \cdot K_T}, \quad (6.28)$$

де  $H_m$  і  $H_e$  – нормативи річних витрат на ремонт відповідно механічної та електричної частин устаткування, *грн. / рік* [22, с. 425];

$K_m$  і  $K_e$  – категорія складності ремонту відповідно механічної та електричної частин устаткування [22, с. 429];

$K_T$  – коефіцієнт, який залежить від класу точності устаткування [22, с. 424].

Витрати на різальний інструмент, віднесені на 1 деталь:

$$I_p = \frac{1,4 \cdot K_{ц4} \cdot \Phi_i \cdot t_{шт.к} \cdot \eta_M}{T_{ст.і}}, \quad (6.29)$$

де  $\Phi_i$  – ціна одиниці інструмента, *грн.*;

$K_{ц4}$  – коефіцієнт, який враховує витрати на переточування інструмента;

$T_{ст.і}$  – стійкість інструмента до повного спрацювання, *хв.* [19, с. 92–95];

$\eta_m$  – коефіцієнт машинного часу, зумовлений відношенням  $t_{\text{маш}} / t_{\text{шт.к}}$  [19].

Витрати на технологічну електроенергію

$$Л = \frac{K_{15} \cdot C_e \cdot N_e \cdot \eta_{з.о} \cdot t_{\text{шт.к}}}{60}, \quad (6.30)$$

де  $N_e$  – встановлена потужність електродвигунів верстата,  $\text{кВт}$ ;

$\eta_{з.о}$  – загальний коефіцієнт завантаження електродвигунів [22, с. 427];

Ціна 1  $\text{кВт} \cdot \text{год}$  електроенергії  $C_e$  приймається 0,017  $\text{грн.}$

Витрати на утримання й амортизацію виробничих площ:

$$П_{л} = \frac{K_{16} \cdot H_{п} \cdot П_{п} \cdot K_{с.к} \cdot t_{\text{шт.к}}}{60 \cdot F_{д}}, \quad (6.31)$$

де  $H_{п}$  – норматив витрат, які припадають на 1  $\text{м}^2$  виробничої площі,  $\text{грн.} / \text{м}^2$  [22, с.426];

$П_{п}$  – питома площа, що припадає на один верстат і дорівнює габаритній площі верстата [19, с. 7–57], помноженій на коефіцієнт, який враховує додаткову площу [22, с.426];

$K_{с.к}$  – коефіцієнт, який враховує площу для систем керування верстатів із ЧПК, приймається в межах 1,5–2,0.

Витрати на підготовку та експлуатацію програмного забезпечення:

$$П_{\text{пр}} = \frac{K_{17} \cdot \chi \cdot K_{в}}{N_{р} \cdot T_{д}}, \quad (6.32)$$

де  $\chi$  – вартість програми,  $\text{грн.}$  [22, с.435–436];

$K_{в}$  – коефіцієнт, який враховує потребу у відновленні програмоносія;

$T_{д}$  – термін випуску даної деталі,  $\text{років}$ .

Приймаючи  $K_{в} = 1,1$  і  $T_{д} = 3 \text{ роки}$ , отримуємо:

$$П_{\text{пр}} = \frac{0,37 \cdot K_{17} \cdot \chi}{N_{р}}, \quad (6.33)$$

Розрахунок технологічної собівартості нормативним методом може бути зроблений за методикою, викладеною в [22, с. 427–432], або з використанням таблиць, які містять усереднені величини елементів структури собівартості для верстатів різноманітних моделей [19].

При визначенні технологічної собівартості нормативним методом заробітну плату робочого і налагоджувальника розраховують за рівняннями (6.23) і (6.24), а витрати, пов'язані з утриманням і експлуатацією устаткування – за питомими витратами на 1 машино-годину роботи устаткування:

$$C_{\text{оп}} = Z_o + Z_{в.р} + \frac{K_{18} \cdot H_o \cdot K_{м.ч} \cdot t_{\text{шт.к}}}{60} \left( \frac{\text{грн.}}{\text{год.}} \right), \quad (6.34)$$

де  $H_o$  – середні витрати ( $\text{грн.} / \text{год.}$ ) на утримання та експлуатацію устаткування, що має коефіцієнт машино-годин  $K_{м.ч} = 1,0$ .

$H_o$  і  $K_{м.ч}$  визначають за [22, с. 427–432]. Для верстатів із ЧПК можна приймати  $K_{м.ч} = 4,5$  (для токарних),  $K_{м.ч} = 3,0$  (для свердильних) і  $K_{м.ч} = 4,0$  (для фрезерувальних).

При розрахунку приведених витрат капітальні вкладення в устаткування, віднесені до однієї деталі, визначаються за рівнянням:

$$K_o = \frac{K_{19} \cdot \Phi \cdot t_{\text{шт.к}}}{60 \cdot F_{д}}, \quad (6.35)$$

**Задача 6.12.** В існуючих на ділянці умовах виробництва можливі два варіанти обробки зовнішніх поверхонь шпинделя: 1 – на універсальному токарно-гвинторізному верстаті; 2 – на токарному верстаті з ЧПК. За вихідними даними (табл. 6.8) визначити найбільш економічний варіант для двох випадків: 1) обидва верстати є на ділянці; 2) необхідне придбання верстатів. Режим роботи – двозмінний, річна програма випуску шпинделів – 120 шт.

Вихідні дані до задачі 6.12

Дані	Варіант	
	1	2
Модель верстата	16K20	16K20Ф3
Штучно-калькуляційний час $t_{шт.к}, хв$	120	58,4
Розряд верстатника	5	3
Розряд налагоджувальника	–	5
Кількість верстатів, які обслуговуються за зміну:		
верстатником, шт.	1	2
налагоджувальником, шт.	–	7
Дійсний річний фонд часу роботи верстата, год.	4015	3890

Таблиця 6.8

**Розв'язання.** 1) При наявності на ділянці верстатів вибір варіанта робимо відповідно до технологічної собівартості обробки (6.22). Для розрахунку елементів собівартості необхідні додаткові дані, які визначаємо за [19, 22]:

Дані для розрахунку	16K20	16K20Ф3
Оптова ціна верстата $C, грн.$	5450	24400
Маса верстата, кг	2835	4000
Розміри верстата в плані, мм	2505×1190	3360×1710
Площа верстата в плані, м <sup>2</sup>	3,0	5,75
Встановлена потужність електродвигунів $N_e, кВт$	11,0	10,0
Категорія ремонтної складності:		
механічної частини, $K_m$	11,0	14
електричної частини $K_e$	8,5	26

Розрахунок елементів технологічної собівартості зручно вести у формі таблиці (табл. 6.9).

Таблиця 6.9  
Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн. (до задачі 6.12)

Елемент	Рівняння для розрахунку	Варіант	
		16K20	16K20Ф3
Заробітна плата верстатника	(6.24)	$\frac{2 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 1}{60} = 8$	$\frac{2 \cdot 1,61 \cdot 58,4 \cdot 0,65}{60} = 2,04$
Заробітна плата налагоджувальника	(6.25)	–	$\frac{2 \cdot 3311 \cdot 58,4 \cdot 2}{60 \cdot 7 \cdot 3890} = 0,47$
Відрахування на амортизацію обладнання	(6.26)	$\frac{1,122 \cdot 10 \cdot 5450 - 11,6 \cdot 120}{60 \cdot 4015 \cdot 100} = 3,53$	$\frac{1,122 \cdot 5 \cdot 24400 - 11,6 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890 \cdot 100} = 3,94$
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	(6.28)	$\frac{5 \cdot (30,8 - 11 + 7,3 \cdot 85) \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 1$	$\frac{5 \cdot (30,8 \cdot 14 + 7,3 \cdot 26) \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 0,7$
Витрати на електроенергію	(6.30)	$\frac{20 \cdot 0,012 \cdot 11 \cdot 0,26 \cdot 120}{60} = 1,37$	$\frac{20 \cdot 0,012 \cdot 10 \cdot 0,21 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 0,49$
Амортизація та утримання приміщення	(6.31)	$\frac{5 \cdot 10 \cdot 3 \cdot 3,5 \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 0,26$	$\frac{5 \cdot 10 \cdot 5,75 \cdot 3 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 0,22$
Витрати на програмне забезпечення	(6.33)	–	$\frac{3 \cdot 0,37 \cdot 18 \cdot 6}{120} = 0,17$
Технологічна собівартість		14,17	8,11

**Примітка.** Витрати на технологічне оснащення  $A_{т.о}$  та інструмент  $I$  однакові для обох варіантів, тому їх із розрахунку виключаємо.

Розрахунок собівартості нормативним методом ведемо за рівнянням (6.23). Для верстата 16K20 приймаємо  $K_{м.ч} = 1,0$  [22, с. 429], для верстата 16K20Ф3  $K_{м.ч} = 4,5$ . При двозмінному режимі роботи в умовах дрібносерійного виробництва  $H_0 = 0,312$  грн./год. [22, с. 431].

Тоді:

$$C_{оп1} = 8 + \frac{6 \cdot 0,312 \cdot 1 \cdot 120}{60} = 11,78 \text{ (грн.)},$$

$$C_{оп2} = 2,04 + 0,47 \frac{6 \cdot 0,312 \cdot 4,5 \cdot 58,4}{60} = 10,71 \text{ (грн.)}$$

2) При потребі придбання верстатів, у зв'язку зі значною різницею по капітальних вкладеннях, порівнювані варіанти оцінюємо за приведеними витратами (6.23 і 6.34):

$$K_{о1} = \frac{1,122 \cdot 10 \cdot 5450 \cdot 120}{60 \cdot 4015} = 30,46 \text{ (грн.)},$$

$$K_{о2} = \frac{1,122 \cdot 5 \cdot 24400 \cdot 58,4}{60 \cdot 3890} = 34,25 \text{ (грн.)},$$

$$W_1 = 14,17 + 0,12 \cdot 30,46 = 17,82 \text{ (грн.)},$$

$$W_2 = 8,11 + 0,12 \cdot 34,25 = 12,20 \text{ (грн.)}.$$

Результати розрахунків показують економічну доцільність обробки шпинделя на верстаті з ЧПК при обох умовах, які поставлені у задачі.

**Задача 6.13.** Токарна обробка зовнішніх поверхонь деталей проводиться на різноманітних верстатах. Визначити найбільш економічний варіант при двозмінному режимі роботи. Вихідні дані наведені в табл. 6.10.

**Задача 6.14.** Згідно діючого технологічного процесу контур і отвори плоскої заготовки обробляють за розміткою відповідно на вертикально-фрезерувальному і радіально-свердлувальному верстатах. Визначити доцільність обробки цих поверхонь на верстатах із ЧПК. Режим роботи – двозмінний. Річна програма випуску – 200 шт. деталей. Вихідні дані наведені в табл. 6.11.

**Задача 6.15.** Обробка отворів у фланці проводиться на радіально-свердлувальному верстаті з використанням

кондуктора. Визначити доцільність обробки отворів на свердлувальному верстаті з ЧПК. Вихідні дані наведені в табл. 6.12. Річна програма випуску фланців – 1500 шт. деталей.

Таблиця 6.10

Вихідні дані до задачі 6.13

Дані	Варіанти завдань					
	1		2		3	
	Варіанти оброблювання					
	1	2	1	2	1	2
Модель верстата	16Б16А	16Б16Ф3	1Г340	1К282	1Н713	1Б290П-6
Штучно-калькуляційний час обробки, хв.	14,0	8,0	8,4	2,2	3,6	0,9
Розряд виконуваної роботи	5	3	3	2	3	2
Розряд налагоджувальника	–	5	4	5	4	5
Кількість верстатів, які обслуговуються за зміну:						
верстатником, шт.	1	2	1	2	2	3
налагоджувальником, шт.	–	6	8	3	5	5
Річний фонд часу роботи верстата, год.	4015	3890	4015	4015	4015	4015
Річна програма випуску, шт.	1000	1000	5000	5000	30000	30000

Вихідні дані до задачі 6.14

Таблиця 6.11

Дані	Варіанти обробки			
	1	2		
Модель верстата	Розміточна плита	1P11	2M55	ЛФ260МФ3
Штучно-калькуляційний час оброблювання, хв.	15	20	15	15
Розряд виконуваної роботи	6	6	4	3
Розряд налагоджувальника	—	—	—	6
Кількість верстатів, які обслуговуються за зміну:	—	1	1	2
Річний фонд часу роботи верстата, год.	—	4015	4015	3899

Вихідні дані до задачі 6.15

Таблиця 6.12

Дані	Варіанти обробки	
	1	2
Модель верстата	2M55	2P135Ф2-1
Штучно-калькуляційний час оброблювання, хв.	21	13
Розряд виконуваної роботи	4	3
Розряд налагоджувальника	—	5
Кількість верстатів, які обслуговуються за зміну:	1	2
Річний фонд часу роботи верстата, год.	4015	3890
Собівартість кондуктора, грн.	120	—

**Задача 6.16.** В умовах великосерійного виробництва можливі два варіанти обробки заготовки шестерні до зубообробки. Перший варіант передбачає послідовну диференційовану обробку отвору зенкеруванням і протягуванням, а зовнішніх поверхонь – багаторізцевим точінням на одношпиндельному токарному напівавтоматі. Згідно другого варіанту обробка всіх поверхонь може бути

виконана на вертикальному токарному багатошпиндельному напівавтоматі. Режим роботи – двозмінний. Річна програма випуску – 12000 шт. деталей. Вихідні дані наведені в табл. 6.13. Визначити нормативним методом технологічну собівартість обробки; приведені витрати за варіантами обробки; річний економічний ефект при реалізації оптимального варіанту.

Вихідні дані до задачі 6.16

Таблиця 6.13

Дані	Варіанти обробки			
	1	2		
Модель верстата	2H150	7656	1H713	1B284
Штучно-калькуляційний час обробки, хв.	2,2	0,6	2,1	2,5
Розряд верстатника	2	2	2	2
Розряд налагоджувальника	4	4	4	5
Кількість верстатів, які обслуговуються за зміну:	1	1	2	2

## РОЗДІЛ 7 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ

### 7.1. Статистичні методи оцінки якості виробів

У виробництві при аналізі та контролі якості виробів найчастіше необхідно вирішувати такі завдання:

визначати показники якості на підставі статистичного опрацювання вибірок з оцінкою достовірності отриманих значень методом довірчих інтервалів (ГОСТ 27. 202-83) (див. задачі 7.1 – 7.2);

порівнювати показники якості з заданими значеннями або між собою за допомогою перевірки статистичних гіпотез (див. задачі 7.3 – 7.8);

визначати закони розподілу показників якості з перевіркою відповідності дослідженого розподілу з теоретичним, виконувати аналіз точності опрацювання методом побудови кривих розподілу (див. задачі 7.9 – 7.11);

забезпечувати виготовлення виробів без браку (визначення ймовірного браку, а також кількості виробів, що потребують допрацювання, див. задачі 7.12 – 7.15), для вирішення чого необхідно припустити, що розподіл показника якості підпорядковується нормальному закону;

коректувати технологічні процеси в ході виробництва за допомогою вибіркового контролю показників якості, виконувати аналіз точності обробки з використанням контрольних карт середніх арифметичних значень, розмахів і середніх квадратичних відхилень (див. задачі 7.16 – 7.19); як показник ефективності контрольних карт застосовують середню довжину серії налагодженого  $L_0$  (розлагодженого  $L_1$ ) процесу, тобто середню кількість серій (вбірок), необхідну для виявлення зміни середнього значення досліджуваного показника якості.

**Задача 7.1.** Визначити середнє значення параметра шорсткості  $R_a$  і середнє квадратичнє відхилення  $S_R$  (для кожної із миттєвих вибірок, а також для усіх вибірок) за результатами вимірів шліфованих поверхонь валів (табл.

7.1). Задаючись довірчою можливістю  $\gamma$ , визначити довірчі інтервали для розмірів  $R_a$  і  $S_R$ .

Таблиця 7.1  
Значення параметра шорсткості  $R_a$  (мкм) шліфованих поверхонь валів  
(до задачі 7.1)

Номер деталі у вибірці	Номер вибірки				
	1	2	3	4	5
1	0,75	0,68	0,79	0,63	0,60
2	0,78	0,72	0,70	0,63	0,65
3	0,76	0,64	0,62	0,80	0,70
4	0,60	0,70	0,65	0,82	0,75
5	0,61	0,81	0,74	0,72	0,80

**Задача 7.2.** Визначити середнє квадратичнє відхилення  $S_R$  параметра шорсткості  $R_a$  методом розмахів за даними задачі 7.1.

**Задача 7.3.** На токарному напівавтоматі виготовляють втулку. З партії втулок взято вибірку обсягом  $n = 20$  і обмірено їх зовнішні діаметри. За результатами вимірів підраховані середній діаметр  $\bar{d} = 60,12$  мм і середнє квадратичнє відхилення  $s = 0,32$  мм. Напівавтомат налагоджений на розмір  $d_0 = 60$  мм. Перевірити точність налагодження верстата.

**Задача 7.4.** Похибка закріплення  $\varepsilon_z$  у пневматичному пристосуванні характеризується середнім квадратичним відхиленням  $\sigma = 0,224$  мкм. Пристосування було удосконалено для стабілізації сили закріплення. Похибки закріплення на новому пристосуванні такі: 0,6; 0,5; 0,4; 0,5; 0,3 мкм.

Чи можна вважати удосконалення ефективним?

**Задача 7.5.** На двох верстатах виготовляють втулки. Результати вимірів 10 деталей, виготовлених на 1-му верстаті, і 8 деталей, виготовлених на 2-му верстаті, такі:

$d_1 = 30,02; 30,12; 30,24; 30,18; 30,20; 30,08; 30,16; 29,98; 30,00; 29,96$  мм.

$d_2 = 30,02; 30,04; 30,06; 30,08; 30,05; 30,24; 29,98; 30,10$  мм.

Перевірити припущення про те, що верстати мають різну точність.

**Задача 7.6.** За результатами виміру діаметрів п'ятьох валів, оброблених на токарному напівавтоматі, відразу після налагодження верстата і через деякий проміжок часу отримані такі значення вибірових середніх  $\bar{d}_1 = 30,01$  мм,  $\bar{d}_2 = 30,042$  мм і дисперсій  $s_1^2 = 0,001$  мм<sup>2</sup>,  $s_2^2 = 0,004$  мм<sup>2</sup>. Визначити, чи змінився налагоджуваний розмір.

**Розв'язання.** Перевіряємо гіпотезу про рівність вибірових дисперсій  $H_0: s_1^2 = s_2^2$  за допомогою критерію Фішера (додаток 5). Оскільки на прийнятому рівні значимості  $\alpha = 0,05$

$$F = \frac{s_2^2}{s_1^2} = \frac{0,004}{0,001} = 4 < F_{\alpha(f_2; f_1)} = F_{0,05(4; 4)} = 6,39,$$

рівень точності верстата не змінювався, то гіпотеза про рівність дисперсій приймається.

Обчислюємо середньозважену дисперсію

$$s^2 = \frac{((n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2)}{(n_1 + n_2 - 2)} = \frac{((5 - 1) \cdot 0,001 + (5 - 1) \cdot 0,004)}{(5 + 5 - 2)} = 0,0025 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (7.1)$$

із  $f = (n_1 + n_2 - 2) = 5 + 5 - 2 = 8$  ступеннями свободи.

Середнє квадратичне відхилення  $s = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,0025} = 0,05$  (мм). Перевіряємо за допомогою критерію Ст'юдента гіпотезу про рівність середніх  $H_0: \bar{d}_1 = \bar{d}_2$  (додаток 4). Гіпотеза про рівність середніх приймається тому, що:

$$t = \frac{|\bar{d}_1 - \bar{d}_2|}{s \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{|30,01 - 30,042|}{0,05 \cdot \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}} = 1,01 < t_{1-\frac{\alpha}{2}; f} = t_{1-\frac{0,05}{2}; 8} = 2,31. \quad (7.2)$$

Отже, налагоджуваний розмір за даний проміжок часу не змінився.

Якщо вибірові дисперсії виявляться неоднорідними, варто обчислити значення критерія

$$T = \frac{v_1 \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}; f_1} + v_2 \cdot t_{1-\frac{\alpha}{2}; f_2}}{\sqrt{v_1 + v_2}}, \quad (7.3)$$

$$\text{де } v_1 = \frac{s_1^2}{n_1} \text{ і } v_2 = \frac{s_2^2}{n_2}.$$

Різницю між вибіровими середніми можна вважати значимою (на рівні значимості  $\alpha$ ), якщо

$$|\bar{d}_1 - \bar{d}_2| > T.$$

**Задача 7.7.** За даними задачі 7.5 визначити, чи істотно відрізняються налагоджувані розміри верстатів.

**Задача 7.8.** Порівняти середні значення найбільшої висоти профілю шорсткості  $R_{\max}$  шліфованих поверхонь валів на двох технологічних режимах залежно від рівня значимості  $\alpha$ , обсягу  $n$  миттєвих вибірок і дисперсії  $s_2$  (табл. 7.2).

**Задача 7.9.** За результатами (табл. 7.3) вимірів лінійних розмірів валів від базового торця до уступу, оброблених на токарному напівавтоматі, побудувати емпіричну гістограму і полігон розподілу. Перевірити

припущення про те, що розподіл розмірів підпорядковується нормальному закону. Визначити параметри такого розподілу.

Вихідні дані до задачі 7.8

Таблиця 7.2

Варіант	Рівень значимості $\alpha$	Обсяг вибірки		Шорсткість, мкм		Дисперсія, мкм <sup>2</sup>	
		$n_1$	$n_2$	$\bar{R}_{max1}$	$\bar{R}_{max2}$	$s_1^2$	$s_2^2$
1	0,01	5	10	12,0	9,6	0,8	4,2
2	0,05	5	10	12,0	9,6	0,8	4,2
3	0,05	8	8	12,5	10,0	1,2	3,4
4	0,05	12	12	12,5	10,0	1,2	3,4
5	0,01	20	8	18,0	14,2	1,2	2,8

**Задача 7.10.** За результатами вимірів (табл. 7.4) шліфованих шийок валів діаметром  $\varnothing 80 f7_{-0,06}^{-0,03}$  перевірити припущення про те, що розподіл розмірів підпорядковується закону Гаусса.

**Задача 7.11.** За даними задачі 7.9 визначити, по якому якості точності може бути виконана токарна обробка валів, якщо номінальний розмір від базового торця до уступу дорівнює 28; 52 і 185 мм.

Відхилення лінійних розмірів валів (до задач 7.9 і 7.11)

Таблиця 7.3

№ рядка	Вибірка №1				Вибірка №2			
	1	+0,04	+0,07	+0,01	-0,03	-0,06	-0,04	-0,03
2	+0,05	+0,05	+0,01	-0,02	-0,12	-0,06	+0,04	-0,05
3	+0,04	+0,03	-0,04	-0,05	+0,02	-0,05	-0,02	-0,06
4	+0,07	+0,02	-0,05	-0,05	+0,02	-0,01	-0,01	-0,09
5	-0,01	+0,01	-0,01	-0,06	-0,04	-0,04	-0,05	+0,05
6	-0,02	-0,05	+0,04	-0,07	-0,04	-0,02	-0,12	-0,07
7	+0,06	-0,09	-0,05	+0,06	-0,05	-0,04	-0,01	-0,10
8	-0,04	-0,04	-0,03	+0,02	-0,03	-0,07	-0,06	+0,02
9	0,09	-0,06	-0,04	+0,02	-0,07	-0,09	-0,09	+0,13
10	-0,08	-0,05	0,00	-0,04	-0,01	-0,01	+0,02	+0,04
11	-0,09	-0,07	-0,04	+0,13	-0,09	+0,06	-0,01	+0,01
12	-0,01	-0,11	+0,04	+0,04	+0,05	-0,05	+0,04	-0,05
13	-0,04	-0,09	-0,04	-0,09	+0,01	+0,04	-0,01	-0,03

Закінчення таблиці 7.3

№ рядка	Вибірка №1				Вибірка №2			
	14	-0,08	-0,10	-0,07	-0,09	+0,01	-0,02	-0,04
15	-0,07	+0,04	-0,12	-0,08	-0,01	-0,12	-0,03	-0,08
16	-0,14	-0,01	-0,14	+0,03	-0,03	-0,06	-0,02	-0,02
17	-0,05	+0,03	-0,06	-0,04	-0,01	-0,15	+0,03	-0,01
18	-0,08	+0,07	-0,01	-0,03	-0,07	-0,05	+0,04	-0,01
19	-0,04	+0,05	-0,07	-0,08	-0,02	-0,07	+0,01	0,00
20	-0,05	-0,02	-0,13	-0,11	-0,03	+0,04	-0,01	+0,03
21	-0,04	+0,02	-0,03	-0,12	-0,08	-0,06	-0,04	-0,04
22	-0,03	+0,09	+0,05	-0,01	-0,08	+0,01	-0,02	-0,05
23	-0,06	-0,02	-0,01	-0,07	+0,08	-0,01	-0,03	-0,09
24	-0,07	+0,02	-0,08	+0,04	+0,01	-0,04	0,00	-0,05
25	-0,01	+0,04	-0,04	+0,07	+0,02	-0,06	+0,01	0,00

Таблиця 7.4

Частота  $m$  повторюваності обмірюваних розмірів (до задачі 7.10)

Діаметр вала, мм	Варіанти				
	1	2	3	4	5
80,057	1	2	3	4	3
80,052	2	1	2	3	3
80,050	5	5	7	9	7
80,047	12	14	12	10	8
80,043	30	28	18	24	30
80,040	33	28	23	31	28
80,038	20	22	30	23	18
80,034	9	10	12	8	10
80,031	7	7	6	5	8
80,029	0	1	4	2	2
80,024	1	2	3	1	3

**Задача 7.12.** Визначити, чи можливо обробити на токарному напівавтоматі вали діаметром  $\varnothing 40_{-0,25}$  мм із заданим відхиленням, якщо вибіркове середнє та середнє квадратичне відхилення обчислені за результатами вимірів 20 деталей:  $\bar{d} = 39,88$  мм і  $s = 0,025$  мм.

**Задача 7.13.** На револьверному верстаті обробляють партію валів 300 шт діаметром  $\varnothing 30_{-0,1}$  мм. За результатами вимірів пробних валів розміри середнього і середнього квадратичного відхилення становлять  $\bar{d} = 29,97$  мм і  $s = 0,019$  мм відповідно. Визначити кількість придатних і бракованих деталей.

**Розв'язання.** Інтервал розсіювання розмірів оброблюваних валів щодо вибіркового середнього (у припущенні, що їх розподіл підпорядковується закону Гаусса)

$$\Delta d = \pm k \cdot s = \pm 3 \cdot 0,019 = \pm 0,057 \text{ (мм)}.$$

З розташування поля розсіювання фактичних розмірів валів стосовно поля допуску очевидно, що частина розмірів валів (область розмірів  $F_2$ ) буде виходити за допустимий найбільший розмір (рис. 7.1).

Вся площа під кривою розподілу (в разі підпорядкування закону Гаусса) дорівнює 1, половина її становить 0,5.

$$\text{Тоді } F_2 = 0,5 - F_1 = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz = 0,5 - \Phi(z), \quad (7.4)$$

де  $\Phi(z)$  – функція Лапласа (додаток 6).

В аналізованому випадку

$$z = \frac{\Delta_2}{s} = \frac{d_{\text{нб}} - \bar{d}}{s} = \frac{30 - 29,977}{0,019} = 1,58. \quad (7.5)$$

Тоді  $\Phi(z) = \Phi(1,58) = 0,44$  і  $F_2 = 0,5 - \Phi(z) = 0,5 - 0,44 = 0,06$ , тобто 6% деталей (18 шт.) будуть бракованими, брак піддається виправленню.

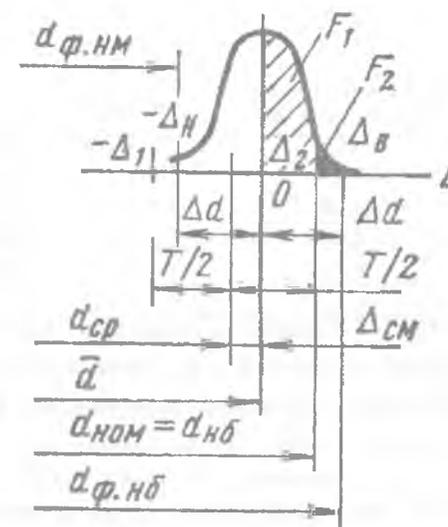


Рис. 7.1. Розподіл розмірів валів (до задач 7.13 і 7.14)

**Задача 7.14.** Визначити кількість придатних деталей, обсяг виправного та невиправного браку при обробці на токарному напівавтоматі партії 450 шт. валів діаметром  $\varnothing 40_{-0,16}$  мм, якщо середнє квадратичне відхилення  $s$  і  $\Delta_{\text{зм}} = \bar{d} - d_{\text{сп}}$  (див. рис. 7.1), обчислені за результатами вимірів пробних валів, мають значення, наведені в табл. 7.5.

**Задача 7.15.** Визначити кількість придатних деталей, обсяг виправного та невиправного браку при розточуванні отворів діаметром  $\varnothing 130_{-0,1}$  мм у партії 200 шт. корпусних деталей, якщо середнє квадратичне відхилення за результатами виміру пробних деталей склало  $s = 0,026$  мм і зміщення кривої розподілу розмірів щодо середини поля допуску не відбувається.

Таблиця 7.5

Вихідні дані (до задачі 7.14)

Варіант	Середнє квадратичне відхилення $s$ , мм	Величина зміщення $\Delta_{зм}$ , мм
1	0,03	-0,02
2	0,03	+0,02
3	0,04	-0,02
4	0,04	0,00
5	0,04	+0,02

**Задача 7.16.** У процесі шліфування плоских деталей зроблено 24 вибірки обсягом  $n = 4$  з інтервалом у 20 хв. За результатами виміру параметра шорсткості  $R_{max}$  знайдені його середні значення  $\bar{R}_{max}$  і фактичні поля розсіювання (розмахи)  $\omega$ , які наведені в табл. 7.6. Побудувати контрольні карти середніх арифметичних значень і розмахів. Розрахувати межі регулювання, якщо аналізований процес шліфування характеризується середнім квадратичним відхиленням  $\sigma = 0,1$  мкм.

Таблиця 7.6

Зміна середніх значень параметра шорсткості  $\bar{R}_{max}$  і фактичних полів його розсіювання (розмахів)  $\omega$  при шліфуванні плоских заготовок (до задач 7.16 і 7.17)

№ вибірки	$\bar{R}_{max}$ , мкм	$\omega$ , мкм	№ вибірки	$\bar{R}_{max}$ , мкм	$\omega$ , мкм	№ вибірки	$\bar{R}_{max}$ , мкм	$\omega$ , мкм
1	10,03	0,16	9	10,04	0,27	17	10,08	0,24
2	10,07	0,28	10	9,2	0,41	18	10,02	0,02
3	10,05	0,14	11	9,95	0,20	19	10,01	0,18
4	10,05	0,35	12	9,98	0,16	20	9,99	0,08
5	9,98	0,18	13	10,02	0,09	21	10,03	0,25
6	9,88	0,28	14	10,00	0,05	22	9,98	0,17
7	10,01	0,22	15	9,98	0,25	23	10,06	0,31
8	9,99	0,10	16	9,94	0,08	24	10,02	0,28

**Задача 7.17.** За даними задачі 7.16 визначити моменти правки шліфувального круга (у припущенні, що зміна висотного параметра шорсткості пов'язана зі спрацюванням робочої поверхні шліфувального круга).

**Задача 7.18.** Вибрати план контролю і розрахувати межі регулювання (із застосуванням контрольних карт середніх арифметичних значень і розмахів) процесу розточування отворів діаметром  $\varnothing 130,05 \pm 0,05$  мм у корпусних деталях, якщо процес розточування характеризується середнім квадратичним відхиленням  $\sigma = 0,01$  мм, а середні довжини налагодженого і розлагодженого процесів відповідно рівні  $L_0 = 20$  і  $L_1 = 1,18$ .

## 7.2. Розрахунок сумарної похибки обробки

Всі похибки, що визначають точність обробки деталей машин на металорізальних верстатах, можуть бути розділені на 3 категорії:

- 1) похибка установа заготовок -  $\varepsilon_y$ ;
- 2) похибки налагодження верстата -  $\Delta_n$ ;
- 3) похибки, що викликаються безпосередньо процесом обробки, до яких відносяться:

а) похибки від розмірного спрацювання різальних інструментів -  $\Delta_i$ ;

б) похибки від пружних деформацій технологічної системи під впливом сили різання -  $\Delta_y$ ;

в) похибки обробки через геометричні неточності верстата  $\sum \Delta_{гв}$ ;

г) похибки обробки, викликані температурними деформаціями технологічної системи -  $\sum \Delta_T$ .

При обробці на верстатах із ЧПК додатково виникають похибки позиціонування елементів системи і відпрацювання програм керування.

Розрахунок точності необхідний в основному для операцій чистової обробки, виконуваних із допусками за 6-11-м квалітетами.

Сумарні похибки при обробці деталей на налагоджених верстатах визначають за рівняннями:

для діаметральних розмірів

$$\Delta_{\Sigma} = 2\sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_n^2 + (1,73\Delta_n)^2 + (1,73\sum \Delta_{ct})^2 + (1,73\sum \Delta_t)^2}; \quad (7.6)$$

для лінійних розмірів

$$\Delta_{\Sigma} = 2\sqrt{\varepsilon_y^2 + \Delta_y^2 + \Delta_n^2 + (1,73\Delta_n)^2 + (1,73\sum \Delta_{ct})^2 + (1,73\sum \Delta_t)^2}. \quad (7.7)$$

Розрахунок похибки діаметральних розмірів при однорізцевому точінні може бути виконаний за методикою, викладеною в [21, с. 26 – 76].

Після визначення сумарної похибки  $\Delta_{\Sigma}$  перевіряється можливість обробки без браку:

$$\Delta_{\Sigma} \leq T_d, \quad (7.8)$$

де  $T_d$  – допуск на обробку.

У випадку недотримання цієї умови необхідно запропонувати конкретні заходи щодо зниження  $\Delta_{\Sigma}$ .

Розрахунок похибки обробки на фрезерних верстатах проводиться з урахуванням похибки установки  $\varepsilon_y$ , яка може бути визначена за [21, с. 40–55] або розрахована за відповідними залежностями для конкретної схеми установлювання (див. п. 7.1).

При обробці площин на фрезерних верстатах похибка  $\Delta_y$ , викликана пружними деформаціями технологічної системи, залежить від колювання розміру припуску і податливості системи "шпindelь-стіл". У зв'язку з тим, що подача при обробці здійснюється столом верстата, податливість системи  $W$  не змінюється при зміні відносного положення заготовки і фрези (тобто  $W = const$ ). У той же час податливість фрезерних оправок і заготовок при чистовій обробці порівняно мала. Тому податливість технологічної системи  $W$  при розрахунках приймається сталою і рівною податливості системи „шпindelь-

стіл"  $W_{ш.с.}$ , величину якої можна визначити, наприклад, за [21, с. 28–38].

Максимальне  $P_{Zmax}$  і мінімальне  $P_{Zmin}$  – складові зусилля фрезерування – визначаються за [22, с. 282] при максимально і мінімально можливих глибинах різання  $t$ , ширині  $B$  і прийнятих умовах фрезерування.

Сумарна похибка  $\sum \Delta_{cm}$ , викликана геометричними неточностями верстата, може бути визначена за [21, с. 53–70]. Похибка  $\Delta_1$ , викликана розмірним зносом фрез, визначається за [21, с. 73–74]. У зв'язку з переривчастим характером процесу різання, при фрезеруванні величина відносного спрацювання більша, ніж при точінні; її визначають за рівнянням:

$$u_{0\text{ фр}} = \frac{1+100}{B} \cdot u_0, \quad (7.9)$$

де  $B$  – ширина фрезерування, мм;

$u_0$  – відносне спрацювання, мкм/мм ( $u_0$  для твердосплавних фрез вибирається за [21, табл. 28];  $u_0$  для швидкокорізальних фрез приймають рівним 15–20 мкм/мм).

Довжина шляху різання  $L_{т.фр.}$  (км), при торцевому фрезеруванні партії деталей:

$$L_{т.фр.} = \frac{l_n \cdot B \cdot N}{S_{пв} \cdot 10^6}, \quad (7.10)$$

при циліндричному фрезеруванні

$$L_{ц.фр.} = \frac{\pi \cdot D_{фр} \cdot l_n \cdot N}{S_{пв} \cdot 10^6}, \quad (7.11)$$

де  $l_n$  і  $B$  – довжина та ширина оброблюваної поверхні, мм;

$D_{фр}$  – діаметр фрези, мм;

$S_{пв}$  – повздовжня подача інструмента або деталі, мм/об;

$N$  – кількість деталей в оброблюваній партії, шт.

Похибки  $\Delta_n$  і  $\Delta_r$  визначаються так, як і при обробці на токарних верстатах.

Методика розрахунку елементарних і сумарних похибок на верстатах із ЧПК принципово не відрізняється від методики розрахунку точності обробки на верстатах звичайного типу. Проте сумарна похибка складається з більшої кількості елементарних похибок. До додаткових похибок, як відомо, можна віднести:

$\Delta_{п.с.}$  – похибка позиціонування супорта; величина її може бути прийнята рівною двом дискретам приводу подач по відповідній координаті;

$\Delta_{п.р.}$  – похибка позиціонування різцедержавки (інструментальної голівки або блока); у сучасних верстатах із ЧПК вона не перевищує 6–8 мкм;

$\Delta_{кор}$  – похибка відпрацювання корекції (у випадку роботи з коректорами), рівна чисельно двом дискретам приводу подач по відповідній координаті.

Водночас, при роботі з коректором із розрахунку  $\Delta_\Sigma$  може бути виключена систематична похибка від розмірного спрацювання інструмента  $\Delta_i$ , в програму можна ввести періодичну корекцію положення інструмента; при розрахунку похибки розмірного налагоджування  $\Delta_n$  можна виключити регульовальну складову  $\Delta_{рег}$ , тому що вона враховується похибкою корекції  $\Delta_{кор}$ .

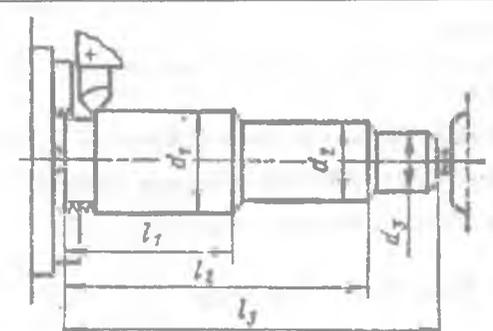
У зв'язку з більш жорсткою конструкцією податливість верстатів із ЧПК може бути прийнята в 2–4 рази меншою, ніж в аналогічних верстатах із ручним керуванням, тобто  $W_{в.чпк} = 0,33 W_{в.руч.кер.}$

**Задача 7.19.** Шийки  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  вала (табл. 7.7) оброблюються чистовим точінням у центрах гідрокопіювального верстата мод. 1Н713 з допуском IT10. Визначити для варіанта 1 сумарну похибку обробки шийки  $d_2$ . Заготовки вала зі сталі 45 на попередній операції

оброблені чорновим точінням за IT13. Умови обробки: різець із пластиною з твердого сплаву T15K6 має  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 10^\circ$ ; мінімальний припуск – 0,5 мм на сторону, подача  $S = 0,15$  мм / об; швидкість різання  $V = 130$  м / хв.

Таблиця 7.7

Вихідні дані до задач 7.19 і 7.20



Варіант	Розміри, мм						Межа міцності матеріалу деталі $\sigma_B, \text{МПа}$	Припуск на обробку $Z_{\text{min}}, \text{мм}$	Кількість заготовок у партії $N, \text{шт.}$
	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$l_1$	$l_2$	$l_3$			
1	40	30	25	100	150	225	750	0,5	30
2	100	85	75	100	250	325	1100	1,0	15
3	120	90	65	120	300	450	750	1,0	10
4 ✓	80	75	50	150	280	400	750	0,8	20
5	60	50	45	80	180	250	1100	0,6	25
6	50	45	35	100	150	200	750	0,6	30

**Розв'язання.** 1. Визначимо похибку  $\Delta_i$  (на радіус), викликану розмірним спрацюванням різця, за [21, с. 73–74]:

$$\Delta_n = \frac{L + L_0}{1000} \cdot u_0 = \frac{4631 + 1000}{1000} \cdot 6 = 33,8 \text{ (мкм)}, \quad (7.12)$$

де  $L$  – довжина шляху різання при обробці партії  $N$  деталей:

$$L = \frac{\pi[d_1 \cdot l_1 + d_2 \cdot (l_2 - l_1) + d_3 \cdot (l_3 - l_2)] \cdot N}{1000 \cdot S} = \frac{\pi[40 \cdot 100 + 30 \cdot (150 - 100) + 25 \cdot (225 - 150)] \cdot 30}{1000 \cdot 0,15} = 4631 \text{ (м)}$$

Додатковий шлях різання ( $L_0 = 1000 \text{ м}$ ) відповідає початковому спрацюванню вершини різця в період припрацювання.

Для сплаву Т15К6 відносно спрацювання  $u_0 = 6 \text{ мкм/км}$  [21, с. 74].

2. Визначимо пружні коливання системи  $\Delta_y$  внаслідок зміни сили  $P_y$  через непостійність глибини різання і податливість системи при обробці. Відповідно до [24, с. 27]:

$$\Delta_y = W_{\max} \cdot P_{y \max} - W_{\min} \cdot P_{y \min}, \quad (7.13)$$

де  $W_{\max}$  і  $W_{\min}$  – найбільша і найменша податливості системи;

$P_{y \max}$  і  $P_{y \min}$  – найбільше і найменше значення складової сили різання.

Для верстата 1Н713 нормальної точності найбільше і найменше допустимі переміщення повздовжнього супорта під навантаженням  $16 \text{ кН}$  становлять відповідно  $450 \text{ мкм}$  і  $320 \text{ мкм}$  [21, с. 30]. При установленні вала в центрах мінімальна податливість системи буде мати місце при положенні різця наприкінці обробки, тобто біля передньої бабки верстата. Виходячи з цього, можна прийняти  $W_{\min} = 320 / 16 = 20 \text{ (мкм/кН)}$ . Зі значною вірогідністю можна вважати, що максимальну податливість система має при розташуванні різця посередині вала, коли його прогин під дією зусилля  $P_y$  є найбільшим. Тому  $W_{\max} = W_{\text{в. max}} + W_{\text{заг. max}}$ , де  $W_{\text{ст. max}} = (320 + 450) / 2 \cdot 16 = 24 \text{ (мкм/кН)}$  – найбільша податливість заготовки.

Вал у центрах можна уявити як балку на двох опорах, навантажену зосередженою силою, з найбільшим прогином – посередині вала:

$$y_{\text{д. max}} = \frac{P_y \cdot l_{\text{д}}^3}{48 \cdot E \cdot J}, \quad (7.14)$$

де  $l_{\text{д}}$  – довжина вала;

$E$  – модуль пружності матеріалу;

$J = 0,05 \cdot d_{\text{пр}}^4$  – момент інерції поперечного перерізу вала;

$d_{\text{пр}}$  – приведений діаметр вала; для гладких валів  $d_{\text{пр}} = d_{\text{вала}}$ ; для ступінчастих валів з одностороннім зменшенням діаметрів шийок

$$d_{\text{пр}} = \frac{\sum_1^n d_i \cdot l_i}{\sum_1^n l_i}, \quad (7.15)$$

для валів із двостороннім зменшенням діаметрів шийок

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n d_i^2 \cdot l_i}{\sum_1^n l_i}}. \quad (7.16)$$

Маючи на увазі, що  $W = \frac{y}{P_y}$ , після відповідних перетворень отримаємо:

$$W_{\text{заг. max}} = \frac{2}{d_{\text{пр}}} \left( \frac{l_{\text{д}}}{d_{\text{пр}}} \right)^3 \quad (7.17)$$

При консольному встановленні деталі в патроні:

$$W_{\text{заг. max}} = \frac{32}{d_{\text{пр}}} \left( \frac{l_{\text{д}}}{d_{\text{пр}}} \right)^3 \quad (7.18)$$

Приведений діаметр оброблюваної заготовки

$$d_{\text{пр}} = \frac{40 \cdot 100 + 30 \cdot 50 + 25 \cdot 75}{225} = 32,8 \text{ (мм)},$$

а її найбільша податливість

$$W_{\text{заг. max}} = \frac{2}{32,8} \cdot \left( \frac{225}{32,8} \right)^3 = 20 \text{ (мкм / кН)}.$$

Тоді максимальна податливість технологічної системи

$$W_{\text{max}} = 24 + 20 = 44 \text{ (мкм / кН)}.$$

Найбільша  $P_{y \text{ max}}$  і найменша  $P_{y \text{ min}}$  нормальні складові зусилля різання визначаються відповідно до [22, с. 271–275] на підставі умови задачі. На попередній операції (чорнове точіння) заготовка оброблена з допуском за IT13, тобто можливе коливання припуску на розмір  $\frac{1}{2} (IT13 - IT10)$ , що для діаметра  $\varnothing 32,8 \text{ мм}$  ставить  $\frac{1}{2} (0,39 - 0,1) \approx 0,15 \text{ (мм)}$ , а коливання глибини різання і складових сил різання буде:

$$t_{\text{min}} = 0,5 \text{ мм}; \quad t_{\text{max}} = 0,5 + 0,15 = 0,65 \text{ (мм)};$$

$$P_{y \text{ max}} = 2,43 \cdot 0,65^{0,9} \cdot 0,15^{0,6} \cdot 130^{-0,3} = 0,123 \text{ (кН)};$$

$$P_{y \text{ min}} = 2,43 \cdot 0,5^{0,9} \cdot 0,15^{0,6} \cdot 130^{-0,3} = 0,097 \text{ (кН)}.$$

Колівання оброблюваного розміру внаслідок пружних деформацій:

$$\Delta_y = 44 \cdot 0,123 - 20 \cdot 0,097 = 3,5 \text{ (мкм)}.$$

3. Визначимо похибку  $\sum \Delta_{\text{см}}$ , викликану геометричними неточностями верстата. Відповідно до [21, с. 53–55]

$$\sum \Delta_{\text{см}} = \frac{C \cdot l}{L},$$

де  $C$  – допустиме відхилення від паралельності осі шпинделя напрямних станини в площині виконуваного розміру на довжині  $L$ ;

$l$  – довжина оброблюваної поверхні.

Для токарних верстатів нормальної точності при найбільшому діаметрі оброблюваної поверхні до 250 мм  $C = 20 \text{ мкм}$  на довжині  $L = 300 \text{ мм}$  [21, табл. 23]. При довжині обробки  $l = 50 \text{ мм}$

$$\sum \Delta_{\text{см}} = \frac{20 \cdot 50}{300} = 3,3 \text{ (мкм)}.$$

4. У припущенні, що налагодження різця на виконуваний розмір проводиться по еталону з контролем положення різця за допомогою металевого щупа, визначимо похибку регулювання відповідно до [24, с. 70–73]

$$\Delta_{\text{н}} = \sqrt{(K_p \cdot \Delta_p)^2 + \left( K_b \frac{\Delta_b}{2} \right)^2}, \quad (7.19)$$

де  $\Delta_p$  – похибка регулювання положення різця;

$\Delta_b$  – похибка вимірювання розміру деталі;

$K_p = 1,73$  і  $K_b = 1,0$  – коефіцієнти, що враховують відхилення величин  $\Delta_p$  і  $\Delta_b$  від нормального закону розподілу.

Для заданих умов обробки [21, с. 71–72]  $\Delta_p = 10 \text{ мкм}$  і  $\Delta_b = 15 \text{ мкм}$  при вимірюванні  $d_2 = 30 \text{ мм}$ . Тоді похибка налагодження:

$$\Delta_n = \sqrt{(1,73 \cdot 10)^2 + \left(15 \cdot \frac{1}{2}\right)^2} = 19 \text{ (мм)}.$$

5. Визначимо температурні деформації технологічної системи, прийнявши їх у межах 15 % від суми решти похибок [21, с. 76]:

$$\sum \Delta_T = 0,15 \cdot (3,8 + 3,5 + 3,3 + 19) = 9 \text{ (мкм)}.$$

6. Визначимо сумарну похибку обробки за рівнянням (7.6):

$$\Delta_\Sigma = 2 \cdot \sqrt{3,5^2 + 19^2 + (1,73 \cdot 3,3)^2 + (1,73 \cdot 9)^2} = 127 \text{ (мкм)},$$

вона перевищує задану величину допуску на  $d = 30 \text{ мм}$  ( $T_d = 84 \text{ мкм}$ ).

У випадку, коли чистове точіння є операцією, що передуює подальшому шліфуванню поверхні  $\varnothing 30$ , перевищення поля розсіювання над полем допуску операційного розміру чистового точіння можна зневажити, оскільки це перевищення викликає тільки коливання припуску на шліфування в межах  $0,011 \text{ мм}$ , тобто  $\pm 3 \%$ . Якщо ж операція чистового точіння є остаточною, то необхідним є обов'язкове виконання умови роботи без браку, тобто забезпечення

$$\Delta_\Sigma \leq ITd_2.$$

Аналіз елементарних похибок показує, що найбільш дійовим заходом для зменшення сумарної похибки розміру  $d_2$  є зниження похибки від розмірного спрацювання різця  $\Delta_1$ . Цього можна досягти:

– застосуванням більш стійкого проти зношення твердого сплаву (наприклад, замість Т15К6 застосувати сплав Т30К4, що має майже в 2 рази менший відносний знос) або відповідним зниженням режимів різання при використанні сплаву Т15К6;

– зменшенням розміру партії деталей, оброблюваних у міжналагоджувальний період (скорочення довжини шляху різання);

– використанням автопідналагоджувальників, які дозволяють періодично або постійно корегувати положення вершини різця при його спрацьованості.

**Задача 7.20.** Визначити сумарну похибку обробки шийки  $d_2$  вала (табл. 7.7) для варіантів 2–6 після чистового точіння на гідрокотуювальному верстаті при встановленні в центрах. Інші вихідні дані прийняти за умовами задачі 7.19.

**Задача 7.21.** Після якої кількості оброблених заготовок необхідно замінити зенкер із пластинками з твердого сплаву Т5К10 внаслідок його спрацювання при обробці отворів  $d = 40 \text{ Н10}$ , довжиною  $l = 60 \text{ мм}$  у заготовках із легованої сталі ( $\sigma_b = 1100 \text{ МПа}$ ). Допустиме спрацювання зенкера має бути не більшим  $0,4T_d$ ; подача при зенкеруванні  $S = 0,8 \text{ мм/об}$ .

**Розв'язання.** Похибку обробки, викликану спрацюванням інструмента, визначимо за рівнянням [21, с. 79–81]:

$$\Delta_i = u_n + u_0 \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot l \cdot N}{10^6 \cdot S}. \quad (7.20)$$

Приймаючи для спрощення  $u_n = u_0$ , отримаємо

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

де  $u_n$  – початкове спрацювання,  $\text{мкм/км}$ ;

$u_0$  – відносне спрацювання, ;

$d$  і  $l$  – діаметр і довжина обробки відповідно, мм;

$N$  – кількість оброблених поверхонь, шт.;

$S$  – подача інструмента, мм/об.

Відповідно до [21, с. 74] для заданих умов  $u_0 = 12$  мкм/км,  $u_n = u_0 = 12$  мкм/км (що відповідає 1000 м шляху різання).

З огляду на те, що  $IT10 = 0,1$  мм, а допустиме спрацювання має бути не більшим 0,4 його величини, визначимо допустиме спрацювання кожного з протилежних зубів зенкера. Воно не має перевищувати  $\Delta_1 = 0,1 \cdot 0,4 / 2 = 0,02$  мм. З рівняння для  $\Delta$ , отримуємо:

$$N = \frac{(\Delta_n - \Delta_0) \cdot S \cdot 10^6}{u_0 \cdot \pi \cdot d \cdot l} = \frac{(0,02 - 0,012) \cdot 0,8 \cdot 10^6}{0,012 \cdot \pi \cdot 40 \cdot 60} = 70,6 \text{ (шт.)} \quad (7.21)$$

Тобто, заміну зенкера необхідно робити після обробки 70 заготовок.

**Задача 7.22.** Визначити розмір конусності гладкого вала діаметром  $d$  і довжиною  $l$ , викликану розмірним спрацюванням різця при чистовому точінні з подачею  $S$  (табл. 7.8).

Вихідні дані до задачі 7.22

Дані	Варіант				
	1	2	3	4	5
$d$ , мм	50	80	100	120	150
$l$ , мм	500	700	850	1000	1400
$S$ , мм/об	0,1	0,15	0,15	0,2	0,2
Матеріал деталі	Легована сталь		Вуглецева сталь		Сірий чавун
Матеріал інструмента	T15K6	T30K4	T30K4	T15K6	BK6

**Задача 7.23.** Визначити величину конусності циліндричної втулки, викликану розмірним спрацюванням різця при чистовому розточуванні з подачею  $S$  отвору діаметром  $d$  і довжиною  $l$  (табл. 7.9).

Вихідні дані до задачі 7.23

Таблиця 7.9

Дані	Варіант				
	1	2	3	4	5
$d$ , мм	60	100	150	200	300
$l$ , мм	200	300	400	500	700
$S$ , мм/об	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2
Матеріал деталі	Легована сталь		Вуглецева сталь		Сірий чавун
Матеріал інструмента	T15K6	T30K4	BK8	BK3	BK8

**Задача 7.24.** Визначити різницю значень діаметрів першої та останньої заготовок у партії, викликану розмірним спрацюванням різця при чистовому точінні з подачею  $S$  гладких валів діаметром  $d$  і довжиною  $l$  з вуглецевої сталі (табл. 7.10).

Вихідні дані до задачі 7.24

Таблиця 7.10

Дані	Варіант				
	1	2	3	4	5
$d$ , мм	40	50	60	75	85
$l$ , мм	200	300	350	400	500
$S$ , мм/об	0,075	0,1	0,125	0,15	0,2
Матеріал інструмента	T15K6	T30K4	T15K6	T30K4	T30K4
Розмір партії $N$ , шт.	25	20	15	10	8

**Задача 7.25.** Через яку кількість оброблених заготовок варто робити підналагоджування різця внаслідок його спрацювання при розточуванні з подачею  $S$  отворів діаметром  $d$  і довжиною  $l$  у партії втулок з вуглецевої сталі, якщо допуск на діаметр отвору  $IT_d$ , а допустиме спрацювання різця становить  $0,3IT_d$  (табл. 7.11).

Таблиця 7.11  
Вихідні дані до задачі 7.25

Дані	Варіант				
	1	2	3	4	5
$d$ , мм	60	100	150	200	300
$l$ , мм	200	300	400	500	700
$S$ , мм / об	0,075	0,075	0,15	0,075	0,15
$IT_d$ , мм / об	H8	H9	H10	H7	H9
Матеріал інструмента	T30K4	T30K4	T15K6	T30K4	T15K4

**Задача 7.26.** Через яку кількість оброблених заготовок необхідно робити зміну розверток внаслідок їх спрацювання при розвертуванні отворів діаметром  $d$  та довжиною  $l$  у чавунних корпусах при допуску на отвір H7 і допускному спрацюванні розвертки  $0,5IT_d$  (табл. 7.12)? Відносне спрацювання для розвертки прийняти рівним  $u_0 = 5$  мкм / км.

Таблиця 7.12  
Вихідні дані до задачі 7.26

Дані	Варіант				
	1	2	3	4	5
$d$ , мм	20	40	60	80	100
$l$ , мм	30	60	80	80	100
$S$ , мм / об	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5
Кількість отворів у корпусі	12	10	8	8	8

**Задача 7.27.** Визначити похибку  $\Delta_y$ , що виникає внаслідок пружних деформацій технологічної системи при чистовому точінні партії гладких валів (консольна установка в цанзі або патроні) (табл. 7.13). Точіння проводиться твердосплавними різцями з  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 10^\circ$ . Режими обробки:  $V = 100$  м / хв.,  $S = 0,20$  мм / об.

**Задача 7.28.** За даними задачі 7.27 визначити похибку обробки, викликану геометричною неточністю верстатів  $\sum \Delta_{см}$ .

Таблиця 7.13  
Вихідні дані до задачі 7.27 і 7.28

Дані	Варіант				
	1	2	3	4	5
Межа міцності матеріалу заготовки $\sigma_y$ , МПа					
$d$ , мм	750	1100	750	1100	1100
$l$ , мм	20	25	30	35	35
	60	75	90	100	100
Верстат	Токарний багатопшпindelний горизонтальний автомат		Токарно-револьверний автомат	Токарно-револьверний	
Глибина різання $t$ , мм	$0,15^{+0,15}$	$0,15^{+0,15}$	$0,2^{+0,15}$	$0,2^{+0,15}$	$0,2^{+0,15}$

**Задача 7.29.** Визначити сумарну похибку розміру  $h$  при чистовому торцевому фрезеруванні партії заготовок для варіанта 1 (табл. 7.14).

Заготовки, попередньо оброблені в розмір із точністю  $h13$ , встановлюють на опорні пластини пристрою з пневматичним затискачем. Глибина різання  $t_{min} = 1,2$  мм,  $S_z = 0,05$  мм / зуб і  $V = 120$  м / хв. Налаштовують фрезу, контролюючи положення металевим щупом товщиною 3 мм.

**Розв'язання.** 1. Визначимо похибку встановлення заготовки  $\varepsilon_y$ . Для заданих умов за [21, с.70]  $\varepsilon_y = 40$  мкм.

2. Визначимо похибку налагоджування фрези на розмір  $h$  відповідно до [21, с.70]:

$$\Delta_n = \sqrt{(K_p \cdot \Delta_p)^2 + (K_n \cdot \Delta_b)^2} = \sqrt{(1,73 \cdot 10)^2 + (1 \cdot 20)^2} = 26,5 \text{ (мкм)},$$

де  $K_p$  і  $K_n$  – коефіцієнти, що враховують відхилення закону розподілу розмірів  $\Delta_p$  і  $\Delta_b$  від нормального;

$\Delta_p$  – похибка регулювання фрези за еталоном при контролюванні металевим щупом [21, с.71];

$\Delta_b$  – гранична допускна похибка вимірювання розміру  $45h10$  [21, с.72].

3. Визначимо розмірне спрацювання інструмента при торцевому фрезеруванні, прийнявши до уваги рівняння (7.4):

$$\begin{aligned} \Delta_t &= u_{0 \text{ т.фр.}} \cdot L_{\text{фр}} = \left(1 + \frac{100}{e}\right) \cdot u_0 \cdot \frac{l_n}{10^6 \cdot S_z \cdot Z} = \\ &= \left(1 + \frac{100}{100}\right) \cdot 6 \cdot \frac{300 \cdot 100 \cdot 40}{10^6 \cdot 0,05 \cdot 12} = 24 \text{ (мкм)}, \end{aligned} \quad (7.22)$$

де  $S_{\text{пр}} = S_z \cdot Z$  – повздовжня подача столу верстата, мм / об ;

$u_0$  – відносне спрацювання при точінні [21, с.74].

4. Визначимо похибку  $\Delta_y$ . Поле розсіювання розміру  $45h10$  під дією пружних деформацій залежить від коливання осьової складової сили різання  $P_x$  при зміні величини припуску і податливості системи "шпindel-стіл". Відповідно до [21, с. 32] для верстата 6P12 (ширина стола 320 мм) податливість технологічної системи може бути визначена як

$$W = \frac{y}{P_x} = \frac{500}{12,25} = 40 \text{ (мм / кН)}. \quad (7.23)$$

Прийнявши  $\frac{P_x}{P_z} = 0,5$  [22, с. 292], відповідно до [22, с. 282]

визначимо

$$P_x = 0,5 \cdot P_z = 0,5 \cdot \frac{N_r \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w}. \quad (7.24)$$

З огляду на те, що  $n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{\text{фр}}} = \frac{1000 \cdot 120}{\pi \cdot 150} = 255 \text{ (хв.}^{-1}\text{)}$  і,

приймавши коефіцієнти і показники степеня за [22, с. 291], визначаємо  $P_{x \text{ max}}$  і  $P_{x \text{ min}}$ :

$$P_{x \text{ min}} = \frac{8,25 \cdot 1,2^{1,0} \cdot 0,05^{0,75} \cdot 100^{1,1} \cdot 1,2}{150^{1,3} \cdot 255n^{0,5}} = 0,46 \text{ (кН)}.$$

Оскільки показник при  $t$  дорівнює 1,0, то

$$P_{x \text{ max}} = \frac{t_{\text{max}}}{t_{\text{min}}} \cdot P_{x \text{ min}} = \frac{1,6}{1,2} \cdot 0,46 = 0,61 \text{ (кН)}. \quad (7.25)$$

Тоді

$$\Delta_y = W \cdot (P_{x \text{ max}} - P_{x \text{ min}}) = 40 \cdot (0,61 - 0,46) = 6 \text{ (мкм)}.$$

5. Похибка, викликана геометричними неточностями фрезерного верстата нормальної точності, являє собою відхилення від паралельності верхньої поверхні основи на довжині 300 мм і відповідно до [21, с. 59]  $\sum \Delta_{cm} = 25 \text{ мкм}$ .

6. Похибку  $\sum \Delta_T$  від температурних деформацій системи приймаємо в розмірі 10 % від суми інших похибок:

$$\sum \Delta_T = 0,1 \cdot (40 + 26,5 + 24 + 6 + 25) = 12 \text{ (мкм)}.$$

7. Сумарна похибка відповідно до формули (7.7):

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(1 \cdot 40)^2 + (1 \cdot 6)^2 + (1 \cdot 26,5)^2 + (1,73 \cdot 24)^2 + (1,73 \cdot 25)^2 + (1,73 \cdot 12)^2} = 72 \text{ (мкм)}.$$

Задана точність забезпечується, тому що  $IT10_{45} = 100 \text{ мкм} > \Delta_{\Sigma} = 72 \text{ мкм}$ .

**Задача 7.30.** На консольно-фрезерному верстаті проводиться чистове торцеве фрезерування партії  $N$  заготовок (табл. 7.14). Заготовки, попередньо оброблені з точністю  $H13$ , встановлюються на опорні пластини пристрою з пневматичним затискачем. Для умов обробки, що відповідають варіантам 2–6, визначити сумарну похибку розміру  $h$  після виконання операції при  $V = 150 \text{ мм/хв}$ . і  $S_z = 0,04 \text{ мм/зуб}$ . Налаштування фрези також проводиться по габариту, положення її контролюється металевим щупом, товщина якого 3 мм.

**Задача 7.31.** За умовами задачі 7.19 визначити сумарну похибку обробки шийки  $d_2$  (табл. 7.7) при чистовому точінні на верстаті з ЧПК 1713Ф3.

**Розв'язання.** 1. Похибка  $\Delta_i$  може бути прийнята рівною нулю, тому що розмірне спрацювання компенсується за програмою корекції положення різця.

2. Визначимо похибку  $\Delta_y$ , викликану пружними деформаціями технологічної системи. Розрахунок аналогічний розрахунку цієї похибки обробки на гідрокопіювальному верстаті (див. рішення задачі 7.19) з урахуванням того, що податливість

$$W_{1713\Phi7} = 0,33W_{1713}.$$

$$W_{max} = W_{max \text{ ст}} + W_{max \text{ заг}} = 0,33 \cdot 24 + 20 = 28 \text{ (мкм / кН)};$$

$$W_{min} = 0,33 \cdot 20 = 7 \text{ (мкм / кН)}.$$

Прийнявши із розв'язання задачі 7.19 значення  $P_{y \text{ max}} = 0,144 \text{ кН}$  і  $P_{y \text{ min}} = 0,095 \text{ кН}$ , визначаємо

$$\Delta_y = 28 \cdot 0,144 - 7 \cdot 0,095 = 3,7 \text{ (мкм)}.$$

3. Визначимо похибку  $\sum \Delta_{cm}$ , викликану геометричними неточностями верстата. Приймаємо за результатами розв'язання задачі  $\sum \Delta_{cm} = 3,3 \text{ мкм}$ .

4. Визначимо похибку налагоджування. З урахуванням того, що похибка регулювання  $\Delta_{рег} = 0$ , можна прийняти, що  $\Delta_n$  дорівнює половині похибки вимірювання діаметра  $30H10$ , тобто

$$\Delta_n = \frac{1}{2} \cdot \Delta_{\sigma} = \frac{1}{2} \cdot 15 = 7,5 \text{ (мкм)}.$$

5. Похибку, що викликається температурними деформаціями, приймаємо за результатами розв'язання задачі 7.19 ( $\sum \Delta_T = 9 \text{ мкм}$ ).

6. Для верстата 1713Ф3 розмір дискрети переміщень по осі  $X$  дорівнює 5 мкм. У зв'язку з цим приймаємо:

- похибка позиціонування супорта  $\Delta_{п.с} = 10 \text{ мкм}$ ;
- похибка позиціонування різцетримача  $\Delta_{п.р} = 7 \text{ мкм}$ ;
- похибка відпрацьовування корекції  $\Delta_{к.вр} = 10 \text{ мкм}$ .

7. Визначимо сумарну похибку, прийнявши  $K_7 = K_8 = K_9 = 1$ , оскільки похибки  $\Delta_{п.с}$ ,  $\Delta_{п.р}$  і  $\Delta_{к.вр}$  є випадковими розмірами:

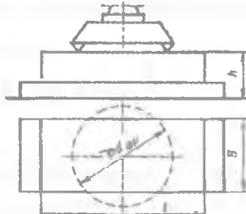
$$\begin{aligned} \Delta_{\Sigma} &= 2\sqrt{(K_2 \cdot \Delta_y)^2 + (K_3 \cdot \Delta_n)^2 + (K_5 \cdot \sum \Delta_{\sigma})^2 + (K_6 \cdot \sum \Delta_{\tau})^2} + \\ &+ \sqrt{(K_7 \cdot \sum \Delta_{п.с})^2 + (K_8 \cdot \sum \Delta_{п.р})^2 + (K_9 \cdot \sum \Delta_{к.вр})^2} = 2\sqrt{(0,3,7)^2} + \\ &+ \sqrt{(1 \cdot 7,5)^2 + (1,73 \cdot 3,3)^2 + (1,73 \cdot 9)^2 + (1 \cdot 10)^2 + (1 \cdot 7)^2 + (1 \cdot 10)^2} = \\ &= 50 \text{ (мкм)}. \end{aligned}$$

Таким чином, в основному за рахунок компенсації розмірного спрацювання різця шляхом корекції його положення на верстаті 1713Ф3 порівняно з верстатом 1713, забезпечується сумарна похибка обробки, в 2,5 раза менша.

**Задача 7.32.** За даними задачі 7.20 визначити сумарну похибку обробки шийки  $d_2$  вала після чистового точіння на верстаті з ЧПК.

Таблиця 7.14

Вихідні дані до задач 7.29. і 7.30



Дані	Варіант					
$h$	45h10	32h11	55h11	100h11	150h11	200h11
$B$	100	100	150	150	200	250
$l$	300	250	250	300	350	450

Дані	Варіант					
	Сталь вуглецева, $\sigma_y = 750 \text{ МПа}$		Чавун сірий, НВ 190	Чавун ковкий НВ 315		Чавун сірий НВ 190
Матеріал деталі						
Розмір партії $N$ , шт.	40	50	35	35	30	20
$D_{фр}$	150	160	200	250		320
Кількість зубів фрези $Z$	12	10	12	14		18
Матеріал різальної частини фрези	Т15К6		ВК8	ВК6		ВК8
Верстат	6Р12		Консольно-фрезерний			
Ширина столу верстата, мм	320		200	250	320	400

### 7.3. Забезпечення якості поверхні деталей машин

Зовнішній прошарок деталі, що має макро- і мікровідхилення від ідеальної геометричної форми і змінні фізико-хімічні властивості порівняно з властивостями основного матеріалу, називають поверхневим прошарком. Він формується при виготовленні й експлуатації і в глибину може складати від десятих долей мікрметра до декількох міліметрів. Поверхневий прошарок характеризується геометричними показниками та фізико-хімічними властивостями [21, 24].

Під геометричними показниками розуміють макровідхилення, хвилястість, шорсткість і субшорсткість [6]. У даному розділі буде приділена увага деяким параметрам шорсткості за ГОСТ 2789-73.

Що стосується фізико-хімічних властивостей поверхневого прошарку, то для прикладних задач використовують низку параметрів, які оцінюють стан металу і розміри зони. Це пов'язано з переважним впливом цієї частини поверхневого прошарку на експлуатаційні показники деталей машин, а також

із тим, що сумарна товщина зон 1, 2 і 3, як правило, па декілька порядків менша зони 4.

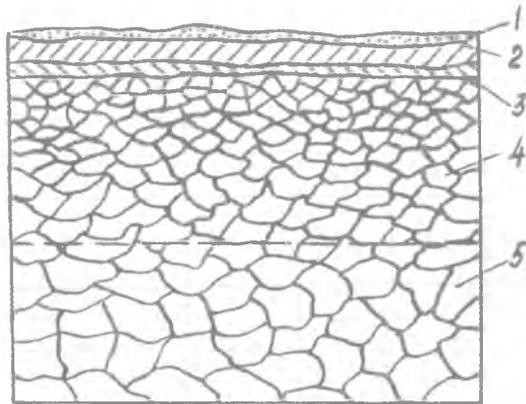


Рис. 7.2. Схема поверхневого прошарку деталі:  
1 - адсорбована зона; 2 - зона оксидів; 3 - гранична зона; 4 - зона металу зі зміненою твердістю, структурою, фазовим і хімічним складом;  
5 - основний метал

Параметри шорсткості поверхні для різноманітних умов обробки можна визначати за емпіричними залежностями, достовірність яких обмежується факторними простором, досліджуванним у процесі експерименту.

Зокрема, при чистовій обробці середньовуглецевих сталей точінням різцями марки Т15К6 середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$  можна визначити за [21]:

$$R_a = 0,85 \cdot \frac{t^{0,31} \cdot S^{0,58} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_0^{0,4}}{V^{0,06} \cdot r^{0,66} \cdot HB^{0,05}} \text{ (мкм)}, \quad (7.24)$$

де  $t$  - глибина різання, мм;

$S$  - подача, мм / об;

$\varphi$  і  $\varphi_0$  - головний і допоміжний кути в плані, град.;

$V$  - швидкість різання, м / хв.;

$r$  - радіус при вершині різця, мм;

$HB$  - твердість за Брінелем.

При алмазному точінні різцями з композита 01 загартованих сталей [6]:

$$R_a = 0,16 \cdot \frac{R_{a \text{ пр}}^{0,037} \cdot S^{0,59} \cdot (90 + \gamma)^{0,66}}{V^{0,19} \cdot \rho_{\text{кр}}^{0,29} \cdot r^{0,09}}, \quad (7.25)$$

де  $R_{a \text{ пр}}$  - попередня шорсткість, мкм;

$\gamma$  - передній кут різця, град.;

$\rho_{\text{кр}}$  - радіус округлення головної різальної кромки, мм.

Наведені залежності дозволяють як прогнозувати очікувану шорсткість поверхні, так і визначати елементи режимів обробки та геометричні параметри інструментів відповідно до заданих значень шорсткості.

**Задача 7.33.** Визначити очікувану шорсткість поверхні при точінні середньовуглецевої сталі твердістю 180 НВ різцем із Т15К6 з геометричними параметрами:  $\varphi = 60^\circ$ ,  $\varphi_1 = 30^\circ$ ,  $r = 0,8$  мм; і режимами різання:  $t = 1,2$  мм,  $S = 0,12$  мм / об,  $V = 80$  м / хв.

**Розв'язання:** Підставляючи вихідні дані в залежність (7.24), отримаємо:

$$R_a = \frac{0,85 \cdot 1,2^{0,31} \cdot 0,12^{0,58} \cdot 60^{0,4} \cdot 30^{0,4}}{80^{0,06} \cdot 0,8^{0,66} \cdot 180^{0,05}} \approx 3,65 \text{ мкм}.$$

**Задача 7.34.** Визначити очікувану шорсткість поверхні при точінні середньовуглецевої сталі різцем Т15К6 для умов, наведених у табл. 7.15.

**Задача 7.35.** Визначити необхідну подачу при чистовому точінні середньовуглецевої сталі різцями Т15К6 за умови забезпечення шорсткості поверхні  $R_a = 3$  мкм. Умови обробки:  $t = 1$  мм,  $V = 100$  м / хв,  $\varphi = 60^\circ$ ,  $\varphi_1 = 30^\circ$ ,  $r = 1$  мм, 200 НВ.

**Розв'язання:** З формули (7.24) визначимо  $S$ :

$$S = \left( \frac{R_a \cdot V^{0,06} \cdot r^{0,66} \cdot HB^{0,05}}{0,85 \cdot t^{0,31} \cdot \varphi^{0,4} \cdot \varphi_1^{0,4}} \right)^{1,72}$$

Підставляючи вихідні дані, отримуємо  $S \approx 0,13 \text{ мм / об}$ .

Дані до задачі 7.34

Таблиця 7.15

Вари- анти	$t$ , мм	$S$ , мм / об	$V$ , м / хв	$\varphi^\circ$	$\varphi_1^\circ$	$r$ , мм	$HB$
1	0,5	0,12	100	60	25	1,5	180
2	0,5	0,12	120	60	25	1,5	210
3	0,5	0,12	120	60	35	1,5	210
4	0,5	0,08	120	60	35	1,5	210
5	0,8	0,08	120	60	35	1,5	210
6	1,5	0,08	120	50	35	2,0	210
7	1,5	0,08	150	50	35	2,0	160
8	1,5	0,08	150	50	30	2,0	160
9	1,5	0,18	150	50	30	2,0	160
10	0,5	0,18	150	50	30	2,0	160
11	1,0	0,18	150	75	30	0,5	160
12	1,0	0,18	80	75	30	0,5	140
13	1,0	0,18	80	75	25	0,5	140
14	1,0	0,10	80	75	25	0,5	140
15	1,2	0,10	80	75	25	0,5	140
16	0,8	0,10	80	45	25	1,2	140
17	0,8	0,10	140	45	25	1,2	200
18	0,8	0,10	140	45	35	1,2	200
19	0,8	0,16	140	45	35	1,2	200
20	1,5	0,16	140	45	35	1,2	200
21	1,2	0,16	140	70	35	1,8	200
22	1,2	0,16	60	70	35	1,8	190
23	1,2	0,16	60	70	30	1,8	190
24	1,2	0,14	60	70	30	1,8	190
25	0,5	0,14	60	70	30	1,8	190

**Задача 7.36.** Визначити необхідну подачу при чистовому точінні середньовуглецевої сталі різцями T15K6 для умов, наведених у табл. 7.16.

Дані до задачі 7.36

Таблиця 7.16

Вари- анти	$R_a$ , мкм	$t$ , мм	$V$ , м / хв	$\varphi^\circ$	$\varphi_1^\circ$	$r$ , мм	$HB$
1	1,5	1,5	180	60	35	1,0	180
2	1,5	1,5	140	60	35	1,5	180
3	1,5	1,5	140	75	30	1,5	180
4	1,5	0,5	140	75	30	1,5	180
5	2,0	0,5	140	45	30	1,5	180
6	2,0	0,5	140	60	30	1,5	210
7	2,0	0,5	120	60	30	2,0	210
8	2,0	0,5	120	50	30	2,0	210
9	2,0	1,0	120	50	25	2,0	210
10	2,0	1,0	120	60	25	2,0	210
11	3,0	1,0	120	75	25	2,0	160
12	3,0	1,0	100	75	25	1,0	160
13	3,0	1,0	100	75	25	0,5	160
14	3,0	0,8	100	75	35	0,5	160
15	3,0	0,8	100	60	35	0,5	160
16	2,5	0,8	100	45	35	0,5	140
17	2,5	0,8	160	45	35	2,0	140
18	2,5	0,8	160	45	35	1,2	140
19	2,5	1,2	160	45	30	1,2	140
20	2,5	1,2	160	60	30	1,2	140
21	1,25	1,2	160	70	30	1,2	200
22	1,25	1,2	140	70	30	0,5	200
23	1,25	1,2	140	70	30	1,8	200
24	1,25	1,4	140	70	25	1,8	200
25	1,25	1,4	140	45	25	1,8	200

**Задача 7.37.** Визначити необхідний радіус при вершині  $r$  різця T15K6 при чистовому точінні середньовуглецевої сталі твердістю 180 HB для умов, наведених у табл. 7.17.

**Задача 7.38.** Визначити очікувану шорсткість поверхні після тонкого точіння загартованої сталі 45 різцями з

композита 01 для умов, наведених у табл. 7.18. Попередню шорсткість установити за відповідним варіантом з табл. 7.15.

Таблиця 7.17

Дані до задачі 7.37

Варіанти	$R_a$ , мкм	$t$ , мм	$V$ , м / хв	$\varphi^\circ$	$\varphi_1^\circ$	$S$ , мм / об
1	2,0	1,5	180	60	35	0,16
2	2,0	1,5	180	60	35	0,08
3	2,0	1,5	140	60	35	0,08
4	2,0	1,5	140	60	30	0,08
5	2,0	0,5	140	60	30	0,08
6	1,5	0,5	140	50	30	0,08
7	1,5	0,5	140	50	30	0,12
8	1,5	0,5	100	50	30	0,12
9	1,5	0,5	100	50	25	0,12
10	1,5	1,0	100	50	25	0,12
11	1,25	1,0	100	75	25	0,12
12	1,25	1,0	100	75	25	0,18
13	1,25	1,0	160	75	25	0,18
14	1,25	1,0	160	75	35	0,18
15	1,25	0,8	160	75	35	0,18
16	3,0	0,8	160	45	35	0,18
17	3,0	0,8	160	45	35	0,10
18	3,0	0,8	140	45	35	0,10
19	3,0	0,8	140	45	30	0,10
20	3,0	1,2	140	45	30	0,10
21	2,5	1,2	140	70	30	0,10
22	2,5	1,2	140	70	30	0,16
23	2,5	1,2	120	70	30	0,16
24	2,5	1,2	120	70	25	0,16
25	2,5	1,4	120	70	25	0,16

З фізико-хімічних параметрів найбільше практичне застосування знайшли ті, що характеризують наклеп поверхневого прошарку, тому що вони мають істотний вплив на експлуатаційні властивості. Наклеп поверхневого прошарку оцінюють, як правило, двома кількісними показниками:

говщиною  $h_n$  (мкм) і ступенем наклепу  $U_n$  (%), який визначається наступним чином:

$$U_n = \left( \frac{H_{\mu_0} - H_{\mu_{вих}}}{H_{\mu_{вих}}} \right) \cdot 100, \quad (7.26)$$

де  $H_{\mu_0}$  – поверхнева мікротвердість;

$H_{\mu_{вих}}$  – вихідна мікротвердість матеріалу.

Характеризувати наклеп поверхневого прошарку можна і більш простим параметром – коефіцієнтом наклепу  $K_n = \frac{H_{\mu_0}}{H_{\mu_{вих}}}$ , що пов'язаний зі ступенем наклепу співвідношенням

$$U_n = (K_n - 1) \cdot 100. \quad (7.27)$$

Розраховувати зазначені параметри можна за допомогою як емпіричних, так і теоретичних залежностей.

Дані до задачі 7.38

Таблиця 7.18

Варіанти	$S$ , мм / об	$V$ , м / хв.	$\gamma^\circ$	$r$ , мм	$\rho_{кр}$ , мм
1	0,06	40	0	0,4	0,06
2	0,08	40	0	0,4	0,06
3	0,08	40	0	0,5	0,06
4	0,08	60	0	0,5	0,06
5	0,08	60	5	0,5	0,06
6	0,02	60	10	0,5	0,04
7	0,02	60	10	0,5	0,04
8	0,02	60	10	0,7	0,04
9	0,02	50	10	0,7	0,04
10	0,02	50	-5	0,7	0,04
11	0,04	50	-5	0,7	0,08
12	0,04	50	-5	0,4	0,08
13	0,04	50	-5	0,2	0,08
14	0,04	70	-5	0,2	0,08
15	0,04	70	5	0,2	0,08

Варианти	$S$ , мм / об	$V$ , м / хв.	$\gamma^\circ$	$r$ , мм	$\rho_{кр}$ , мм
16	0,06	70	5	0,2	0,02
17	0,06	70	5	0,7	0,02
18	0,06	70	5	0,1	0,02
19	0,06	80	5	0,1	0,02
20	0,06	80	-10	0,1	0,02
21	0,08	80	-10	0,1	0,05
22	0,08	80	-10	0,4	0,05
23	0,08	80	-10	0,8	0,05
24	0,08	40	-10	0,8	0,05
25	0,08	40	0	0,8	0,05

Для розрахунку зазначених параметрів у випадку обробки загартованих сталей різноманітної твердості різцями з мінералокераміки ВОК-60 і композита 01 можуть бути використані такі залежності:

Сталь 45 загартована

точіння мінералокерамікою ВОК-60

$$K_H = 1,62 \cdot t^{0,029} \cdot S^{0,014} \cdot V^{-0,044} \cdot r^{0,032}; \quad (7.28)$$

$$h_H = 140 \cdot t^{0,16} \cdot S^{0,014} \cdot V^{-0,091} \cdot r^{0,022}; \quad (7.29)$$

точіння композитом 01

$$K_H = 1,52 \cdot t^{0,027} \cdot S^{0,18} \cdot V^{-0,041} \cdot r^{0,028}; \quad (7.30)$$

$$h_H = 154 \cdot t^{0,147} \cdot S^{0,015} \cdot V^{-0,11} \cdot r^{0,26}; \quad (7.31)$$

Сталь 65Г загартована

точіння мінералокерамікою ВОК-60

$$K_H = 1,56 \cdot t^{0,026} \cdot S^{0,017} \cdot V^{-0,038} \cdot r^{0,029}; \quad (7.32)$$

$$h_H = 57 \cdot t^{0,028} \cdot S^{0,04} \cdot V^{-0,044} \cdot r^{0,11}; \quad (7.33)$$

точіння композитом 01

$$K_H = 1,75 \cdot t^{0,029} \cdot S^{0,016} \cdot V^{-0,04} \cdot r^{0,031}; \quad (7.34)$$

$$h_H = 62 \cdot t^{0,031} \cdot S^{0,037} \cdot V^{-0,048} \cdot r^{0,121}; \quad (7.35)$$

**Задача 7.39.** Визначити ступінь і товщину наклепу після обробки тонким точінням для умов, наведених у табл. 7.19.

Таблиця 7.19

Дані до задачі 7.39

Варианти	Матеріал заготовки	Матеріал інструмента	$t$ , мм	$S$ , мм / об	$V$ , м / хв.	$r$ , мм
1	Сталь 45 загар.	ВОК 60	0,1	0,05	150	0,6
2	Сталь 45 загар.	ВОК 60	0,1	0,05	180	0,6
3	Сталь 45 загар.	ВОК 60	0,2	0,05	180	0,6
4	Сталь 45 загар.	ВОК 60	0,2	0,16	180	0,6
5	Сталь 45 загар.	Композит 01	0,2	0,16	200	0,6
6	Сталь 65Г загар.	Композит 01	0,3	0,16	200	0,4
7	Сталь 65Г загар.	Композит 01	0,3	0,12	200	0,4
8	Сталь 65Г загар.	Композит 01	0,3	0,12	250	0,4
9	Сталь 65Г загар.	Композит 01	0,4	0,12	250	0,4
10	Сталь 65Г загар.	ВОК 60	0,4	0,14	250	0,4
11	Сталь 45 загар.	ВОК 60	0,4	0,14	120	0,8
12	Сталь 45 загар.	ВОК 60	0,5	0,14	120	0,8
13	Сталь 45 загар.	ВОК 60	0,5	0,10	120	0,8
14	Сталь 45 загар.	ВОК 60	0,2	0,10	170	0,8
15	Сталь 45 закал.	Композит 01	0,2	0,10	170	0,8
16	Сталь 65Г закал.	Композит 01	0,2	0,08	170	1,0
17	Сталь 65Г закал.	Композит 01	0,4	0,08	220	1,0
18	Сталь 65Г закал.	Композит 01	0,4	0,13	220	1,0
19	Сталь 65Г закал.	Композит 01	0,4	0,13	190	1,0
20	Сталь 65Г закал.	ВОК 60	0,4	0,09	190	1,0
21	Сталь 45 закал.	ВОК 60	0,5	0,09	190	1,2
22	Сталь 45 закал.	ВОК 60	0,5	0,09	160	1,2
23	Сталь 45 закал.	ВОК 60	0,5	0,12	160	1,2
24	Сталь 45 закал.	ВОК 60	0,3	0,12	160	1,2
25	Сталь 45 закал.	Композит 01	0,3	0,12	160	1,2

**Задача 7.40.** Визначити гранично допускну швидкість тонкого точіння загартованої сталі 45 за заданими ступенем наклепу  $U_H$  і умовами обробки, наведеними у табл. 7.20.

Таблиця 7.20

Дані до задачі 7.40

Варианти	$U_H$ , %	Матеріал інструмента	$t$ , мм	$S$ , мм / об	$r$ , мм
1	10	ВОК 60	0,2	0,12	0,4
2	10	ВОК 60	0,3	0,12	0,4
3	15	ВОК 60	0,3	0,12	0,4
4	15	композит 01	0,3	0,14	0,4
5	20	композит 01	0,4	0,14	0,4
6	20	композит 01	0,4	0,16	0,6
7	25	композит 01	0,5	0,16	0,6
8	25	ВОК 60	0,5	0,16	0,6
9	20	ВОК 60	0,5	0,10	0,6
10	20	ВОК 60	0,1	0,10	0,6
11	15	ВОК 60	0,1	0,10	0,6
12	15	композит 01	0,1	0,08	0,6
13	10	композит 01	0,2	0,08	0,8
14	10	композит 01	0,2	0,16	0,8
15	25	композит 01	0,4	0,16	0,8
16	25	ВОК 60	0,4	0,16	0,8
17	15	ВОК 60	0,4	0,16	0,8
18	15	ВОК 60	0,5	0,16	0,8
19	20	ВОК 60	0,5	0,12	1,0
20	20	композит 01	0,5	0,12	1,0
21	25	композит 01	0,3	0,12	1,0
22	25	композит 01	0,3	0,05	1,0
23	10	композит 01	0,2	0,05	1,0
24	10	ВОК 60	0,2	0,05	1,0
25	10	ВОК 60	0,2	0,09	1,0

При розрахунку параметрів стану поверхневого прошарку після обробки пластичним деформуванням (накатування роликом) використовують залежність [22]:

$$P_H = 2 \cdot h_H^2 \cdot \sigma_T \cdot m^2, \quad (7.36)$$

де  $P_H$  – зусилля накатування ( $H$ ), що забезпечує товщину наклепу  $h_H$ , мм;

$\sigma_T$  – межа плинності оброблюваного матеріалу, МПа;

$m$  – коефіцієнт, який розраховується за формулою:

$$m = 1 + 0,07 \cdot \left( \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_H} + \frac{1}{R_D}} \right), \quad (7.37)$$

де  $R$  – профільний радіус ролика, мм;

$R_H$  – половина діаметра ролика, мм;

$R_D$  – радіус оброблюваної деталі, мм.

З рівняння за заданим зусиллям  $P_H$  визначають глибину наклепу.

При алмазному вигладжуванні оптимальне зусилля, що забезпечує максимальний ступінь наклепу, стабільність процесу і стійкість інструмента, розраховують за залежністю [22]:

$$P_H = 0,13 \cdot HV \cdot \left( \frac{D \cdot R}{D + R} \right)^2, \quad (7.38)$$

де  $HV$  – твердість оброблюваного матеріалу за Віккерсом;

$D$  – діаметр оброблюваної деталі, мм;

$R$  – радіус сфери вигладжувача, мм.

**Задача 7.41.** Визначити зусилля обкатування роликом вала з нормалізованої сталі 45 ( $\sigma_T = 400$  МПа) для отримання необхідної товщини наклепу  $h_H$  за умовами обробки, наведеними у табл. 7.21.

Дані до задачі 7.41

Варіанти	Глибина наклепу $h_n, \text{мм}$	Профільний радіус ролика $R_a, \text{мм}$	Половина діаметра ролика $R_u, \text{мм}$	Радіус деталі $R_d, \text{мм}$
1	0,20	10	20	30
2	0,20	10	20	40
3	0,20	10	25	40
4	0,20	15	25	40
5	0,30	15	25	40
6	0,30	15	25	50
7	0,30	15	30	50
8	0,30	20	30	50
9	0,15	20	30	50
10	0,15	20	30	60
11	0,15	20	20	60
12	0,15	18	20	60
13	0,10	18	20	60
14	0,10	18	20	45
15	0,10	18	25	45
16	0,10	16	25	45
17	0,40	16	25	45
18	0,40	16	25	35
19	0,40	16	30	35
20	0,40	12	30	35
21	0,35	12	30	35
22	0,35	12	30	55
23	0,35	12	40	55
24	0,35	10	40	55
25	0,2	10	40	55

**Задача 7.42.** Визначити очікувану товщину наклепу при обкатуванні латунного плунжера ( $\sigma_T = 330 \text{ МПа}$ ) для умов обробки, наведених у табл. 7.22.

**Задача 7.43.** Розрахувати необхідне зусилля при алмазному вигладжуванні деталі зі сталі ШХ15, термообробленої до відповідної твердості, для умов, наведених у табл. 7.23.

Таблиця 7.21

Дані до задачі 7.42

Варіанти	$P, \text{Н}$	$R, \text{мм}$	$R_u, \text{мм}$	$R_d, \text{мм}$
1	6000	20	30	30
2	6000	20	30	35
3	6000	20	40	35
4	6000	15	40	35
5	5000	15	40	35
6	5000	15	40	40
7	5000	15	50	40
8	5000	10	50	40
9	7000	10	50	40
10	7000	10	50	45
11	7000	10	20	45
12	7000	18	20	45
13	9000	18	20	45
14	9000	18	20	50
15	9000	18	35	50
16	9000	24	35	50
17	1000	24	35	50
18	1000	24	35	40
19	1000	24	45	40
20	1000	22	45	40
21	8000	22	45	40
22	8000	22	45	30
23	8000	22	25	30
24	8000	20	25	30
25	7000	20	25	30

Таблиця 7.22

Дані до задачі 7.43

Варіанти	Твердість матеріалу, $HV$	Діаметр деталі $D, \text{мм}$	Радіус сфери $R, \text{мм}$
1	900	40	0,5
2	900	40	1,0
3	900	50	1,0
4	800	50	1,0
5	800	50	1,5
6	800	60	1,5
7	700	60	1,5

Таблиця 7.23

Варіанти	Твердість матеріалу, <i>HV</i>	Діаметр деталі <i>D, мм</i>	Радіус сфери <i>R, мм</i>
8	700	60	1,5
9	700	45	1,5
10	600	45	1,5
11	600	45	1,0
12	600	55	1,0
13	650	55	1,0
14	650	55	1,5
15	650	65	1,5
16	750	65	1,5
17	750	65	1,0
18	750	70	1,0
19	850	70	1,0
20	850	70	0,5
21	850	45	0,5
22	750	45	0,5
23	750	45	0,5
24	750	55	0,5
25	800	55	0,5

## РОЗДІЛ 8 ПРОГРАМУВАННЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК

У розділі розглядаються задачі підготування керуючих програм, які являють собою лише окрему частину проектування технологічного процесу обробки деталей на верстатах із ЧПК. На сьогодні маємо низку фундаментальних робіт із проектування технологічних процесів на верстатах із ЧПК, до яких у першу чергу варто віднести [4]. Необхідно також мати на увазі, що кожний пристрій ЧПК має свою специфіку, яка визначає граматику мови програмування.

Переслідувана при цьому мета – практичне закріплення теоретичних знань з упорядкування керуючих програм, отриманих на лекціях і на індивідуальних заняттях.

### 8.1. Програмна обробка на фрезерних верстатах із системами ЧПК типу *CNC*

Як базову модель у даному випадку взято фрезерний верстат *FQW-400*, оснащений системою ЧПК *CNC-H 646*. Розглянемо граматику мови програмування цієї системи ЧПК.

Текст програми для пристрою ЧПК типу *CNC-H 646* пишеться в коді *ISO-7 bit*. Впровадження програми обробки заготовки можливе як із перфострічки, так і вручну, з панелі управління. Програма зберігається в пам'яті пристрою, обсяг якої дорівнює *8 K*. Пристрій ЧПК працює в правій системі координат.

Початок програми визначається знаком *%*, після якого повинен бути зазначений номер програми (не більше п'яти знаків). Букви мають такі значення:

*N* – номер кадру. Після адреси *N* повинен іти не більш ніж чотиризначний номер. При впровадженні програми у режимі діалогу пристрій нумерує кадри автоматично через *10* (*N10*, *N20*, *N30* і т. д.). Це дає можливість оператору доповнювати програму шляхом вставлення кадрів без її перезапису.

$X, Y, Z$  – позначення осей координат при програмуванні переміщень;

$I, J, K$  – позначення координат центру дуги при круговій інтерполяції. У сукупності  $X, Y, Z, I, J, K$  являють собою координатні команди. Вони діють у межах кадру. Після відповідної команди ставиться розмір координати в  $мм$  з урахуванням знака. Розмір 0 і знак “+” можна не вказувати. Дробна частина відокремлюється від цілої десятковою точкою. При впровадженні цілих міліметрів її можна не ставити. Мінімальне значення переміщення, що програмується –  $0,001 мм$ .

Приклади:

$X$  – розмір переміщення по осі  $X$  дорівнює нулю;  
 $X20,532$  – розмір переміщення по осі  $X$  дорівнює  $+20,532 мм$ ;  
 $Y-52,658$  – розмір переміщення по осі  $Y$  складе:  $-52,658 мм$ ;  
 $F$  – адреса подачі, що вказується в  $мм/хв.$  і програмується цілим числом у межах  $1 \dots 9999 мм/хв.$

Приклади:

$F10$  – розмір подачі  $10 мм/хв.$ ;  
 $F500$  – розмір подачі  $500 мм/хв.$ ;  
 $T$  – адреса коректора, в який занесені необхідні дані (довжина і радіус) інструмента, що використовується при оброблюванні.  
Максимальне число коректорів – 99. Програмування номера коректора необхідно здійснювати в першому кадрі програми. Після адреси  $T$  ставиться дво- або чотирицифрове число:

а) двозначне число ( $T1 \dots T99$ ),

$N50T10$  – вводиться коректор 10 і пара величин компенсації (радіус і довжина) також під номером 10;

б) чотирицифрове число ( $T0101 \dots T9924$ ),

$N50T1522$  – вводиться коректор 15 і пара величин компенсації під номером 22;

/ – пропускання кадру. Якщо перед номером кадру ставиться похила риса, то в процесі виконання програми при натиснутій відповідній клавіші на пульті керування даний кадр пропускається;

$G$  – адреса функцій переміщення (див. нижче);

$M$  – адреса додаткових функцій (див. нижче);

$L$  – адреси стандартних підпрограм, наявних у ПЗУ пристрою (див. відповідні методичні вказівки).

$L0$  – повторення програмних секцій (одного або декількох кадрів) необхідну кількість разів.

Приклад:

$N90 L0 P53,15 P51,40 P52,80 P50,5 LF$

У результаті виконання цього кадру група кадрів із  $N40$  по  $N80$  із програми номер 15 повторюється 5 разів. Група повторюваних кадрів може утримуватися або у виконуваний програмі, або в іншій, що зберігається в пам'яті пристрою в момент опрацювання. Максимальна кількість повторень – 99;

$P$  – адреси параметрів, що використовуються при програмуванні за допомогою параметрів (див. відповідні методичні вказівки);

$C$  – символ косинуса;

$S$  – символ синуса;

$R$  – символ квадратного кореня.

### 8.1.1. $G$ – функції умов переміщення при обробці

$G90$  – абсолютна система координат (рис. 8.1, а). Початок координат 0 задається однією з нульових точок:  $G54, G55, G56, G57$ . Впровадження значень координат обраної нульової точки проводиться в режимі “ВПРОВАДЖЕННЯ ДАНИХ”.

*G91* – відносна система координат або обробки в збільшеннях (рис. 8.1, б).

*G0* – переміщення по прямій на прискореному ході (лінійна інтерполяція). Ця функція діє в межах кадру. Значення робочої подачі для наступних кадрів зберігається. Одночасне переміщення можна програмувати максимум для двох осей.

*G1* – лінійна інтерполяція (обробка по прямій) з робочою подачею *F*, яка програмується. Одночасне переміщення можна також програмувати максимум для двох осей.

*G2* – кругова інтерполяція (обробка по колу) за годинниковою стрілкою;

*G3* – кругова інтерполяція проти годинникової стрілки.

Кругова інтерполяція здійснюється для будь-якої пари осей із *X*, *Y*, *Z*. Для координат центру дуги, по якій відбувається інтерполяція, використовують символи *I*, *J*, *K*:

*I* – координата центру по осі *X*;

*J* – координата центру по осі *Y*;

*K* – координата центру по осі *Z*.

Кадр програми для обробки по дузі з точки 1 у точку 2 (рис. 8.2) буде мати вигляд:

а) при дії *G90* (абсолютна система відліку) –

*N20 G3 X30 Y55 I30 J20 LF*;

б) при дії *G91* (відносна система відліку) –

*N20 G3 X-35 Y35 I-35 J0 LF*.

Функції *G90* або *G91* звичайно задаються в першому кадрі програми.

Якщо в площині інтерполяції відрізок контуру переходить у дугу кола по дотичній, то координати центру дуги можна не програмувати. Пристрій ЧПК обчислить їх самостійно. Радіус кола при круговій інтерполяції може знаходитися в межах 0,009 ... 8000 мм.

*G4* – час затримки, що програмується. Команда діє в межах кадру. Розмір затримки програмується під адресою в десятих

частках секунди і може приймати значення 0 ... 999 десятих часток секунди. Адреса *I* у кадрі має знаходитися безпосередньо після *G4*, і її значення запам'ятовується.

*N50 G4 I 200 LF*

*100 G1 G4 X ... Y ... LF*

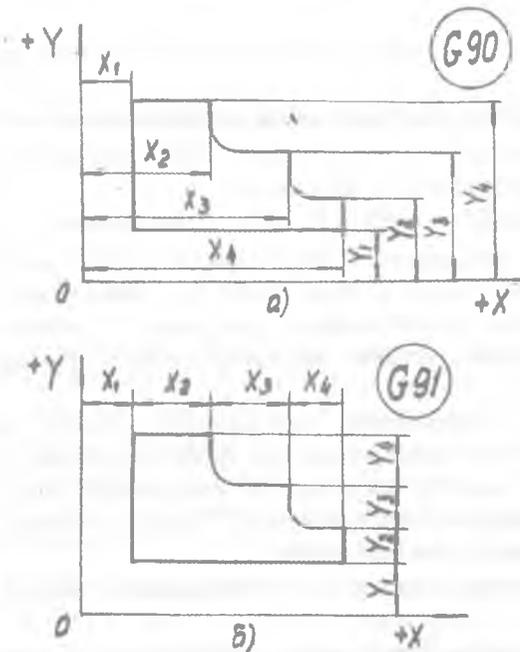


Рис. 8.1. Прив'язка розмірів оброблюваної деталі в абсолютній (а) і відносній (б) системах координат

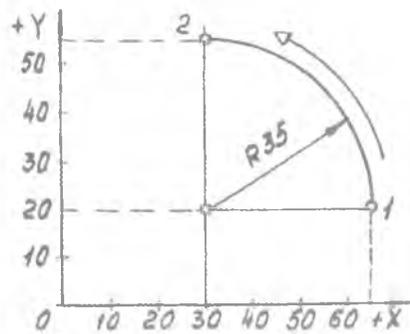


Рис. 8.2. До питання програмування обробки по колу

Тут показано програмування затримки часу  $\approx 20$  с. Варто пам'ятати, якщо в кадрі, що містить  $G4$ , є ще інші команди, то спочатку відбувається їх виконання.

В пристрої  $CNC - H 646$  передбачена можливість розрахунку еквідистанти безпосередньо під час виконання програми. Це багато в чому полегшує роботу технолога або оператора при розроблюванні програми. У режимі роботи з розрахунком еквідистанти використовуються функції  $G40 \dots G46$

$G40$  – скасування еквідистанти, тобто розрахунок еквідистанти не проводиться. Ця функція діє після вмикання пристрою і початку програми до скасування. Вона викликає вихід із еквідистантної траєкторії. Використовується звичайно для повернення у вихідну точку.

$G41$  – еквідистанта зліва оброблюваного контуру (рис. 8.3, а);

$G42$  – еквідистанта справа оброблюваного контуру (рис. 8.3, б).

Вибір  $G41$  або  $G42$  залежить від того, в якому напрямку обробляється контур деталі. Ці функції викликають початок розрахунку еквідистанти і рух по ній. У кадрі, що містить функції  $G41$  або  $G42$ , повинні діяти  $G0$  або  $G1$  і обов'язково для двох осей мають бути зазначені розміри переміщення.

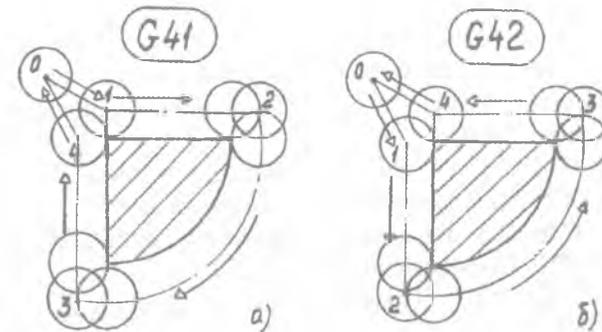


Рис. 8.3. Послідовність обробки контуру деталі при розташуванні еквідистанти зліва (а) і справа (б)

Приклад:

$N20 G41 G1 X20 Y LF$  – вірно;  
 $N20 G41 G1 X20 LF$  – невірно.

$G43$  – припинення обчислення нових значень вектора компенсації, що впливали б із геометрії виробу. Застосування цієї функції дозволяє уникнути непотрібних зайвих переміщень (кутове або кругове доповнення). Не дозволяється застосування цієї функції в кадрах із круговою інтерполяцією.

$G44$  – кутове доповнення, при якому перехід з однієї ділянки еквідистанти на іншу здійснюється в точці перетину  $O_2$  (рис. 8.4, а). При цьому виникає “перебіг” інструмента “ $l$ ”, величина якого збільшується зі зменшенням кута “ $\infty$ ”.

$G45$  – кругове доповнення, при якому перехід з однієї ділянки еквідистанти на іншу здійснюється по дузі кола радіусом, який дорівнює радіусу фрези. У цьому випадку величина перебігу центра інструмента мінімальна (мал. 8.4, б).

**Увага!** Кругове доповнення не можна застосовувати при обробці внутрішніх кутів.

Після вмикання пристрою “після умовчування” (тобто при відсутності  $G44$ ) діє кругове доповнення.

**G46** – інформаційний запис для еквідистанти. Цей запис не призводить до переміщень на верстаті. Діє в межах кадру. Його використовують у випадку, якщо між обома необхідними для розрахунку еквідистанти записами стоїть один або декілька інших записів (наприклад, переміщення, перпендикулярне площині компенсації):

- N200 G44 X1 Y1 LF** (переміщення в точку  $X1 Y1$ )
- N210 X2 Y2** (переміщення в точку  $X2 Y2$ )
- N220 G46 X3 Y3** (запам'ятовування точки  $X3 Y3$ )
- N230 Z10** (переміщення по осі  $Z$ )
- N240 X3 Y3** (переміщення в точку  $X3 Y3$  по еквідистанті).

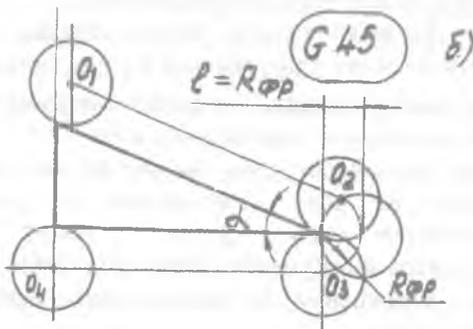
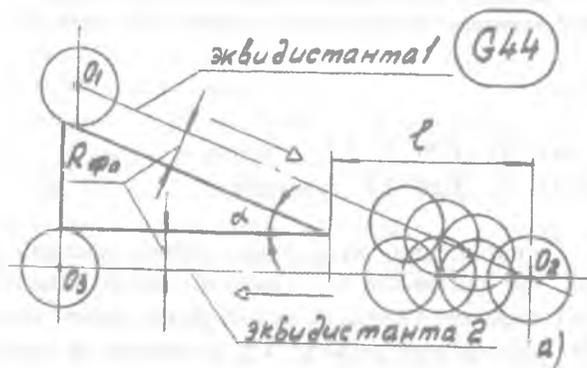


Рис. 8.4. Траєкторії руху інструмента при обробці з кутовим (а) і круговим (б) доповненнями

Використовуючи абсолютну систему координат, програміст-технолог має можливість призначити будь-яку з п'яти нульових точок:

- G53** – діє тільки початок координат верстата;
- G54** – нульова точка 1;
- G55** – нульова точка 2;
- G56** – нульова точка 3;
- G57** – нульова точка 4.

Положення нульових точок **G54** ... **G57** щодо початку координат верстата може бути задане в режимі ручного впровадження і вибирається з технологічних міркувань. Якщо програма складається в абсолютній системі координат, то використовується нульова точка вказується у першому кадрі.

**G92** – переміщення початку координат, яке програмується. За допомогою цієї команди переміщується використовується нульова точка (**G54** ... **G57**) на величини, запрограмовані під адресами  $X, Y, Z$ .

Приклад:

**N50 G92 X150 Y100 LF**

Тут  $X150, Y100$  – розміри зсуву нульової точки по координатних осях  $X, Y$ , які програмуються.

В пристрої ЧПК передбачене використання ще низки  $G$ -функцій специфічного призначення.

### 8.1.2. Команди $M$ – додаткові функції

У межах одного кадру допускається програмування максимум п'яти  $M$ -команд.

- M0** – програмована зупинка;
- M1** – програмована зупинка на вибір (при натиснутій відповідній клавіші на панелі керування);
- M2** – зупинка шпинделя та кінець програми з поверненням до її початку;
- M3** – обертання шпинделя праве;
- M4** – обертання шпинделя ліве;
- M5** – стоп шпинделя;

M6 – заміна інструмента;

M8 – подачу ЗОТС (змащувально-охолоджувального технологічного середовища) ввімкнути;

M9 – подачу ЗОТС вимкнути;

M22 – повернення з підпрограми. Після команди M22 у вихідній програмі діє G0, G90.

Символи мови (коду ISO – 7 bit) зображуються на восьмидоріжечній перфострічці в двійково-вісімковому коді (табл. 8.1). Причому, для кодування власне символу використовуються доріжки 1–7, а 8-а доріжка використовується для контролю парності (кількість отворів у рядку має бути кратною).

Використовуючи викладену граматику мови програмування, можна скласти програми обробки для деталей достатньо складної конфігурації.

Приклад:

Розробити керуючу програму обробки деталі “Прокладка” для пристрою ЧПК CNC – H 646.

Ескіз оброблюваного контуру деталі наведено на рис. 8.5.

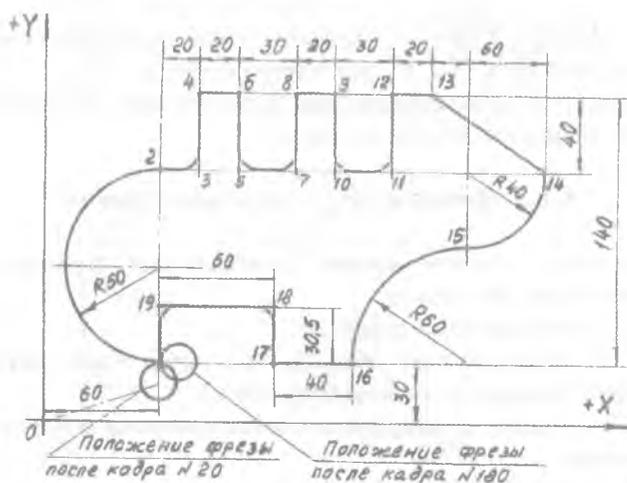


Рис. 8.5. Ескіз деталі для розробки керуючої програми

Обробку будемо приводити в площині XOY. З огляду на те, що деталь буде вирізатися по заданому контуру з листового матеріалу, вибираємо інструмент – кінцеву фрезу діаметром 20 мм. Діаметр фрези обраний за умови рівності її радіуса мінімальному радіусу сполучення ділянок контуру деталі.

Розташування вихідної точки вибираємо довільно. На практиці це часто пов'язано з використанням оснащенням.

Таблиця 8.1

Зображення символів коду ISO – 7 bit на восьмидоріжечній перфострічці

Сим- вол	Код	Перфолента						
		8	7	6	5	4	3	2
A	101	•	•	•	•	•	•	•
B	102	•	•	•	•	•	•	•
C	103	•	•	•	•	•	•	•
D	104	•	•	•	•	•	•	•
E	105	•	•	•	•	•	•	•
F	106	•	•	•	•	•	•	•
G	107	•	•	•	•	•	•	•
H	110	•	•	•	•	•	•	•
I	111	•	•	•	•	•	•	•
J	112	•	•	•	•	•	•	•
K	113	•	•	•	•	•	•	•
L	114	•	•	•	•	•	•	•
M	115	•	•	•	•	•	•	•
N	116	•	•	•	•	•	•	•
O	117	•	•	•	•	•	•	•
P	120	•	•	•	•	•	•	•
Q	121	•	•	•	•	•	•	•
R	122	•	•	•	•	•	•	•
S	123	•	•	•	•	•	•	•
T	124	•	•	•	•	•	•	•
U	125	•	•	•	•	•	•	•
V	126	•	•	•	•	•	•	•
W	127	•	•	•	•	•	•	•
X	130	•	•	•	•	•	•	•
Y	131	•	•	•	•	•	•	•
Z	132	•	•	•	•	•	•	•
NL	36	•	•	•	•	•	•	•
NUL	0	•	•	•	•	•	•	•
DEL	177	•	•	•	•	•	•	•

Сим- вол	Код	Перфолента						
		8	7	6	5	4	3	2
0	60	•	•	•	•	•	•	•
1	61	•	•	•	•	•	•	•
2	62	•	•	•	•	•	•	•
3	63	•	•	•	•	•	•	•
4	64	•	•	•	•	•	•	•
5	65	•	•	•	•	•	•	•
6	66	•	•	•	•	•	•	•
7	67	•	•	•	•	•	•	•
8	70	•	•	•	•	•	•	•
9	71	•	•	•	•	•	•	•
=	75	•	•	•	•	•	•	•
+	53	•	•	•	•	•	•	•
-	55	•	•	•	•	•	•	•
.	56	•	•	•	•	•	•	•
%	45	•	•	•	•	•	•	•
(	50	•	•	•	•	•	•	•
)	51	•	•	•	•	•	•	•
/	57	•	•	•	•	•	•	•
:	72	•	•	•	•	•	•	•
*	52	•	•	•	•	•	•	•
,	54	•	•	•	•	•	•	•
BS	10	•	•	•	•	•	•	•
HT	11	•	•	•	•	•	•	•
SP	40	•	•	•	•	•	•	•
LF	12	•	•	•	•	•	•	•
CR	15	•	•	•	•	•	•	•
[	133	•	•	•	•	•	•	•
]	135	•	•	•	•	•	•	•

Програма обробки % 12 та коментарі до неї

Програма % 12.

% 12

N10 G91 G44 G1 F500 M3 T1 M6 LF

У цьому кадрі зазначено, що обробляти будемо в збільшеннях (G91), використовуючи кутове доповнення (G44); почнемо з обробки по прямій (G1) з подачею 500 мм/хв. (F500) при правому обертанні шпинделя (M3). Дані про інструмент будуть занесені при впровадженні в коректор T1, який і буде ввімкнено (M6).

LF – кінець кадру.

N20 G41 X60 Y30 LF

При обробці еквідистанта буде зліва від контуру (G41). X60 Y30 – підхід від вихідної точки до точки контуру 1.

N30 G2 X Y100 I J50 LF

Кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою (G2). Обробка ділянки (1-2). Точка 2 щодо точки 1 має координати (XY100), а центр дуги щодо точки 1 має координати (IJ50).

N40 G1 X20 Y LF – перехід до лінійної інтерполяції (G1). Обробка ділянки (2-3).

N50 X Y40 LF – обробка ділянки (3-4)

N60 X20 Y LF – обробка ділянки (4-5)

N70 X Y -40 LF – обробка ділянки (5-6)

N80 X30 Y LF – обробка ділянки (6-7)

N90 X Y40 LF – обробки ділянки (7-8)

N100 L0 P53,12 P51,60 P52,90 P50,1

Повторити (L0) частину програми N12 (P53,12), починаючи з кадру 60 (P51,60) і закінчуючи кадром 90 (P52,90) 1 раз (P50,1). У результаті виконання цього повторення буде оброблена ділянка контуру (8-9-10-11-12).

N110 X20 Y LF – обробка ділянки (12-13).

N120 X60 Y LF – обробка ділянки (13-14).

N130 G3 Y -40 I -40 J LF – обробка по дузі кола (14-15).

N140 G3 X -60 Y -60 LF – обробка по дузі кола (15-16). Тут не задаються координати центра дуги, тому що вона спрягається з попередньою ділянкою по дотичній.

N150 G1 X -40 Y LF – перехід до лінійної інтерполяції (G1) і обробка ділянки (16-17).

N160 X Y30,5 LF

N170 X -60 Y LF

N180 X Y -30,5 LF

Виконання кадрів 160-180 призводить до оброблювання ділянок (17-18-19-1).

N190 X Y -10 LF

Відвід по осі Y на (-10) мм тут необхідний для того, щоб при відході з еквідистанти під час повернення у вихідну точку в такому кадрі не зіпсувати оброблений контур (рис. 8.5).

N200 G40 X -60 Y -20 M2 LF

Відхід із еквідистанти (G40) і повернення у вихідну точку.

Після виконання кадру інструмент знаходиться (його вісь) у вихідній точці O. Команда M2 зупиняє шпиндель і завершує програму. Пристрій готовий до обробки за командою "СТАРТ" наступної деталі за цією ж програмою.

**Задача 8.1.** Розробити керуючу програму для обробки контуру прокладок за ескізами A, B, C, D. Припуск на обробку – 3 мм по всьому контуру. Ескіз і розміри елементів контуру деталі задаються викладачем за рис. 8.6 і табл. 8.2. Товщина заготовки – 5 мм.

Методичні вказівки:

1. Обробка ведеться в системі координат XOY.
2. Радіус кінцевої фрези вибирається рівним r, що визначає положення вихідної точки (початок і кінець обробки – (.) 0, рис. 8.5).
3. Обробка проводиться у відносній системі координат (G91) із сталою подачею (50 мм/хв.).
4. Частота оборотів шпинделя на даному верстаті встановлюється оператором.

Таблиця 8.2

Варіанти розмірів (мм) елементів прокладок для задачі 8.1

Елемент	Варіант для прокладки А									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L	110	115	125	110	100	110	115	105	110	145
h	35	40	45	35	30	45	50	35	40	60
r	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
R	65	80	85	80	85	80	95	80	95	100
a	45	50	65	60	55	60	65	55	65	80
b	10	15	10	10	15	10	15	10	15	10
c	40	45	50	35	40	35	55	50	40	70
d	40	45	50	45	35	40	40	45	40	60
e	40	50	55	45	45	40	50	45	50	50
f	50	40	60	45	30	45	40	35	40	50

Елемент	Варіант для прокладки В									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L	130	140	135	120	125	115	135	110	132	122
h	75	70	90	80	85	75	80	75	80	80
r	40	45	50	55	60	48	52	42	45	52
R	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
a	50	70	55	40	50	45	40	55	60	42
b	25	20	30	20	15	20	15	23	30	20
c	40	40	45	30	35	43	40	35	40	32
d	40	45	70	35	60	40	50	40	50	40
e	30	40	30	45	50	30	45	35	40	42
f	70	65	60	50	60	55	60	60	70	55

Елемент	Варіант для прокладки С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L	133	142	137	125	128	117	138	110	125	105
h	70	85	75	80	60	78	70	65	95	105
r	45	50	40	55	40	50	48	35	42	48
R	15	15	15	15	10	15	15	15	10	10
a	50	60	65	50	70	35	53	60	75	65
b	25	40	30	25	28	30	27	25	35	20
c	35	40	40	40	20	30	32	30	80	75
d	70	75	80	50	60	50	68	80	25	30
e	20	25	23	15	15	10	12	20	50	45
f	40	45	40	60	50	45	55	10	40	45

Елемент	Варіант для прокладки D									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
L	120	115	125	110	130	125	120	120	125	105
h	75	80	85	70	85	80	95	100	95	105
r	35	40	45	30	50	40	40	45	42	48
R	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
a	60	55	65	50	80	70	60	60	75	65
b	40	30	40	45	35	40	30	25	35	20
c	40	50	40	40	40	70	80	80	80	75
d	25	25	30	25	20	30	35	30	25	30
e	30	40	45	40	35	40	35	40	50	45
f	55	60	65	60	60	50	55	55	40	45

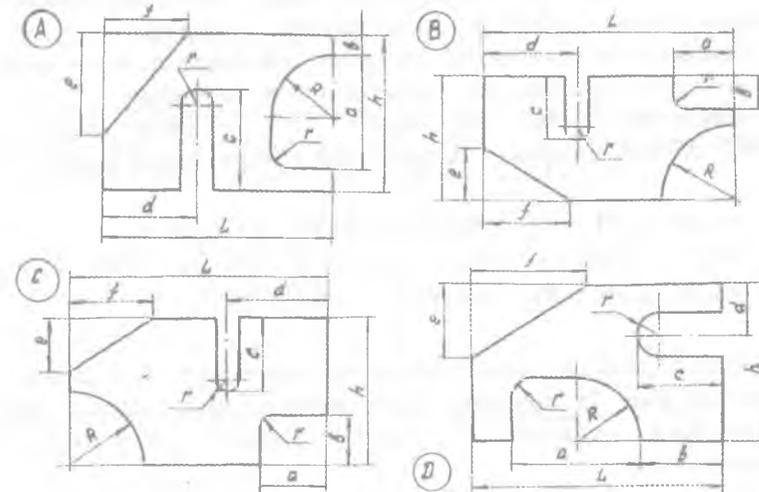


Рис. 8.6. Ескізи контурів прокладок до задачі 8.1

## 8.2. Елементи параметричного програмування комп'ютерних систем ЧПК типу CNC

Застосування параметричного програмування дозволяє найбільш повно використовувати можливості міні- або мікроЕОМ, вмонтованих у пристрій ЧПК. При цьому ними

виконуються розрахунки координат опорних точок профілю та значень технологічних параметрів безпосередньо під час обробки стосовно заданих вихідних даних. Такі системи ЧПК є найбільш досконалими і мають деяку специфіку залежно від типу керованого ними верстата.

Проаналізуємо процедуру параметричного програмування для системи *CNC – H 646* фрезерного верстата моделі *FQW – 400*.

Для параметричного програмування в пристрої ЧПК передбачено 84 параметри (*P0 ... P83*). Необхідно мати на увазі, що значення параметрів *P50*, *P51*, *P52* завжди стираються при запуску програми.

Параметрам можуть присвоюватися значення чисел, дійсні значення координат обробки *X*, *Y*, *Z* у міліметрах, а також їх інвертовані значення. Параметрам можна також присвоювати значення інших параметрів і їх інвертовані значення.

Присвоєння значень параметрам здійснюється через кому, що стоїть після числа, яке позначає номер параметра.

Приклади (зліва від знака "⇒" – вираз на мові *CNC – H 646*, а справа – відповідний математичний вираз):

$$P1,100 \Rightarrow P1 = 100 \quad P12,151.253 \Rightarrow P12 = 151,253 ;$$

$$P12,X \Rightarrow P12 = X ; \quad P49,Y \Rightarrow P49 = Y ; \quad P12,-X \Rightarrow P12 = -X ;$$

$$P5,P1 \Rightarrow P5 = P1 ; \quad P49,P15 \Rightarrow P49 = P15 .$$

Крім зазначених вище присвоєнь параметрам, можливими є й обчислення їх значень. Вони можуть мати місце у всіх програмних записях. У цьому випадку як операнди визначаються:

- параметри від *P0* до *P83* ;
- будь-які негативні й позитивні максимально 8-значні числа з довільним положенням десяткової точки;
- координати переміщень *X*, *Y*, *Z*.

Операторні команди діляться на команди першого і другого роду. До операторних команд першого ряду, що стоять перед операндом і впливають на нього, відносяться:

- "\*" – піднесення до квадрата;
- "S" – синус;
- "C" – косинус;
- "R" – добування квадратного кореня;
- "-" – заперечення;
- ",", " – радіанна міра кутів.

Приклади застосування операторів першого ряду:

$$P2,C90 \Rightarrow P2 = \cos 90^\circ = 0 ;$$

$$P1,RX \Rightarrow P1 = \sqrt{X} ;$$

$$P6,*-5 \Rightarrow P6 = (-5)^2 = 25 ;$$

$$P1,C3.1415 \Rightarrow P1 = \cos 180^\circ = -1 ;$$

$$P3,R2--P2 \Rightarrow P3 = \sqrt{2} - (-P2) = \sqrt{2} + P2 .$$

Перед одним операндом дозволяється програмування максимум двох операторів першого ряду. При цьому обчислення починається з найближчого до операнду оператора:

$$P1,*S P2 \Rightarrow P1 = (\sin P2)^2 ;$$

$$P1,*S P2 \Rightarrow P1 = \sin(P2)^2 ;$$

$$P1,RRP2 \Rightarrow P1 = \sqrt{\sqrt{P2}} = \sqrt[4]{P2} .$$

До операторних команд другого ряду відносяться такі:

- "+" – додавання;
- "-" – віднімання;
- "\*" – множення;
- ":" – ділення.

Ці команди зв'язують два операнди й обчислюються по чергово:

$$P1, P2 + P3 \Rightarrow P1 = P2 + P3 ;$$

$$P1, P2 + P3 * P4 \Rightarrow P1 = (P2 + P3) P4 ;$$

$$P1, P2 + P3 ** - 5 \Rightarrow P1 = (P2 + P3) (-5)^2$$

Зміна порядку обчислень здійснюється за допомогою квадратних дужок. Застосування подвійних і більше квадратних дужок не дозволяється:

$$P1, P2 + [P3 * P4] \Rightarrow P1 = P2 + (P3 \cdot P4);$$

$$P1, P3 * P4 + P2 \Rightarrow P1 = (P3 \cdot P4) + P4,$$

(тобто, раціональне розташування операндів може зняти необхідність застосування квадратних дужок).

$$P1, [P2 * -5] - *[P6 : P7] \Rightarrow P1(P2 \cdot (-5)^2) - \left(\frac{P6}{P7}\right)^2$$

Операнд після операторних команд *S* (синус) і *C* (косинус) береться в градусній мірі. Кома програмується перед *S* і *C* як операторна команда. У цьому випадку після коми до кінця рівняння діє радіанна міра кута:

$$P1, *SP2 + *CP3 \Rightarrow P1 = \sin^2 P2 + \cos^2 P3;$$

$$P1, S90+, C3.1416 \Rightarrow P1 = \sin 90^\circ + \cos \pi = 0;$$

$$P1, C3.1416 + C3.1416 \Rightarrow P1 = \cos \pi + \cos \pi = -2.$$

При використанні параметрів P50 ... P52 варто мати на увазі:

- 1) Для P50 діапазон значень від 0 до 99 у цілих числах.
- 2) Для P51 і P52 діапазони значень від 0 до 9999 також у цілих числах.

Таким чином, якщо цим параметрам присвоюється дробне значення, то при подальшому використанні вони округлюються:

$$P1, 15.2; P52, P1 \Rightarrow P52 = 15;$$

$$P2, 16.73; P2 \Rightarrow P51 = 17.$$

Надання параметрів адресам обробки здійснюється через знак рівності "=" ( $X = P1$ ;  $G = P31$ ;  $F = P43$  і т. д.). Не можна присвоювати значення параметрів таким адресам: *N*, *%*.

При присвоєнні параметра адресі обробки, їй приписується допустима розмірність відповідної адреси:

- *G*, *M*, *L*, *T* - безрозмірні команди;
- *F* - [мм/хв];
- *X*, *Y*, *Z*, *I*, *J*, *K* - [мм];
- *I* (час затримки) - десяті долі секунди.

Адресам обробки можна присвоювати інвертовані значення параметрів. Приклад (рис. 8.7) фрагмента програми:

% 22

N40 P10,50 P20,70 LF

N50 G91 G1 X = P10 LF (1 - 2)

N60 Y = P20 LF (2 - 3)

N70 X = -P10 LF (3 - 4)

N80 = -P20 LF (4 - 1)

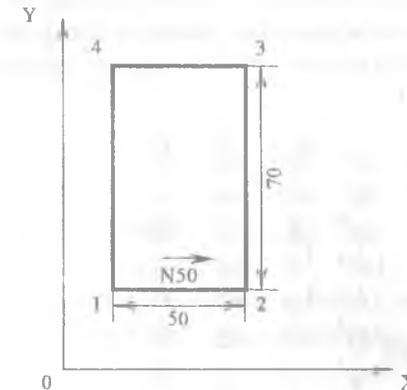


Рис. 8.7. Вихідні дані до програми % 22

**Примітка.** Символ кінця кадру "LF" застосовується при перфорації програми. При покадровому впровадженні з пульта даний символ не вноситься. Тому в подальших прикладах він відсутній.

При параметричному програмуванні є можливість здійснення як умовних, так і безумовних переходів у програмі. При виконанні умовних переходів обчислюється значення якогось параметра, наприклад,  $P5$  і перевіряється виконання однієї з умов:  $(P5 > 0)$ ,  $(P5 < 0)$ ,  $(P5 = 0)$ .

Після обчислення лічильника ( $P5$ ) фрагменти запису в кадрі з умовним переходом мають такий вигляд:

$N160 \dots P5 + N130 \dots$  - якщо  $P5 < 0$ , перехід до кадру  $N130$ ;

$N180 \dots P6 - N50 \dots$  - якщо  $P6 < 0$ , перехід до кадру  $N50$ ;

$N190 \dots P7 = N200 \dots$  - якщо  $P7 = 0$ , перехід до кадру  $N200$ .

Необхідно мати на увазі, що при виконанні умови переходу на цьому місці переривається обробка кадру і здійснюється умовний перехід. Наступні адреси цього кадру реалізуються при невиконанні умови переходу. Таким чином, в одному кадрі можна запрограмувати декілька умовних переходів.

Приклад: свердлування отворів одного діаметра, але різної глибини (рис. 8.8).

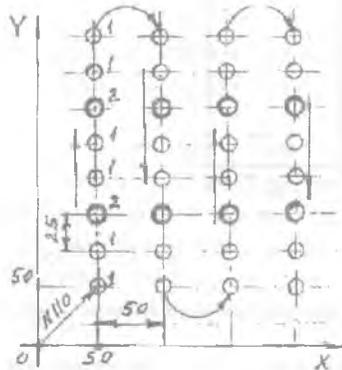


Рис. 8.8. Послідовність обробки отворів

- ⊙ - отвір із глибиною свердлування 25 мм;
- - отвір із глибиною свердлування 50 мм;
- $P1$  - глибина свердлування 25 мм;
- $P2$  - глибина свердлування 50 мм;
- $P3$  - крок між осями отворів із глибиною свердлування 50 мм (кожний третій у стовпчику);
- $P4$  - кількість стовпчиків;
- $P5$  - кількість отворів у стовпчику;
- $P10$  - відстань між осями отворів у стовпчику;
- $P20$  - відстань між стовпчиками.

% 10

```

N110 G1 G90 X50 Y50 P1,-25 P2,-50 P4,4 P10,25
P20,50
N120 P5,8 F50 M3 G91 P3,3
N130 P6, P1 P3, P3-1 P3+N 140 P6,P2 P3,3
N140 G1Z = P6
N150 Z = -P6
N160 Y = P10 P5, P5-1 P5+N 130 P10,- P10YX = P20 P4,
P4-1 P4+120 X M2

```

У цій програмі перший умовний перехід у кадрі  $N130$  і два умовних переходи в кадрі  $N160$ .

Безумовні переходи програмуються наприкінці кадру шляхом простановки номера кадру програми, з якого бажана подальша обробка.

% 15

N30 X100 Y100 N80

N80 ...

**Задача 8.2.** Розробити керуючу програму для обробки фрагмента контуру деталі за ескізом (рис.8.9) для системи ЧПК CNC – H 646. Обробка в абсолютній системі відліку (G90), вихідна точка інструмента – початок координат. У програмі врахувати автоматичний розрахунок еквідистанти (G41 або G42).

Методичні вказівки:

1. Всі вихідні дані, зазначені на ескізах у вигляді літерних позначень, привласнити обраним параметрам ( $P1, a; P2, b; \dots$ ).
2. Пронумерувати опорні точки профіля за годинниковою стрілкою відповідно до обраного маршруту обробки і привласнити їх координати  $X_i$  і  $Y_i$  іншій групі параметрів ( $P10, X1; P11, Y1; \dots$ ).
3. Розрахувати координати опорних точок  $X_i$  і  $Y_i$  як функції вихідних даних методами елементарної геометрії, отримавши в загальному вигляді відповідні формули.
4. При впорядкуванні програми після впровадження вихідних даних запрограмувати процес оброблювання.

Вирішення даної задачі ілюструє переваги параметричного програмування для групової обробки деталей, тому що для множини однотипних деталей програма обробки залишається єдиною, а числові значення вихідних даних (розмірів) обробленої деталі вводяться оператором безпосередньо з пульта ЧПК шляхом присвоєння їх відповідним параметрам.

Використовуючи метод параметричного програмування, можна складати програму обробки профілів деталей, які мають складний аналітичний опис. У цьому випадку пристрій ЧПК

типу CNC у процесі обробки здійснює розрахунок точок профілю для подальшої лінійної інтерполяції.

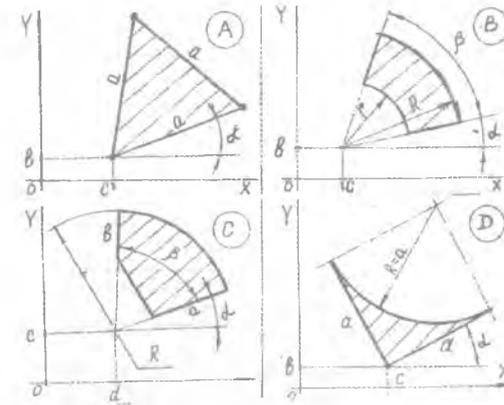


Рис. 8.9. Ескізи контурів обробки до зад. 7.2

**Приклад.** Скласти керуючу програму обробки складного паза у вигляді чотирипелюсткової троянди кінцевою фрезою, рух центру якої відбувається за траєкторією, що описується рівнянням (рис. 8.10)

$$\rho = a \cos(2\varphi), \quad (8.1)$$

Вихідне положення інструмента в  $(\cdot) O$ , вихідна точка початку обробки –  $(\cdot) A$ . Параметр  $a = 80$  мм. Лінійну інтерполяцію кривої здійснювати при збільшенні кута  $\Delta\varphi = 2^\circ$ .

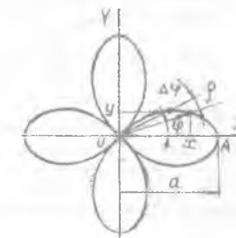


Рис. 8.10. Чотирипелюсткова троянда

**Розв'язання.** Вихідним для розв'язування є рівняння (8.1), що описує траєкторію руху центра фрези в полярних координатах. Оскільки верстат працює в декартовій системі координат, необхідним є перехід від полярних координат до декартових, що здійснюється за рівняннями (8.2 і 8.3):

$$X = \rho \cos \varphi, \quad (8.2)$$

$$Y = \rho \sin \varphi. \quad (8.3)$$



Рис. 8.11. Блок-схема програми обробки складного паза

Далі вибираємо параметри для вихідних даних і результатів проведених розрахунків за рівняннями (8.1–8.3):

$$P1 \rightarrow a; P2 \rightarrow \varphi; P5 \rightarrow \rho; P7 \rightarrow \Delta\varphi; P3 \rightarrow X; P4 \rightarrow Y.$$

Номери вибраних параметрів не мають ніякого значення.

Програма, що відповідає блок-схемі (рис. 8.11), має вигляд:

```

% 5
N10 G90 G56 G1 F50 M3
N20 P1,80 P2,0 P7,2
N30 X = P1 Y
N40 Z -10
N50 P5, P1*C[2*P2] P3, P5*CP2 P4, P5*SP2
N60 X = P3 Y = P4
N70 P2, P2 + P7
N80 P6,360 + P7 - P2 P6 + N50
N90 Z0
N100 X0 Y0
N110 M2
  
```

На блок-схемі зліва від блоків зазначені номери відповідних їм кадрів програми. У кадрі N80 параметр P6 визначає умова переходу. Параметр P7 додається до нього для того, щоб була оброблена остання хорда лінійної апроксимації траєкторії. Якщо  $P2 = 360$ , то  $P6 = 360 - 360 = 0$  і умова "P6+" не виконується. При цьому здійснюється перехід до кадру N80 без обробки останньої хорди. Кадри N70 і N80, а також N100 і N110 можна об'єднати.

Цей приклад демонструє, що характер роботи устаткування, оснащеного системою ЧПК типу CNC, відповідає характеру роботи ЕОМ із графобудівником, яким і є верстат.

**Задача 8.3.** Скласти керуючу програму обробки складного паза кінцевою фрезою, рух центра якої відбувається по траєкторії, що описується рівнянням відповідно до завдання (табл. 8.3). Подачу прийняти 50 мм / хв.

Методичні вказівки:

1. Обробка програмується в абсолютній системі координат ( $G90$ ), нульова точка якої співпадає з початком координат для заданої кривої.

2. У довіднику з математики знайти опис кривої і виконати її ескіз.

3. Блок-схема і структура програми даної задачі цілком відповідають розглянутому вище прикладу.

**Задача 8.4.** Скласти програму свердлування  $n$  отворів ( $3 \leq n \leq 10$ ) глибиною 10 мм на колі радіуса  $R$  ( $50 \text{ мм} \leq R \leq 150 \text{ мм}$ ). Радіус-вектор центра першого отвору утворює з віссю  $OX$  кут  $\varphi$  ( $0 \leq \varphi \leq 40^\circ$ ). Подача свердлування 10 мм / хв.

Таблиця 8.3

Рівняння для опису різноманітних кривих

Варіанти	Найменування кривої	Рівняння
1	Спіраль Архімеда	$\rho = a\varphi; a = 15; 0 \leq \varphi \leq 2\pi;$ $\Delta\varphi = 0,02\pi$
2	Кардиоида	$\rho = a(l + \cos \varphi); a = 50;$ $0 \leq \varphi \leq 360^\circ; \Delta\varphi = 3^\circ$
3	Равлик Паскаля	$\rho = a \cos \varphi + l; a = 20; l = 50;$ $0 \leq \varphi \leq 2\pi; \Delta\varphi = 0,02\pi$
4	Епіциклоїда	$\begin{cases} X = (a + b) \cos \varphi - \lambda a \cos((a + b)\varphi / a) \\ Y = (a + b) \sin \varphi - \lambda a \sin((a + b)\varphi / a) \end{cases}$ $a = 20; b = 60; \lambda = 1;$ $0 \leq \varphi \leq 360^\circ; \Delta\varphi = 5^\circ$
5	Гіпоциклоїда	$\begin{cases} X = (a - b) \cos \varphi + \lambda a \cos((a - b)\varphi / a) \\ Y = (a - b) \sin \varphi + \lambda a \sin((a - b)\varphi / a) \end{cases}$ $a = 20; b = 60; \lambda = 1;$ $0 \leq \varphi \leq 360^\circ; \Delta\varphi = 5^\circ$

### 8.3. Розробка керуючих програм для свердлувальних верстатів із ЧПК

Технологічна частина підготовки керуючої програми (КП) для свердлувальних верстатів із ЧПК і багатоопераційних верстатів починається з вивчення креслення деталі та технологічного процесу її виготовлення. Через відсутність пристроїв для напрямку інструмента інколи для аналізованих верстатів доцільно застосовувати центрування отворів перед свердлуванням, що підвищує точність обробки. При виборі бази для виконання розмірів у двокоординатній системі необхідно дотримуватись принципу єдності баз. Як базу використовують осі "плаваючого" нуля, що звичайно є вихідною точкою для початку обробки за програмою. "Плаваючий" нуль означає, що точка, яка розглядається, може бути розміщена при налагоджуванні верстата в будь-якій точці стола. При виборі бази по осі  $Z$  варто пам'ятати, що автоматична зміна інструмента, забезпечувана поворотом револьверної голівки або автооператором із магазину, відбувається у верхньому вихідному положенні.

Серед свердлувальних верстатів із ЧПК найбільш поширеними є верстати 2P118Ф2 і 2P135Ф2, оснащені хрестовим столом і шестипозиційною револьверною голівкою. Вони призначені для свердлування, розсвердлування, зенкерування, розвертування та нарізання різь. Верстати оснащені системами позиційного управління з пристроєм ЧПК типу "Координата С70-3". При розроблюванні програм для свердлувальних верстатів із ЧПК виконують такі види робіт: розробляють технологічний процес і вибирають різальний інструмент; розраховують режими різання і коректують їх за паспортними даними верстата; складають схему граничного положення різальних інструментів з наведенням їх довжини, зумовленої відстанню від торця шпинделя до нижнього торця інструмента; вибирають пристрій, що забезпечить закріплення заготовки та її орієнтацію щодо координат стола верстата; розробляють технологічні ескізи і визначають координати осей оброблюваних отворів від єдиної бази ("плаваючого" нуля); складають схему послідовності роботи і переміщення інструментів; складають КП.

КП для аналізованих верстатів складаються зі слів, які містять інформацію про одну з функцій, що програмуються [3].

Слова, що несуть цифрову інформацію про переміщення вздовж осей  $X$  і  $R$  – переміщення вздовж осі  $Z$  до точки  $R$  – біля поверхні деталі (рис. 8.12), записують так:

ознака адреси ( $X$  або  $R$ );  
знак координати (+ або -);

значення переміщень уздовж осей  $X$  і  $R$ , переведені в соті частки міліметра і доповнені до шести цифр шляхом дописування нулів зліва. Максимальний розмір переміщення вздовж осей  $X$ , що допускається пристроєм, 1999,99 мм, а по  $R$  – 0999,99 мм.

Приклад:

Звичайний запис	Запис у вигляді слова керуючої програми
$X = +137,975$ мм	$X + 013797$
$R = -53,56$ мм	$R - 005356$

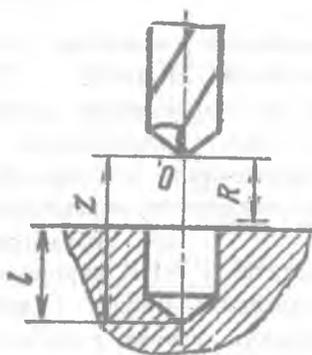


Рис. 8.12. Свердлування отворів у заготовці на верстатах із ЧПК

Слова, що несуть цифрову інформацію про переміщення вздовж осей  $Y$  і  $Z$ , записують аналогічно, тільки значення переміщення вздовж цих осей, переведені в соті частки міліметра, доповнюються до п'яти цифр шляхом дописування

нулів зліва. Максимальний розмір переміщень дорівнює 999,99 мм.

Приклад:

Звичайний запис	Запис у вигляді слова керуючої програми
$Y = -65,36$ мм	$Y + 06536$
$Z = -+4,837$ мм	$Z + 00484$

Слова, що несуть інформацію про корекцію інструмента, містять ознаку адреси  $L$  і комбінації з двох цифр від 01 до 09. Розмір корекції встановлюють декадними перемикачами на пульті пристрою ЧПК верстата. Ця команда необхідна для корегування вильоту інструмента в період налагодження верстата.

Слова, що визначають вибір частоти обертання шпинделя і подачі, містять адреси  $S$  і  $F$  і кодують їх двозначним числом (методом геометричної прогресії). Відповідно до паспортних даних для верстата 2P135Ф2 коди відповідають таким значенням частоти обертання шпинделя  $n$ :

Код	S01	S02	S03	S04	S05	S06
$n, \text{хв.}^{-1}$	31,5	45	63	90	125	180
Код	S07	S08	S09	S10	S11	S12
$n, \text{хв.}^{-1}$	250	355	500	710	1000	1400

і подач  $S$ :

Код	F01	F02	F03	F04	F05
$S, \text{мм} / \text{хв.}$	10	12,5	16	20	25
Код	F10	F11	F12	F13	F14
$S, \text{мм} / \text{хв.}$	80	100	125	160	200

Слова, що несуть інформацію про допоміжні функції  $M$ , кодуються згідно загальних правил [4]. З підготовчих команд у свердлувальних верстатах із ЧПК застосовують дві групи:

- функції загального призначення (G60 і G62);
- функції сталих циклів (G81 – G96).

Функція G62 (грубе позиціонування) використовується:

- для організації постійного керування по осі Z. У даному випадку вона програмується з координатами R і Z. Цикл здійснюється в такий спосіб: швидкий підвід інструмента до координати Z і зупинка;
- для програмування швидкого переміщення інструмента вздовж осі Z до координати R. У даному випадку G62 програмується тільки з координатою R;
- для програмування робочого руху (фрезерування) вздовж осей X і Y.

Функція G60 (точне позиціонування) використовується:

- для скасування функції G62;
- для програмування робочого руху (фрезерування) вздовж осей X і Y.

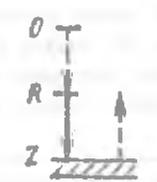
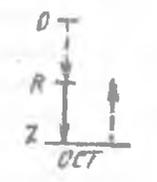
Функції сталих циклів (табл. 8.4), окрім G80, програмуються з координатами R і Z і передбачені для функціонування тільки по осі Z.

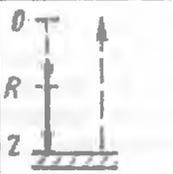
Всі розглянуті слова можуть записуватися у вигляді кадрів, які містять інформацію для виконання частини операції обробки заготовки, а також для переміщення робочого органу з однієї точки в іншу при позиціонуванні. Для скорочення часу циклу роботи по осі Z зміну позиції револьверної голівки рекомендується поєднувати з позиціонуванням по осях X і Y.

Таблиця 8.4

Функції постійних циклів

Циклограма	Код функції	Найменування функцій постійних циклів	Робота верстата
-	80	Скасування постійних циклів	Скасування функції G81, G82, G84, G86, G91, G92, G94, G96

Циклограма	Код функції	Найменування функцій постійних циклів	Робота верстата
	81	Свердлування	Швидкий підвід інструмента до R, робоча подача до Z (обробка заготовки) та швидкий відвід інструмента до R
	82	Підрізання торця	Швидкий підвід інструмента до R, робоча подача до Z, зупинки після обробки на координаті Z і швидкий відвід до R
	84	Різенарізання	Швидкий підвід інструмента до R, робоча подача до Z, реверс і відвід інструмента на робочій подачі до R
	86	Розточування	Швидкий підвід інструмента до R, подача до Z, зупинка обертання шпинделя і швидкий відвід до R
	91	Свердлування	Швидкий підвід інструмента до R, подача до Z, швидкий відвід до площини перетину вісей "плаваючого" нуля, тобто до Z = 0

Циклограма	Код функції	Найменування функцій постійних циклів	Робота верстата
	92	Підрізування торця	Швидкий підвід інструмента до R, подача до Z, зупинка, швидкий відвід до Z = 0
	94	Різенарізання	Швидкий підвід інструмента до R, подача до Z, реверс шпинделя до R, швидкий відвід до Z = 0
	96	Розточування	Швидкий підвід інструмента до R, подача до Z, зупинка шпинделя, швидкий відвід до Z = 0

**Задача 8.5.** Розробити КП обробки двох отворів у деталі «Плита» (рис. 8.13) на свердлувальному верстаті з ЧПК.

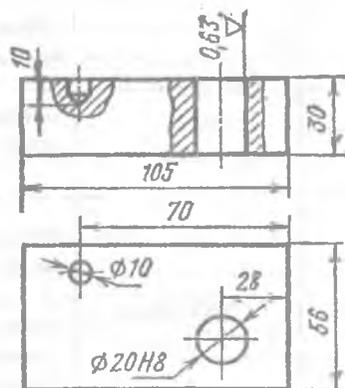


Рис. 8.13 Ескіз плити (до задачі 8.5)

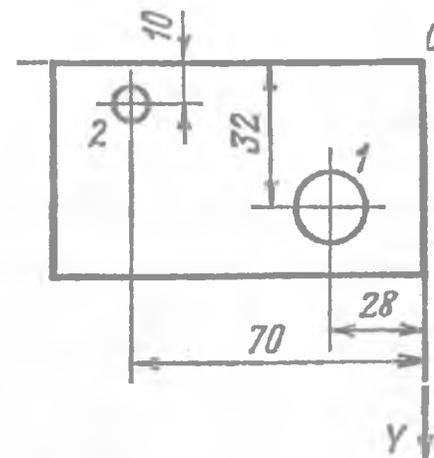


Рис. 8.14. Розрахунково-технологічна карта (до задачі 8.5)

**Розв'язання:** Відповідно до розмірів заготовки вибирають свердлувальний верстат із ЧПК 2P135Ф2, оснащений револьверною голівкою.

Відповідно до послідовності виконуваних робіт складаються розрахунково-технологічна (РТК) (рис. 8.14) і технологічна карти обробки деталі (табл. 8.5). Ці документи містять усю необхідну інформацію для визначення послідовності обробки отворів, призначення інструментів, режимів різання і вибору за ними кодів частоти обертання шпинделя, швидкості подачі та корекції. Положення деталі щодо „плаваючого” нуля по осях X і Y визначене в РТК, а по осі Z приймається рівним 100 мм. КП у цьому випадку може бути складена в такому виді:

```

N001 T01 S10 F14 L01 X+000000 Y+000000 ПС
N002 X+002800 Y+032000 ПС
N003 G91 R+010000 Z+106000 ПС
N004 T02 S08 F14 L02 X+002800 Y+032000 ПС
N005 G91 R+010000 Z+135000 ПС
N006 T03 S06 F14 L03 X+002800 Y+032000 ПС
N007 G91 R+010000 Z+135000 ПС
N008 T04 S03 F05 L04 X+002800 Y+032000 ПС

```

N009 G91 R+010000 Z+13500 ПС  
 N010 T05 S08 F10 L05 X+002800 Y+03200 ПС  
 N011 X+007000 Y+01000 ПС  
 N012 G91 R+010000 Z+01000 ПС  
 N013 X+000000 Y+00000 ПС

Таблиця 8.5

Технологічна карта обробки деталі «Плита»  
 на верстаті 2P135Ф2

Діаметр отвору, мм	Послідовність переходів	Різальний інструмент і його діаметр, мм	Довжина робочого ходу, мм	Позиція інструмента	Код частоти обертання шпинделя	Код швидкості подачі	Корекція
20H8	Центрування	Центрувальне свердло, Ø20	6	01	S10	F14	L01
	Свердлування	Свердло, Ø18,7	35	02	S08	F10	L02
	Зенкерування	Зенкер, Ø19,8	35	03	S06	F12	L03
	Розвертання	Розвертка, Ø20H8	35	04	S03	F05	L04
10	Свердлування	Свердло, Ø10	10	05	S08	F10	L05

**Задача 8.6.** Розробити КП обробки отворів у заготовці зі сталі 45 (рис. 8.15) на свердлувальному верстаті з ЧПК.

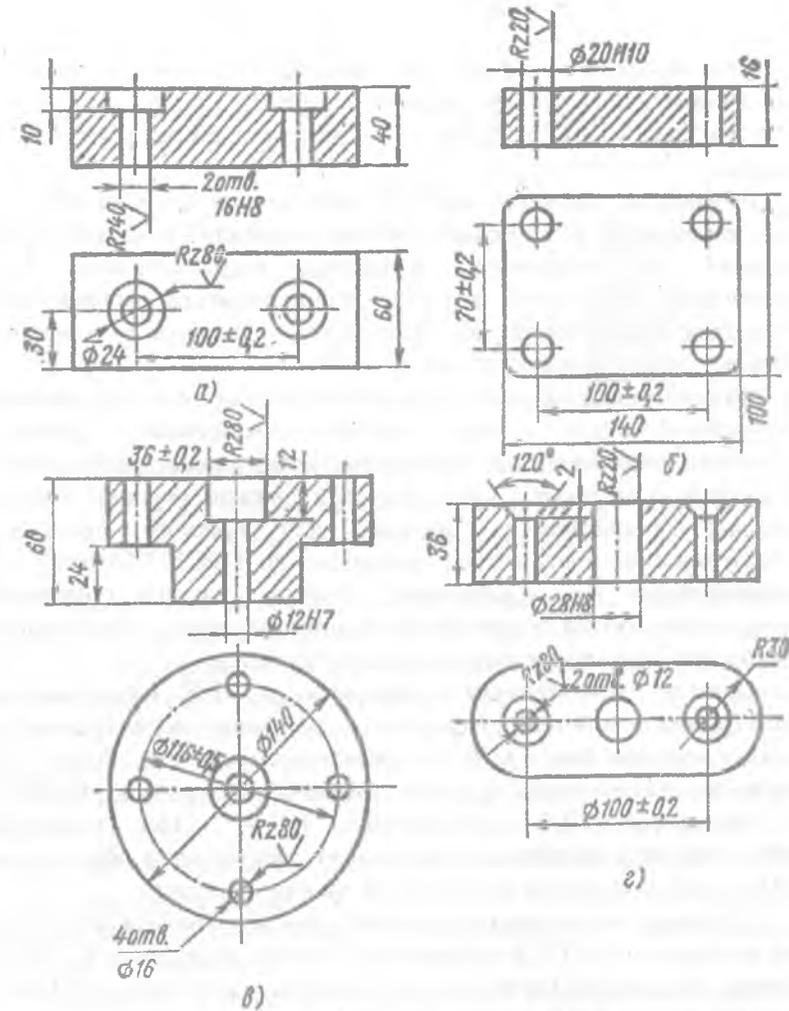


Рис. 8.15. Ескізи деталей (до задачі 8.6)

#### 8.4. Підготовка керуючих програм для токарних верстатів із ЧПК

При обробці на токарних верстатах із ЧПК використовують дві основні схеми установлювання заготовки: у центрах – для деталей типу валів; у патронах – для деталей типу втулок і дисків.

У робочому просторі верстата розташовані дві координатні осі: повздовжня  $Z$  співпадає з віссю шпинделя і проходить від патрона до інструмента; поперечна (горизонтальна  $X$ ) спрямована від деталі вправо, якщо дивитися вздовж осі шпинделя від патрона до інструмента, і лежить у площині опорних точок торців кулачків патрона.

Розроблювання керуючої програми починається зі складання операційної карти, в якій задається послідовність обробки заготовки по переходах на вибраному устаткуванні, вибирається різальний інструмент і призначаються режими різання. Більш детально послідовність обробки для кожного переходу показується на карті ескізів відповідно до ГОСТ 3.1418-82, де зображуються всі оброблювані поверхні, дається прив'язка інструмента або осі до початку координат верстата і показується траєкторія руху різальних кромки інструментів.

Сучасні типи токарних верстатів із ЧПК оснащуються контурними системами управління, найбільш досконалими з яких є системи типу *CNC* з вмонтованими в них ЕОМ. До таких верстатів можна віднести токарний верстат мод. 16K20Г1 з пристроєм ЧПК "Електроніка НЦ-31". Цей пристрій забезпечує впровадження, редагування, автоматичну обробку за КП, ручне управління верстатом із пульта пристрою.

У процесі підготування керуючих програм обробки заготовки на верстатах із ЧПК узгоджуються системи координат верстата (точка А), деталі (точка У) та інструмента (точка ІТ) (рис. 8.16). Система ЧПК дає можливість оперативно переходити від нульової точки верстата до нульової точки заготовки, забезпечує прив'язку до неї вихідної точки (ІТ) інструмента. У наступних прикладах для простоти будуть показуватися тільки координати ІТ положення інструмента щодо системи координат деталі.

Як основні команди у системі ЧПК для токарних верстатів використовуються наступні:

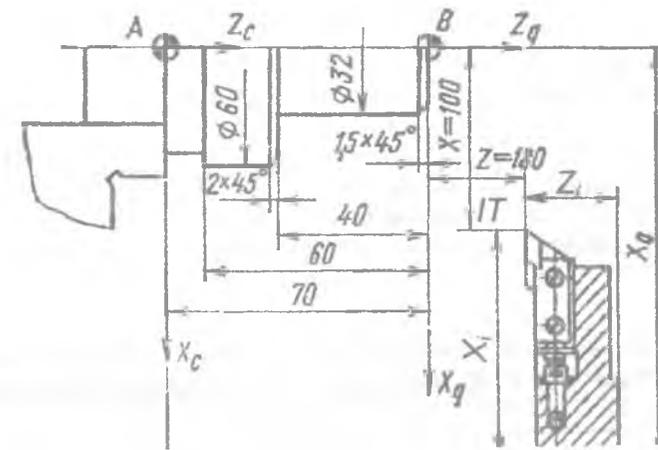


Рис. 8.16. Схема узгодження систем координат верстата  $X_c, Z_c$  деталі  $X_d, Z_d$  і вихідної точки інструмента (ІТ) при програмуванні токарної обробки (до задачі 8.7)

Переміщення інструмента може задаватися в абсолютній і відносній системах відліку. В абсолютній системі відліку переміщення проводяться відносно попередньої запрограмованої точки. Наявність ознаки визначає відносний метод завдання розмірів, відсутність його – абсолютний. Завдання на переміщення уздовж осі  $X$  або вздовж осі  $Z$  відображається відповідно командами з буквеними адресами  $X$  і  $Z$ . Формат адрес відповідно  $X+06$  і  $Z+06$ . Одній дискреті по осі  $Z$  відповідає переміщення  $0,01$  мм, а по осі  $X$  –  $0,005$  мм. При такій дискреті значення  $X$  задається на діаметр, що спрощує програмування переміщень із безпосереднім використанням даних креслення деталі.

Приклади: 1. Перемістити інструмент у точку з координатою  $X = 10$  мм і потім у точку з координатою  $Z = 30$  мм (абсолютна система відліку):

```
... ..
N10 X2000
N11 Z3000
... ..
```

(Тут і далі номери кадрів приймаються довільно).

2. Перемістити інструмент по координаті  $X$  на 20 мм і потім по координаті  $Z$  – на 55 мм (відносна система відліку):

... ..  
 N20 X4000   
 N21 Z5500 

3. Перемістити інструмент у точку з координатами  $X = 12,5$  мм і  $Z = -32$  мм з одночасним переміщенням по обох осях:

... ..  
 N30 X2500 \*  
 N31 Z - 3200  
 ... ..

Знак "\*" – це ознака належності слова до команди. У розглянутому прикладі він вказує на одночасне виконання команд, заданих у кадрах  $N30$  і  $N31$ . Такий поділ формату команд на елементарні кадри спрощує впровадження та введення редагування КП безпосередньо на пульті пристрою ЧПК верстата.

Програмування швидкості головного руху задається двійково-десятковим кодом у форматі  $S02$ . Кожному коду відповідає певна частота обертання шпинделя,  $хв^{-1}$ , об'єднана для трьох діапазонів. Вмикання відповідного діапазону здійснюється за допомогою допоміжних функцій  $M41$ ,  $M42$  (діапазон I, II),  $M43$  (діапазон III),  $M44$  (діапазон IV) відповідно до табл. 8.6. Напрямок обертання шпинделя програмується допоміжними функціями  $M3$  – за годинниковою стрілкою,  $M4$  – проти годинникової стрілки.

Приклад: Задати обертання шпинделя по годинниковій стрілці з  $n = 500$   $хв^{-1}$ .

... ..  
 N12 M3

N13 M44  
 N14 S05

Програмування робочої подачі здійснюється за допомогою підготовчих функцій:  $G94$  – для хвилинної подачі,  $мм/хв.$ ;  $G95$  – для подачі,  $мм/об$ . Величина подачі визначається кадром із форматом адреси  $F04$ .

Таблиця 8.6

Код швидкості головного руху

Діапазон $M$	Код швидкості								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09
$M42$	12,5	18	25	35,5	50	71	100	140	200
$M43$	50,0	71	100	140,0	200	280	400	560	800
$M44$	125,0	180	250	355,0	500	710	1000	1400	2000

Приклади:

1. Задати в КП робочу подачу 200  $мм/хв.$ :

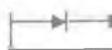
... ..  
 N22 G94  
 N23 F200  
 ... ..

2. Задати в КП робочу подачу 200  $мм/хв.$ :

... ..  
 N32 G95  
 N33 F150  
 ... ..

Для переміщення (позиціювання) інструмента при допоміжному ході по координатах  $X$  і  $Z$  вказується ознака швидкого ходу ~.

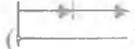
Приклад: Задати в КП переміщення по осі  $X$  на швидкому ході на 50 мм у відносній системі відліку:

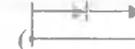
... ..  
 N35 ~ X10000 

Програмування обробки фасок під кутом  $45^\circ$  здійснюється командою з буквенною адресою  $X$  і  $Z$  з ознакою  $+45^\circ$  або  $-45^\circ$ . При програмуванні фаски необхідно вказати в команді ознакою  $+45^\circ$  або  $-45^\circ$  напрямок руху по координаті, адреса якої відсутня в команді. Всі можливі випадки наведені в табл. 8.7.

Програмування обробки криволінійних поверхонь, в яких утворюючий контур являє собою дугу з довільним кутом, проводиться за допомогою кругової інтерполяції й описується командами підготовчої функції:  $G02$  – рух по колу за годинниковою стрілкою;  $G03$  – рух по колу проти годинникової стрілки. Допускається позначення цих команд у вигляді  $G2$ ,  $G1$ . Кожна з цих команд програмує рух тільки всередині одного квадранта (однієї чверті кола).

Формат команд  $G2$  і  $G3$  має вигляд:

$G2 (G3), X$  (  ) ...,  $Z$  (  ) ...,  $P1$  ...  $P2$  ...

де  $X$  (  ) ...,  $Z$  (  ) ... – величина збільшень відповідно по осям  $X$  і  $Z$  або ж кінцевої координати точки дуги при роботі в абсолютній системі відліку;  $P1$  і  $P2$  – проекції від початкової точки дуги до центра дуги відповідно по осях  $X$  і  $Z$ , причому,  $P1$  і  $P2$  задаються тільки на радіус.

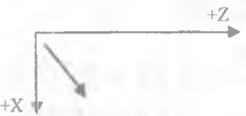
Програмування перехідних поверхонь (галтелей) і закруглень, що є окремим випадком обробки криволінійних поверхонь у вигляді дуг кіл із центральним кутом  $90^\circ$ , проводиться за допомогою підготовчих функцій:  $G12$  – закруглення за годинниковою стрілкою;  $G13$  – закруглення проти годинникової стрілки. Формат команд  $G12$  і  $G13$  має вигляд:

$G12 (G13), X$  (  ) ...,  $Z$  (  ) ...

де  $X$  – розмір збільшення по осі  $X$  або кінцева точка дуги при роботі в абсолютній системі відліку;  $Z$  – те ж по осі  $Z$ .

Таблиця 8.7

Можливі способи обробки фасок

Напрямок різання	Можливі способи	
	Задано $X$	Задано $Z$
	$+45^\circ X$ ...	$-45^\circ Z$ ...
	$+45^\circ X$ ...	$+45^\circ Z$ ...
	$+45^\circ X$ ...	$-45^\circ Z$ ...

**Задача 8.7.** Скласти КП траєкторії руху інструмента при обробці шийок вала діаметрами 32 і 60 мм. Вихідну точку (IT) і кінцеву (КТ) прийняти з координатами  $X=100$  мм,  $Z=180$  мм (рис.8.16).

**Розв'язання:**

$N10 \sim X2800 *$   
 $N11 Z50$   
 $N12 X3200 - 45^\circ$   
 $N13 Z - 4000$   
 $N14 X5600$   
 $N15 X6000 - 45^\circ$   
 $N16 Z - 6000$   
 $N17 X20000 *$   
 $N18 Z18000$

**Задача 8.8.** Скласти КП (для верстата з ЧПК мод. 16К20Т1) траєкторії руху інструмента при обробці поверхонь заготовки діаметрами 40, 50 і 70 мм (рис. 8.17). Вихідну і кінцеву точки прийняти з координатами  $X=110$  мм і  $Z=180$  мм.

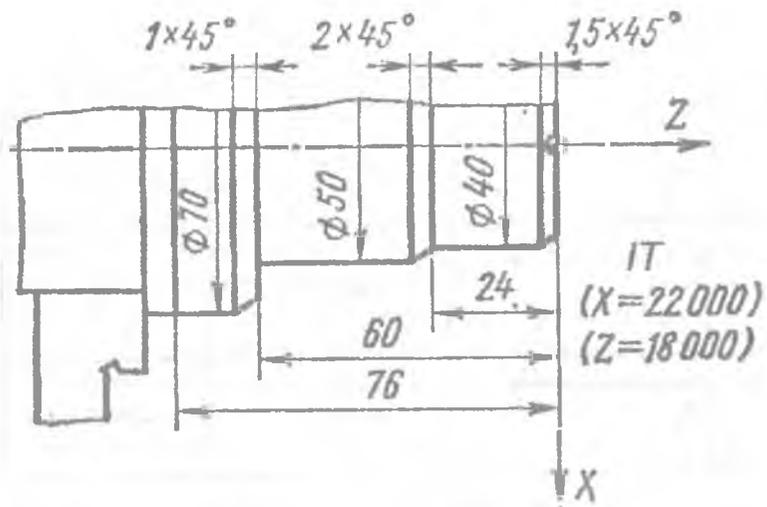


Рис. 8.17. Ескіз заготовки (до задачі 8.8.)

**Задача 8.9.** Скласти КП для верстата з ЧПК 16K20T1 траєкторії руху інструмента при обробці криволінійного профіля заготовки, що з'єднує діаметри 24 і 40 мм (рис. 8.18).

**Розв'язання:**

- ... ..
- N11 G2\*
- N12 X4000\*
- N13 Z-1600\*
- N14 P2400\*
- N15 P-1600
- ... ..

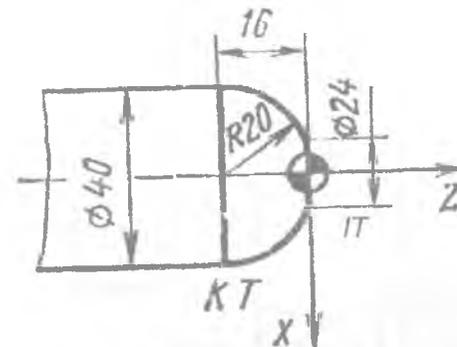


Рис. 8.18. Ескіз заготовки (до задачі 8.9)

**Задача 8.10.** Скласти КП (для верстата з ЧПК 16K20T1) траєкторії руху інструмента при обробці заготовки на довжині 70 мм від торця (рис. 8.19). Вихідну та кінцеву точки прийняти з координатами  $X=175$  мм,  $Z=200$  мм.

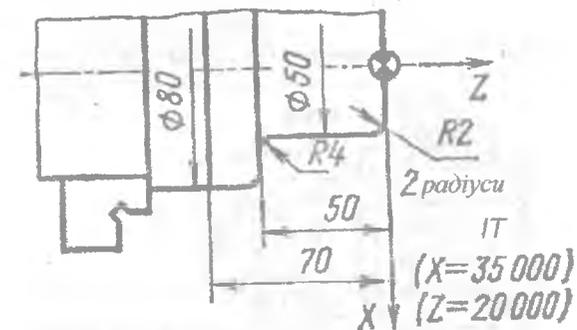


Рис. 8.19. Ескіз заготовки (до задачі 8.10)

**Розв'язання:**

- ... ..
- N11 ~ Z100
- N12 ~ X0
- N13 Z0
- N14 X4600

- N15 G12\*
- N16 X5000\*
- N17 Z - 200
- N18 Z - 4600
- N19 G13\*
- N20 X5800\*
- N21 Z - 5000
- N22 X7600

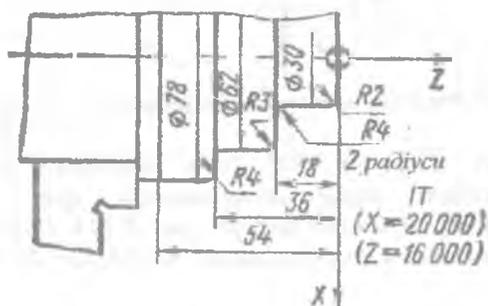


Рис. 8.20. Ескіз заготовки (до задачі 8.11)

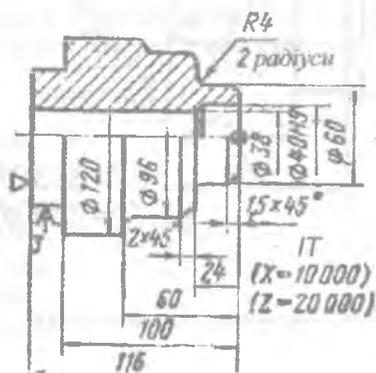


Рис. 8.21. Ескіз заготовки (до задачі 8.12)

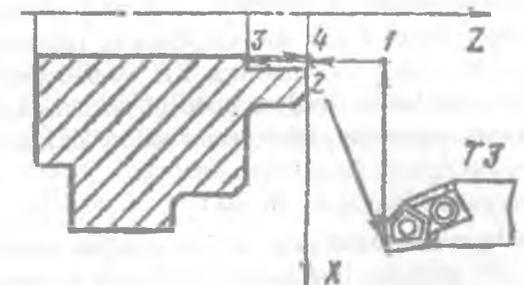
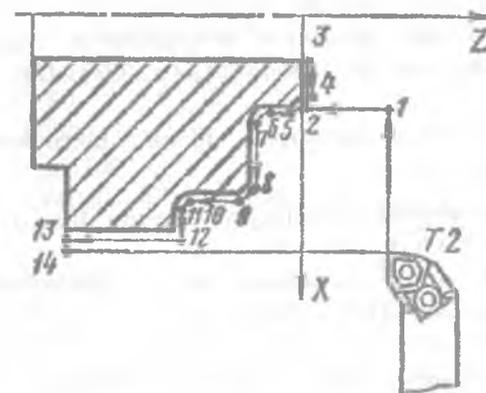
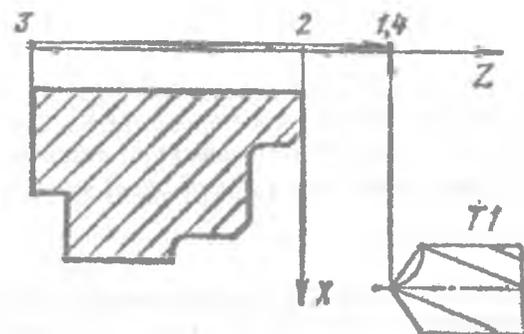


Рис. 8.22. Схема обробки заготовки (до задачі 8.12)

У кадрах N24 і N25 переміщення для прикладу дані у відносній системі відліку.

**Задача 8.11.** Скласти КП траєкторії руху інструмента для верстата з ЧПК 16К20Т1 при обробці виділеного контуру заготовки (рис. 8.20), що містить перехідні поверхні. Вихідну та кінцеву точки прийняти з координатами  $X = 100$  мм,  $Z = 160$  мм.

**Задача 8.12.** Скласти КП обробки втулки зі сталі 45 на токарному верстаті з ЧПК 16К20Т1 (рис. 8.21). Заготовка – штампівка.

**Розв'язання:** Для обробки відмічених поверхонь втулки (рис. 8.22) необхідно визначити послідовність переходів із призначенням різальних інструментів [22 с. 237–247]:

1. Свердлити отвір діаметром 38 мм. Інструмент T1 – свердло діаметром 38 мм.
2. Обточити поверхні зовнішнього контуру. Інструмент T2 – прохідний різець (ГОСТ 21151–75).
3. Розточити отвір діаметром 40Н9. Інструмент T3 – розточувальний різець (ГОСТ 20874–75).

Приймаємо вихідну точку IT відносно початку координат (рис. 7.21) з  $X = 100$  мм і  $Z = 200$  мм. Послідовність виконання кожного переходу доцільно подати у вигляді схеми обробки заготовки (рис. 7.22), що відображає траєкторії руху центра інструмента. Далі складається КП із вибором частоти обертання шпинделя (табл. 8.6) та робочої подачі залежно від виду виконуваного переходу. Пояснення змісту окремих кадрів наведені в дужках:

- N0 T1 (свердло діаметром 38 мм)
- N1 M3 (обертання шпинделя за годинниковою стрілкою)
- N2 M44 (IV діапазон швидкості обертання шпинделя)
- N3 S03 (код швидкості обертання шпинделя –  $250$  хв.<sup>-1</sup>)
- N4 G95 (подача в мм / об)

- N5 F30 (робоча подача 0,3 мм / об)
- N6 - X0 (швидке переміщення у точку з  $X = 0,0$ )
- N7 - Z200 (швидке переміщення у точку з  $Z = 2$  мм)
- N8 Z - 12500 (переміщення інструмента в точку з координатою  $Z = -125$  мм)
- N9 - Z200 (швидке переміщення у точку з  $Z = 2$  мм)
- N10 ~ X10000 \* ] (швидкий хід у вихідну точку IT)
- N11 Z20000 ]
- N12 T2 – прохідний різець
- N13 M3
- N14 M43 (III діапазон швидкості обертання шпинделя)
- N15 S8 (код швидкості обертання шпинделя  $560$  хв.<sup>-1</sup>)
- N16 F25 (робоча подача 0,25 мм / об)
- N17 ~ X6400
- N18 ~ Z0
- N19 X3700
- N20 ~ X5700
- N21 X6000 - 45 (обробка фаски  $1,5 \times 45^\circ$  на діаметрі 60 мм)
- N22 Z - 2000
- N23 G13 \*
- N24 X6800 \* (обробка перехідної поверхні)
- N25 Z - 2400
- N26 X9200
- N27 X9600 - 45° (обробка фаски  $2 \times 45^\circ$  на діаметрі 96 мм)
- N28 Z - 5600
- N29 G13 \* (обробка перехідної поверхні)
- N30 X12000 \* (обробка перехідної поверхні)
- N31 Z6000 (обробка перехідної поверхні)
- N32 X12000
- N33 Z - 10000
- N34 X100  (відвід інструмента по координаті X на 1 мм у відносній системі відліку)
- N35 ~ X10000 \*

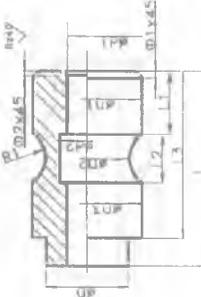
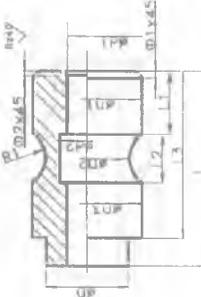
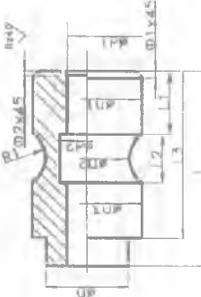
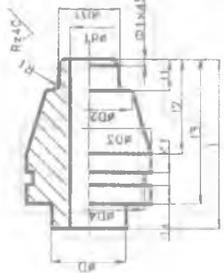
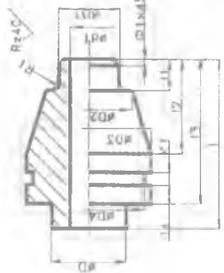
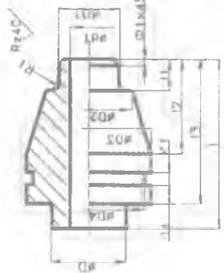
- N36 Z20000
- N37 T03 – розточний різець
- N38 M3
- N39 M44
- N40 S06 (код частоти обертання шпинделя 710 хв.<sup>-1</sup>)
- N41 F10 (робоча подача 0,1 мм/об)
- N42 ~ X3800
- N43 ~ Z0
- N44 Z – 2400
- N45 ~ Z2500
- N46 ~ X10000 \*
- N47 Z20000
- N48 M30 (кінець керуючої програми)

**Задача 8.13.** Скласти КП обробки втулки на токарному верстаті з ЧПК 16K20T1, заготовка – пруток (табл. 8.8). Попередньо оброблена поверхня, яку використовують при закріпленні заготовки, має діаметр D.

Таблиця 8.8

Вихідні дані до задачі 8.13. Розміри деталей, мм

№ вар.	Ескіз	D1	D2	D3	D4	I1	I2	I3	I4	d1	d2	R1	R2	k1	φ1	φ2	Матеріал
1		24	32	48	48	24	40	64	12	12H8	-	2	4	-	2	1,5	Сталь 45
2		36	50	72	72	36	44	88	16	16H8	-	4	4	-	4	2,0	Чавун СЧ 20
3		48	60	96	96	40	76	100	24	24H8	-	4	5	-	4	2,0	Бронза Бр010Ц2
4		32	44	56	40	20	44	66	10	14H10	18	2	3	2	2	1,5	Бронза Бр010Ц2
5		42	60	72	56	34	62	88	16	18H10	24	4	2	2	2	2,0	Сталь 45
6		56	80	120	72	40	76	100	20	24H10	32	6	4	4	4	2,0	Чавун СЧ 20

№ вар.	Ескіз	D1	D2	D3	D4	I1	I2	I3	I4	d1	d2	R1	R2	k1	φ1	φ2	Матеріал
7		40	32	40	-	20	16	20	-	16H10	20	20	-	-	2	1,5	Латунь Л60
8		60	50	60	-	30	20	30	-	32H10	36	30	-	-	4	2,0	Чавун СЧ 20
9		80	60	80	-	40	30	40	-	42H10	48	56	-	-	6	2,0	Сталь 45
10		32	42	56	48	28	68	84	6	16H8	-	2	-	4	1,5	-	Бронза Бр010Ц2
11		48	66	88	78	40	86	110	7	24H8	-	4	-	6	2	-	Чавун СЧ 20
12		64	84	120	104	60	106	130	8	36H8	-	6	-	8	4	-	Сталь 45

### 8.5. Автоматизація програмування обробки на верстатах із ЧПК

Складність і багатогранність завдань, які вирішуються при розробці КП, викликали необхідність створення систем автоматизованого програмування (САП) для верстатів із ЧПК, основаних на використанні сукупності математичного, програмного забезпечення та проблемно-орієнтованої мови для запису і впровадження в ЕОМ вихідної інформації [4, 14].

Можливості САП у значній мірі залежать від вхідної мови, її простоти, доступності оволодіння нею, легкості адаптації її до змінюваних можливостей системи. Ці вимоги багато в чому характерні для широкого розповсюдження системи ТЕХТРАН, яку використовують для підготовки керуючих програм для фрезерних, токарних, свердлувальних верстатів із ЧПК і багатоцільових верстатів [14, 22] при проектуванні на найбільш поширених типах ЕОМ. Вхідна мова цієї системи дозволяє: описувати геометричні об'єкти – точки, прямі, кола, площини і вектори; описувати будь-які плоскі контури, що складаються з відрізків прямих і дуг кола; задавати поточковий рух і вертикальні переміщення для керування глибини обробки; задавати перетворення геометричних об'єктів і траєкторії інструмента.

Крім того, у вхідній мові є оператори керування пост-процесорами, що задають необхідні технологічні команди. Вихідний текст програми, написаний на вхідній мові, складається з послідовних операторів вхідної мови. Кожен оператор вхідної мови формується з операндів відповідно до синтаксичних правил мови. Операнди, в свою чергу, складаються з елементів мови. Операнд може бути ім'ям, числом, службовим словом або модифікатором, який визначає ознаку для вибору одного з декількох можливих вирішень.

Для написання тексту програми використовують великі букви російського алфавіту: А ... Я; цифри 0...9; знаки +, -, /, ×, ,, =, □ (прогаліна), %, (, ), :, //; букви латинського алфавіту А, В, С. Головними елементами мови є матеріальні числа, імена та службові слова.

Матеріальні числа мають містити десяткову точку або показник порядку, причому, після точки необхідна принаймні одна цифра. Наприклад: 15.0; 1.56; 003.

Імена використовуються для звертання до змінних об'єктів програми, передачі, керування та виклику макрокоманд. Ім'я має містити від 1 до 8 букв і (або) цифр, але обов'язково починатися з букви. Наприклад: А, М80, ДЕТАЛЬ, Т11Р55. Якщо поруч з ім'ям у тексті знаходиться інше ім'я, число або службове слово, то вони відокремлюються прогалиною або комою.

Службові слова використовуються системою для спеціальних цілей, наприклад, в якості назва оператора руху, модифікатора тощо. Список найбільш використовуваних службових слів, з урахуванням виду їх написання:

1. ДЕТАЛЬ	12. КАСАТ	23. ПЕРЕНОС	34. ВНЕ
2. КОНЕЦ	13. КАС	24. УГОЛ	35. БОЛШ
3. ИЗ	14. НА	25. ПЕРПЕН	36. МЕНШ
4. ИДИ	15. ЗА	26. ПАРЛЕЛ	37. СЛЕВА
5. ПРИРАШ	16. ДО	27. РАДИУС	38. СПРАВА
6. ВТОЧКУ	17. ПЕРЕСЕЧ	28. ЦЕНТР	39. ПОЧС
7. ВПЕРЕД	18. ТОЧКА	29. ХБ	40. ПРЧС
8. НАЗАД	19. ВЕКТОР	30. ХМ	41. ОБРАБ
9. ВЛЕВО	20. ПРЯМАЯ	31. УБ	42. ИНСТР
10. ВПРАВО	21. ОКРУЖН	32. УМ	43. КОРРЕК
11. ПЛ	22. ПЛОСК	33. ВНУТРИ	44. ВКЛ

Службові слова не можуть бути використані як імена.

Вхідна мова системи ТЕХТРАН допускає застосування об'єктів таких типів: ціле число, матеріальне число, логічний, геометричний (точка, пряма, коло), вектор, площа, матриця і тощо. Тип імені, використовуваного в програмі, фіксований, і протягом усієї програми воно має позначати об'єкти тільки цього імені.

Програма в системі ТЕХТРАН складається із сукупності операторів вхідної мови, кожен із яких записується на окремому рядку і пробивається на одній перфокарті. Якщо оператор не поміщається на одному рядку, то наприкінці рядка ставиться символ & і наступний рядок використовується для продовження.

Якщо потрібно при написанні програми зазначити пояснення і коментарі, то використовується символ #, після якого текст у рядку друкується, але не сприймається транслятором. Прогалина також є значущим символом і використовується як розділювач, тому всередині числа або імені його простановка не допускається.

Геометричний опис об'єктів деталі в системі ТЕХТРАН складається з перерахування опорних елементів, через які визначається об'єкт модифікаторів, що служать для вибору необхідного випадку з декількох можливих, і службових слів, які спрощують читання тексту програми, але необов'язкових для її написання. Опорним елементам присвоєні умовні імена. У конкретній програмі на місці цих імен мають знаходитися імена геометричних об'єктів, визначені раніше. Розглянемо приклади опису найбільш поширених видів геометричних об'єктів.

Способи задання точки. В описі точки можуть використовуватися наступні групи модифікаторів:

1. Модифікатори вибору точки з двох можливих:

*ХБ* – координата *X* більша; *ХМ* – координата *X* менша; *УБ* – координата *Y* більша; *УМ* – координата *Y* менша. Модифікатор цієї групи вибирає з двох можливих точок ту, в якій значення вказаної координати відповідно більше або менше.

2. Модифікатори напрямку відліку кута: *ПОЧС* – по годинниковій стрілці; *ПРЧС* – проти годинникової стрілки. Кут задаються в градусах і долях градуса.

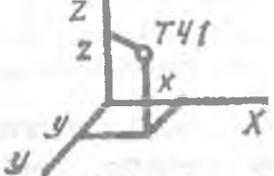
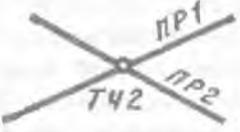
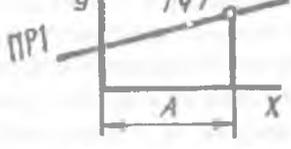
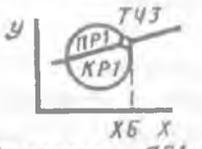
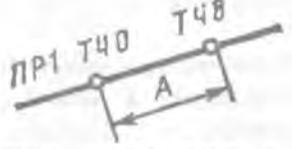
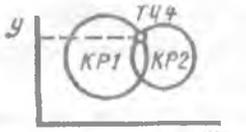
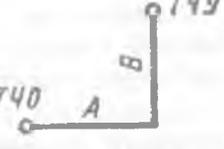
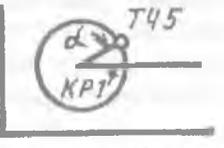
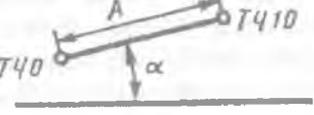
3. Модифікатори, що вказують координату точки, заданої в геометричному визначенні; *ХКООРД* – координата *X*; *УКООРД* – координата *Y*.

Задання точки може бути виконано різноманітними способами. У таблиці 8.9 показані найбільш типові випадки опису точки, що отримані з загальних правил опису та різноманітних видів модифікаторів, відзначених зірочкою \*. Так, для ТЧЗ другий варіант запису має вид ТЧЗ = =ПЕРЕСЕЧ, ПР1, КР1, УБ.

Службові слова, використовувані для опису точки, ПЕРЕСЕЧ (перетин) і ЦЕНТР (центр кола) можуть бути пропущені.

Таблиця 8.9

Способи задання точки

 <p><math>T41 = x, y, z</math></p>	 <p><math>T46 = \text{центр}, KR1</math></p>
 <p><math>T42 = \text{пересеч}, PR1, PR2</math></p>	 <p><math>T47 = PR1, X \text{ коорд.}^* A</math></p>
 <p><math>T43 = \text{пересеч}, PR1, KR1, XB^*</math></p>	 <p><math>T48 = PR1, T40, A, XB^*</math></p>
 <p><math>T44 = \text{пересеч}, KR1, KR2, YB^*</math></p>	 <p><math>T49 = T40, \text{перенос}, A, B</math></p>
 <p><math>T45 = KR1, PR4C^*, \alpha</math></p>	 <p><math>T410 = T40, \text{угол}, \alpha, A</math></p>

Способи задання прямої. Варіанти задання прямої складаються з перерахування опорних елементів, за якими визначається пряма, модифікаторів, які служать для вибору необхідного випадку, і службових слів, що полегшують читання текстів програм. При визначенні прямих в системі ТЕХТРАН необхідно пам'ятати, що всі прямі лежать у площині  $XU$  і не мають напрямків і розміру (безкінечні). У визначеннях прямої використовуються такі групи модифікаторів:

1. Модифікатори, що вибирають одну пряму з двох, дотичних до кола:  $XM$  – вибирається пряма, точка дотику якої має меншу координату по  $X$ , а  $XB$  – більшу координату по  $X$ ;  $YM$  – вибирається пряма, точка дотику якої має меншу координату по  $Y$ , а  $YB$  – більшу координату по  $Y$ .

2. Модифікатори, що вказують, з якої сторони обумовлена пряма доторкується до кола:  $СПРАВА$  – точка торкання прямої знаходиться справа від центру кола, якщо дивитися в напрямку від першого геометричного об'єкта до другого.  $СЛЕВА$  – пряма торкається кола зліва (за тих самих умов розгляду геометричних об'єктів).

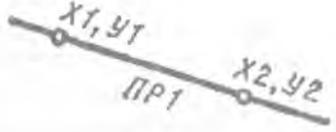
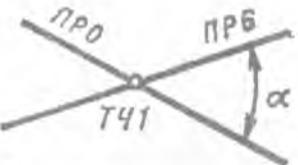
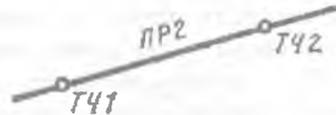
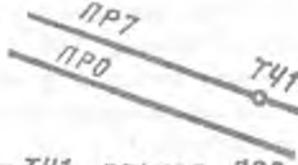
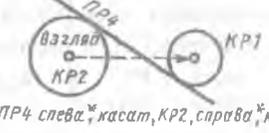
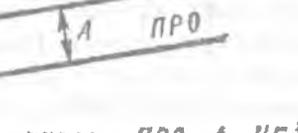
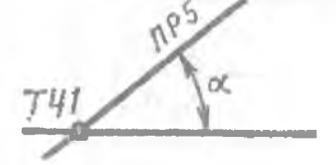
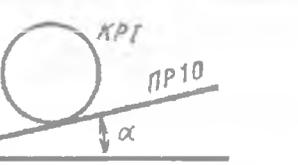
3. Модифікатори, що вказують положення прямої відносно іншої;  $ПАРЛЕЛ$  – паралельно,  $ПЕРПЕН$  – перпендикулярно.

У табл. 3.15 наведені найбільш типові випадки опису прямої. Залежно від послідовності опису і виду модифікаторів, відзначених зірочкою, можуть бути реалізовані різноманітні способи опису прямої. Наприклад, якщо при описі  $PR4$  змінити напрямок погляду і дивитися з боку кола  $KR1$ , то варто записати:  $PR4=СЛЕВА, КАСАТ, KR1, СПРАВА, КАСАТ, KR2$ .

Службові слова, використовувані для опису прямої,  $КАСАТ$  (касательно) і  $УГОЛ$  допускається пропускати.

Таблиця 8.10

Засоби задання прямої

 <p><math>PR1 = X1, Y1, X2, Y2</math></p>	 <p><math>PR6 = PR0, TЧ1, \text{узол}, \alpha</math></p>
 <p><math>PR2 = TЧ1, TЧ2</math></p>	 <p><math>PR7 = TЧ1, \text{парлел}, PR0</math></p>
 <p><math>PR3 = TЧ1, \text{слева}^*, \text{касат}, KR1</math></p>	 <p><math>PR8 = TЧ1, \text{перп}, PR0</math></p>
 <p><math>PR4 = \text{слева}^*, \text{касат}, KR2, \text{справа}^*, \text{касат}, KR1</math></p>	 <p><math>PR9 = \text{парлел}, PR0, A, \text{УБ}^*</math></p>
 <p><math>PR5 = TЧ1, \text{угол}, \alpha</math></p>	 <p><math>PR10 = \text{касат}, KR1, \text{УМ}^*, \text{угол}, \alpha</math></p>

Способи задання кола. Варіанти задання кола складаються з перерахованих опорних елементів, за якими визначається коло, модифікаторів, які призначені для вибору необхідного випадку, і службових слів, що полегшують читання тексту програм. При цьому кола розглядаються тільки в площині  $XU$  і не мають напрямку. У визначеннях кіл застосовуються наступні групи модифікаторів:

1. Модифікатори, що вказують положення кола відносно прямої:  $XМ$  – центр кола знаходиться зліва від прямої;  $XB$  – центр кола знаходиться справа від прямої;  $УМ$  – центр кола знаходиться нижче прямої;  $УМ$  – центр кола знаходиться вище прямої. Ці ж модифікатори використовуються для вибору з двох кіл одного, яке відповідає координаті його центр.

2. Модифікатори, що вказують положення кола, що визначається відносно іншого, яке є опорним елементом:  $ВНЕ$  – коло знаходиться поза заданим колом;  $ВНУТРИ$  – коло знаходиться всередині заданого кола.

3. Модифікатори  $БОЛШ$  і  $МЕНШ$ , які призначені для вибору з двох кіл одного, з більшим або меншим радіусами відповідно. Для задання кола використовується набір типових способів (табл. 8.11). Як і в попередніх випадках, залежно від модифікаторів, відзначених зірочкою (\*), можливими є декілька способів послідовності опису кола, крім тих, що наведені в таблиці. Наприклад, для опису кола  $KP7$  може бути використаний такий запис:

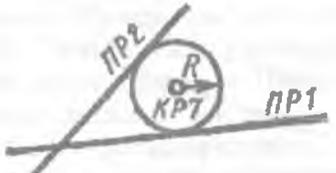
$$KP7 = XM, PR1, XB, PR2, R.$$

Службове слово,  $КАСАТ$ , що використовується для опису кола, можна пропускати.

Підготовка програм за системою  $ТЕХТРАН$  проводиться поетапно. Зміст етапів є обов'язковим для виконання. Послідовність виконання етапів може бути довільною, деякі з них у програмі можуть використовуватися неодноразово, інші – бути відсутніми. Рекомендується вести підготовку програм у наступному порядку:

Таблиця 8.11

Засоби опису кола

 <p><math>KR1 = X, Y, R</math></p>	 <p><math>KR6 = \text{касат}, PR1, UM^*, T41, R</math></p>
 <p><math>KR2 = \text{центр}, T41, R</math></p>	 <p><math>KR7 = UB^*, PR1, XB^*, PR2, R</math></p>
 <p><math>KR3 = \text{центр}, T41, T42</math></p>	 <p><math>KR8 = \text{центр}, T41, \text{менш}^*, \text{касат}, KR0</math></p>
 <p><math>KR4 = T41, T42, T43</math></p>	 <p><math>KR9 = T41, UB^*, \text{внутри}^*, KR0, R</math></p>
 <p><math>KR5 = \text{центр}, T41, \text{касат}, PR1</math></p>	 <p><math>KR10 = \text{паралел}, \text{болш}^*, KR0, \Delta R</math></p>

1. Початок програми. Кожна програма в системі ТЕХТРАН повинна починатися рядком ДЕТАЛЬ 'ИМЯ ДЕТАЛИ. Ім'я деталі записується в апострофах і повинно містити не більше 60 символів – букв або цифр. Воно також використовується для ідентифікації результатів розрахунку та інших даних стосовно програми, на алфавітно-цифровому друкувальному пристрої (АЦПУ). Крім того, під цим іменем виводяться на перфострічку результати роботи постпроцесора, а також під ним програма може розміщатися в бібліотеці програм на вихідній мові.

2. Геометрія. На цьому етапі варто описувати елементи контура креслення на вхідній мові системи за допомогою розглянутих геометричних визначень: точки, прямі, кола.

3. Залання верстата. Для отримання керуючої перфострічки до конкретного верстата необхідно повідомити системі, який конкретний постпроцесор необхідно викликати. Це робиться пропозицією: СТАНОК 'ИМЯ СТАНКА' N, де ИМЯ СТАНКА – модель верстата, що виділяється в апострофах; N – номер відповідного постпроцесора (вибирається за таблицею, яка входить в опис системи). У системі ТЕХТРАН є постпроцесори, що забезпечують підготовку КП для більшості моделей вітчизняних верстатів із ЧПК і систем керування, частина з них наведена в табл. 3.17.

4. Залання інструмента. Твердження: ИНСТР D повідомляє системі діаметр інструмента для розрахунку траєкторії руху його центра (еквідистанти). Наприклад, ИНСТР 13.8 – діаметр інструмента дорівнює 13,8 мм. Для токарних верстатів указується, що діаметр інструмента дорівнює нулю: ИНСТР 0.

5. Вихідне положення інструмента. Перед тим, як виконувати переміщення інструмента, необхідно повідомити системі його вихідне положення. Це досягається за допомогою оператора З. У операторі З вказується або назва точки, де знаходиться інструмент, або координати цієї точки. Якщо третя координата точки не задана, то вона приймається рівною нулю. Наприклад, З ТЧ15 – інструмент знаходиться в точці ТЧ15; З 20, 30, 40 – інструмент знаходиться в точці з координатами: X = 20 мм; Y = 30 мм; Z = 40 мм.

У програмі оператор З може вживатися декілька разів. Наприклад, у програмі технолог запроєктував технологічний останок для того, щоб оператор міг вивести інструмент вручну в

задану технологом точку для контролю розмірів. Щоб відновити рух, необхідно повідомити системі за допомогою оператора З нове положення інструмента.

Таблиця 8.12

Список постпроцесорів

Верстат	Системи керування	Номер постпроцесора
6P13Ф3	Контур 2ПТ-71	6130
6P11PФ3	Н33-1М	1625
6P13Ф3	Нн33-1М	6133
6BP13Ф3	ИЛ-5К	6
6520Ф3	Н33-1М	65
6441ПР1	ИЛ-5К	6441
6550PФ3	Н33-2М	6553
6M11Ф3	УМС-2А	20
1K62-Ф3	Контур-4 МИ	162
P1720Ф3	Н22-1М	720
АТПР-2М12СП	Салют	6545
16K30Ф305	Н22-1М	1630
16K2Ф3	Н22-1М	1620
2P135Ф2	Координата-70	2135
ИР500МФ4	ГА ИС/3000С	500
ЛФ260МФ3	Н33-1М	6443

6. Призначення подачі. Робоча подача призначається оператором:

ПОДАЧА ММИН, А  
ММОБ, В

Оператор задає хвилину подачу або подачу в  $мм/об$ , де  $A$  – значення подачі,  $мм/хв$ ;  $B$  – значення подачі,  $мм/об$ .

Прискорене переміщення інструмента на допоміжний ход можна здійснити оператором БЫСТРО. Значення подачі в цьому випадку визначається технічними характеристиками верстата і системи керування. Дія оператора ПОДАЧА продовжується до наступного оператора ПОДАЧА. У програмі цей оператор вживається стільки разів, скільки необхідно технологю.

7. Точність обробки. При обробці криволінійних контурів необхідно задавати точність апроксимації. Це досягається за допомогою твердження: НАРДОПА або ВНДОП В, де  $A$  – значення зовнішнього відхилення від кола,  $мм$ ;  $B$  – значення внутрішнього відхилення від кола,  $мм$ . Наприклад, НАРДОП 0.02.

При одноразовому заданні точності всі криволінійні ділянки контуру будуть апроксимуватися із зазначеною точністю, при багаторазовому заданні різної точності розмір апроксимації окремих ділянок контура буде мати відмінності.

8. Корекція інструмента. Для задання корекції різального інструмента необхідно застосувати оператор КОРРЕК. Якщо необхідно задати корекцію за трьома координатами ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), то формат оператора КОРРЕК такий:

КОРРЕК, ВКЛ, ХКООРД,  $a$ , УКООРД,  $b$ , ЗКООРД,  $c$ , де  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – номери коректорів, зв'язаних з осями  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , відповідно.

9. Початок безперервного руху. Безперервний рух по контуру або ділянці контуру має починатися оператором ИДИ. Модифікатори оператора ИДИ: ДО, НА, ЗА орієнтують положення центра інструмента щодо напрямної та обмежуючих поверхонь. Оператор ИДИ має такий формат:

ДО НАПРАВЛЯЮЩАЯ ДО ОГРАНИЧИВАЮЩАЯ  
ИДИ НА ПОВЕРХНОСТЬ НА ПОВЕРХНОСТЬ  
ЗА ЗА

Наприклад, ИДИ ДО ПР1 ЗА ПР8.

10. Безперервний рух. Напрямок руху по елементах контуру необхідно вибирати залежно від напрямку руху на попередній ділянці. Оператори:

ВПЕРЕД ДО  
НАЗАД НАПРАВЛЯЮЩАЯ НА ОГРАНИЧИВАЮЩАЯ  
ВПРАВО ПОВЕРХНОСТЬ ЗА ПОВЕРХНОСТЬ  
ВЛЕВО КАС

дозволяють здійснити безперервний рух по контуру.

Наприклад:

## ВПЕРЕД PR2 KAC KP2

11. Рух „точка – точка”. Оператор ВТОЧКУ здійснює переміщення інструмента в точку, задану іменем або своїми координатами. Цей оператор найбільш зручно використовувати для програмування обробки на токарних верстатах із ЧПК. Наприклад, ВТОЧКУ ТЧ1; ВТОЧКУ 10, 15, 20. Переміщення інструмента на деякі відстані від попереднього положення інструмента можна здійснити за допомогою оператора ПРИРАЩ. Наприклад, оператор ПРИРАЩ 0,0 – 10 здійснює переміщення інструмента на глибину різання по координаті  $Z = -10$  мм. Цей запис еквівалентний запису ПРИРАЩ-10.

12. Технологічна зупинка і пауза Оператори ТЕХОСТ або СТОП призначені для здійснення технологічної зупинки верстата. Робота може бути відновлена після ручного запуску верстата. Оператор:

а  
ПАУЗА в, ОБОРОТ  
ОБОРОТ, в

викликає зупинку руху інструмента (виконавчих органів верстата) на заданий час. Тривалість паузи задається або в секундах, або в обертах шпинделя.

13. Кінець програми. Кожна програма закінчується рядком КОНЕЦ. Ця пропозиція визначає для процесора кінець програми.

Для виконання автоматизованого проектування керуючої програми на ЕОМ текст програми на мові ТЕХТРАН або кодовий опис деталі вводяться з клавіатури. Після розрахунків на ЕОМ видаються текст керуючої програми в коді *ISO – 7 bit*, інших кодах і перфострічка для верстата з ЧПК, або здійснюється безпосереднє керування верстатом із ЧПК від ЕОМ.

**Задача 8.14.** *Скласти на мові ТЕХТРАН програму обробки по контуру деталі «Плита» (рис. 8.23) на фрезерному верстаті з ЧПК. Матеріал деталі – сплав Д16. Заготовка попередньо вирубана на прес-ножицях.*

**Розв’язання.** Обробка плити буде проводитися на фрезерному верстаті з ЧПК мод. 6P13Ф3. Система керування верстатом НЗ3-1М. Заготовку закріплюють на підкладній плиті з використанням двох отворів діаметром 10 мм. Упорядкування програми проводиться відповідно до викладених вище рекомендацій:

1. Початок програми  
ДЕТАЛЬ 'ПЛИТА' # ИВАНОВ

2. Геометрія. В аналізованому прикладі точка ТЧ0 прийнята на відстані від контуру заготовки по осях  $X$  і  $Y$  на 20 мм і 30 мм ( $TЧ=0, 0, 0$ ). Задання геометричних елементів деталі, виділених на операційному ескізі, проводиться за допомогою типових описів (табл. 10–11).

$TЧ1=20, 30$   
 $TЧ2=TЧ1, ПЕРЕНОС, 0, 50$   
 $PR1=TЧ1, TЧ2$   
 $KP1=60, 65, 15$   
 $KP2=100, 50, 10$   
 $PR2=TЧ2, СЛЕВА, KP1$   
 $PR3=СЛЕВА, KP1, СЛЕВА, KP2$   
 $PR4=TЧ1, СПРАВА, KP2$

3. Задання верстата. З урахуванням моделі верстата  $N = 6133$  (табл. 3.17).

СТАНОК '6P13Ф3' 6133

4. Задання інструмента. Приймається кінцева фреза діаметром 10 мм.

ИНСТР 10

5. Вихідне положення інструмента. Вважаємо, що інструмент установлений в нульовій точці.

З ТЧ0

6. Призначення подачі. Прискорене переміщення інструмента на допоміжному ході здійснюється з подачею  $S_{вх} = 1100$  мм / хв.

ПОДАЧА ММИН 1100

7. Рух "точка-точка". Для підводу інструмента на глибину різання по координаті  $Z$  на 10 мм запишеться оператор ПРИРАЩ – 10.

8. Початок безперервного руху  
ИДИ ДО ПР1

Цей оператор здійснює переміщення інструмента з точки ТЧ0 по перпендикуляру до прямої ПР1.

9. Технологічні команди на вмикання шпинделя та системи охолодження запишуться операторами:

ШПИНДЛ ВКЛ  
ОХЛАД ВКЛ

10. Призначення робочої подачі. Зміна подачі допоміжного ходу на роботу  
ПОДАЧА ММИН, 80

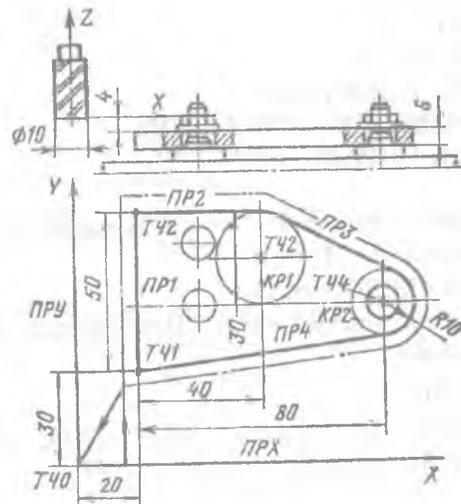


Рис. 8.23. Схема обробки заготовки (до задачі 8.14)

11. Безперервний рух. Відносно попереднього руху від ТЧ0 у положення 1 наступний рух необхідно направити вліво (рис. 3.30):

ВЛЕВО ПР1 ЗА ПР2

Наступний рух стосовно попереднього буде вправо по прямій ПР2 до торкання з колом КР1

ВПРАВО ПР2 КАС КР1

12. Точність обробки. Для задання точності обробки при апроксимації кіл хордами необхідно зазначити розмір стрілки прогину 0,1 мм.

ВНДОП 0,1

13. Безперервний рух (продовження)

ВПЕРЕД КР1 КАС ПР3

ВПЕРЕД ПР3 КАС КР2

ВПЕРЕД КР2 КАС ПР4

ВПЕРЕД ПР4 ЗА ПР1

14. Технологічна команда на вимкнення системи охолодження

ОХЛАД ВЫКЛ

15. Призначення подачі. Вмикається подача допоміжного ходу

ПОДАЧА ММИН 1100

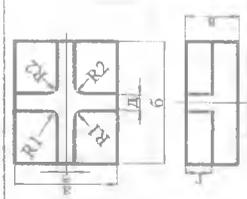
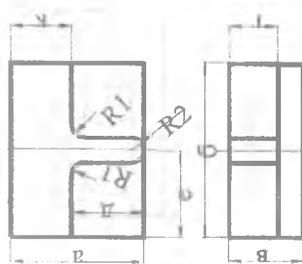
16. Рух "точка-точка" повертає інструмент у нульову точку

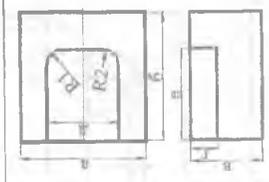
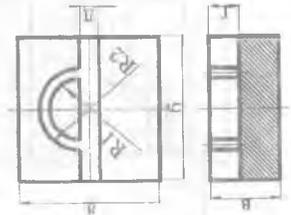
ВТОЧКУ ТЧ0

17. Кінець програми

КОНЕЦ



№ ескіза	Ескіз деталі	Варі-ант	а	б	в	г	д	е	к	R1	R2	Матеріал
3		1	80	160	40	16	16	16	-	20	24	АЛ9
		2	100	200	40	16	16	16	-	24	30	Сталь 20Л
		3	120	220	60	20	16	16	16	-	30	36
4		1	80	160	40	16	16	38	50	20	40	АЛ9
		2	100	200	50	16	16	50	60	30	50	Сталь 15Л
		3	120	200	50	20	16	40	80	30	60	Чавун СЧ20

№ ескіза	Ескіз деталі	Варі-ант	а	б	в	г	д	е	к	R1	R2	Матеріал
5		1	100	200	60	20	60	120	-	20	26	АЛ9
		2	160	300	80	24	80	150	-	40	30	Сталь 15
		3	200	400	100	30	100	120	-	40	50	Чавун СЧ20
6		1	100	200	60	20	16	-	-	46	30	АЛ9
		2	160	300	80	20	20	-	-	60	40	Ст3
		3	200	400	100	30	24	-	-	64	40	Чавун СЧ20

№ ескіза	Ескіз деталі	Варі-ант	а	б	в	г	д	е	к	R1	R2	Матеріал
7		1	100	200	50	20	16	50	-	20	-	АЛ19
		2	160	300	60	20	20	60	-	24	-	Ст3
		3	200	400	100	20	20	70	-	30	-	Чавун СЧ20
8		1	100	200	50	20	20	60	50	40	-	АЛ19
		2	160	300	80	24	20	80	80	60	-	Ст3
		3	200	400	100	30	20	110	100	80	-	Чавун СЧ20

№ ескіза	Ескіз деталі	Варі-ант	а	б	в	г	д	е	к	R1	R2	Матеріал
9		1	100	200	60	20	70	20	-	35	-	АЛ19
		2	140	280	60	20	90	24	-	45	-	Сталь 15
		3	200	360	80	20	100	36	-	50	-	Чавун СЧ20
10		1	100	160	40	20	60	-	-	30	30	АЛ19
		2	160	220	60	40	80	-	-	40	40	Ст3
		3	200	300	80	56	120	-	-	60	60	Чавун СЧ20

Додатки

Додаток 1

Допуски ( мм ) для розмірів до 500 мм

Номинальні розміри	Квалітети															
	IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14	IT15	IT16				
до 3	0,004	0,006	0,010	0,014	0,025	0,04	0,060	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6				
Від 3 до 6	0,005	0,006	0,012	0,018	0,030	0,048	0,075	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75				
Від 6 до 10	0,006	0,009	0,015	0,022	0,036	0,058	0,090	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9				
Від 10 до 18	0,008	0,011	0,018	0,027	0,043	0,070	0,11	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1				
Від 18 до 30	0,009	0,013	0,021	0,033	0,052	0,084	0,13	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3				
Від 30 до 50	0,011	0,016	0,025	0,039	0,062	0,1	0,16	0,25	0,39	0,62	1,0	1,6				
Від 50 до 80	0,013	0,019	0,030	0,046	0,074	0,12	0,19	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9				
Від 80 до 120	0,015	0,022	0,035	0,054	0,087	0,14	0,22	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2				
Від 120 до 180	0,018	0,025	0,040	0,063	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5				
Від 180 до 250	0,020	0,029	0,046	0,072	0,115	0,185	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9				
Від 250 до 315	0,023	0,032	0,052	0,081	0,13	0,21	0,32	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2				
Від 315 до 400	0,025	0,036	0,057	0,089	0,14	0,23	0,36	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6				
Від 400 до 500	0,027	0,040	0,053	0,097	0,155	0,25	0,4	0,63	0,97	1,55	2,5	4,0				

Значення коефіцієнта  $t$  при різних відсотках ризику  $P$  при нормальному законі розподілу відхилень розмірів складових ланок ( $\lambda_{Ai}^2 = 1/9$ )

Додаток 2

$P, \%$	0,01	0,05	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5
$t$	3,89	3,48	3,29	3,0	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96

Значення коефіцієнтів  $t$  і  $\lambda_{Ai}^2$  при інших законах розподілу відхилення розмірів складових ланок

Додаток 3

Закон розподілу відхилень	Коефіцієнт $\lambda_{Ai}^2$	Значення коефіцієнта $t$ при кількості складових ланок $m$				
		2	3	4	5	6
Сімсона (за трикутником)	1/6	2,8	2,83	2,86	2,88	2,91
Рівної ймовірності	1/3	2,45	2,55	2,61	2,65	2,68

Критичні точки розподілу Ст'юдента ( $t_{\alpha/2; f}$ )

Додаток 4

Кількість ступенів свободи $f$	Рівень значимості $\alpha$		
	0,05	0,02	0,01
3	3,18	4,54	5,84
4	2,78	3,75	4,60
5	2,57	3,37	4,03
6	2,45	3,14	3,71
7	2,36	3,00	3,50
8	2,31	2,90	3,36
9	2,26	2,82	3,25
10	2,23	2,76	3,17
20	2,09	2,53	2,85
30	2,04	2,46	2,75
40	2,02	2,42	2,70

Додаток 5

Критичні точки розподілу Фішера ( $F_{\alpha; f_1; f_2}$ )

$f$	$\alpha$	Кількість ступенів свободи для чисельника																		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	16	20	30	40					
3	0,05	9,28	9,12	9,10	8,94	8,89	8,81	8,79	8,79	8,76	8,74	8,69	8,66	8,62	8,59					
3	0,01	29,5	28,7	28,2	27,9	27,7	27,5	27,3	27,2	27,1	27,0	26,8	26,7	26,5	26,4					
4	0,05	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,94	5,91	5,84	5,80	5,75	5,72					
4	0,01	16,7	15,5	15,2	15,0	14,8	14,7	14,5	14,4	14,4	14,4	14,1	14,0	14,0	13,7					
5	0,05	5,41	5,19	5,04	4,95	4,88	4,88	4,82	4,77	4,71	4,68	4,60	4,56	4,50	4,46					
5	0,01	12,1	11,4	11,0	10,7	10,5	10,3	10,2	10,1	9,96	9,89	9,68	9,55	9,38	9,38					
6	0,05	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,03	4,0	3,92	3,87	3,81	3,77					
6	0,01	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98	7,87	7,79	7,72	7,52	7,40	7,29	7,14					
7	0,05	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,60	3,57	3,49	3,44	3,38	3,34					
7	0,01	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72	6,62	6,54	6,47	6,27	6,16	5,90	5,91					
8	0,05	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,31	3,28	3,20	3,15	3,08	3,04					
8	0,01	7,5	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91	5,81	5,73	5,67	5,48	5,36	5,20	5,12					
9	0,05	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,10	3,07	2,98	2,94	2,86	2,83					
9	0,01	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35	5,26	5,10	5,11	4,92	4,81	4,65	4,57					
10	0,05	3,71	3,48	3,38	3,22	3,14	3,07	3,02	2,96	2,94	2,91	2,82	2,77	2,70	2,66					
10	0,01	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94	4,85	4,77	4,71	4,52	4,41	4,25	4,17					
11	0,05	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,82	2,79	2,70	2,59	2,57	2,53					
11	0,01	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63	4,54	4,46	4,40	4,21	4,10	3,94	3,86					
12	0,05	3,49	3,26	3,11	3,00	2,92	2,85	2,80	2,76	2,72	2,69	2,60	2,54	2,46	2,42					
14	0,01	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39	4,30	4,22	4,16	3,98	3,86	3,70	3,61					
14	0,05	3,34	3,11	2,96	2,85	2,77	2,70	2,65	2,60	2,56	2,53	2,44	2,39	2,31	2,27					
20	0,01	5,56	5,03	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03	3,94	3,86	3,80	3,62	3,51	3,34	3,26					
20	0,05	3,10	2,87	2,71	2,60	2,52	2,45	2,40	2,35	2,31	2,28	2,18	2,12	2,04	1,99					
20	0,01	4,94	4,43	4,10	3,87	3,71	3,56	3,45	3,37	3,30	3,23	3,05	2,94	2,77	2,69					

Примітка:  $f$  – кількість ступенів свободи для знаменника;  $\alpha$  – рівень значимості

Значення функції  $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-z^2/2} dz$

z	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08
0,0	0,0000	0,0080	0,0160	0,0239	0,0319
0,1	0,0398	0,0478	0,0557	0,0636	0,0714
0,2	0,0793	0,0871	0,0948	0,1026	0,1103
0,3	0,1179	0,1255	0,1331	0,1406	0,1480
0,4	0,1554	0,1628	0,1700	0,1772	0,1844
0,5	0,1915	0,1985	0,2054	0,2123	0,2190
0,6	0,2257	0,2324	0,2389	0,2454	0,2517
0,7	0,2580	0,2642	0,2704	0,2764	0,2823
0,8	0,2881	0,2939	0,2995	0,3051	0,3106
0,9	0,3159	0,3212	0,3264	0,3315	0,3365
1,0	0,3413	0,3461	0,3508	0,3554	0,3599
1,1	0,3643	0,3686	0,3729	0,3770	0,3810
1,2	0,3849	0,3888	0,3925	0,3962	0,3997
1,3	0,4032	0,4066	0,4099	0,4131	0,4112
1,4	0,4192	0,4222	0,4251	0,4279	0,4306
1,5	0,4332	0,4357	0,4382	0,4406	0,4429
1,6	0,4452	0,4474	0,4695	0,4515	0,4535
1,7	0,4554	0,4573	0,4591	0,4608	0,4625
1,8	0,4641	0,4656	0,4671	0,4686	0,4699
1,9	0,4713	0,4726	0,4738	0,4750	0,4761
2,0	0,4772	0,4783	0,4793	0,4803	0,4812
2,1	0,4821	0,4830	0,4838	0,4846	0,4854
2,2	0,4861	0,4868	0,4875	0,4881	0,4887
2,3	0,4893	0,4898	0,4904	0,4909	0,4913
2,4	0,4928	0,4922	0,4927	0,4931	0,4934
2,5	0,4938	0,4941	0,4945	0,4948	0,4951
2,6	0,4953	0,4956	0,4959	0,4961	0,4963
2,7	0,4965	0,4967	0,4969	0,4971	0,4973
2,8	0,4974	0,4976	0,4977	0,4979	0,4980
2,9	0,4981	0,4982	0,4984	0,4985	0,4986

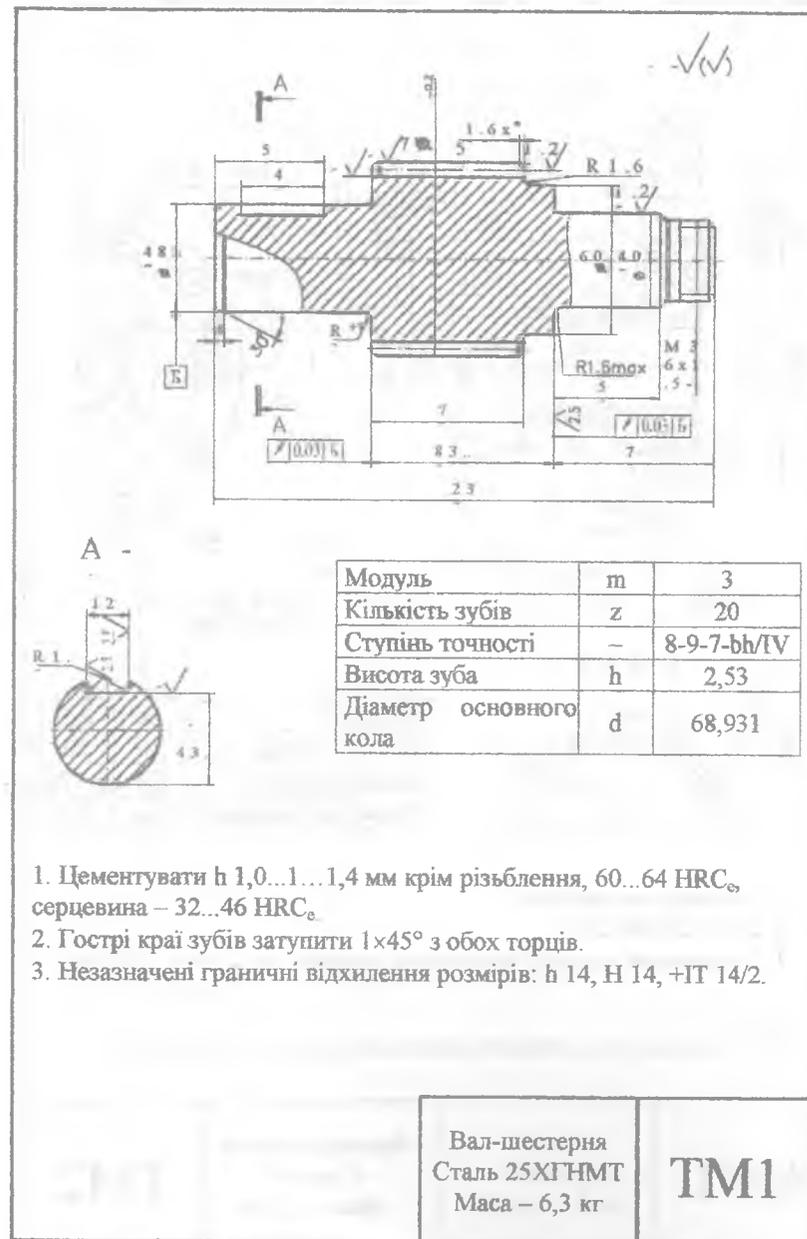
Приклади маршрутів обробки поверхонь

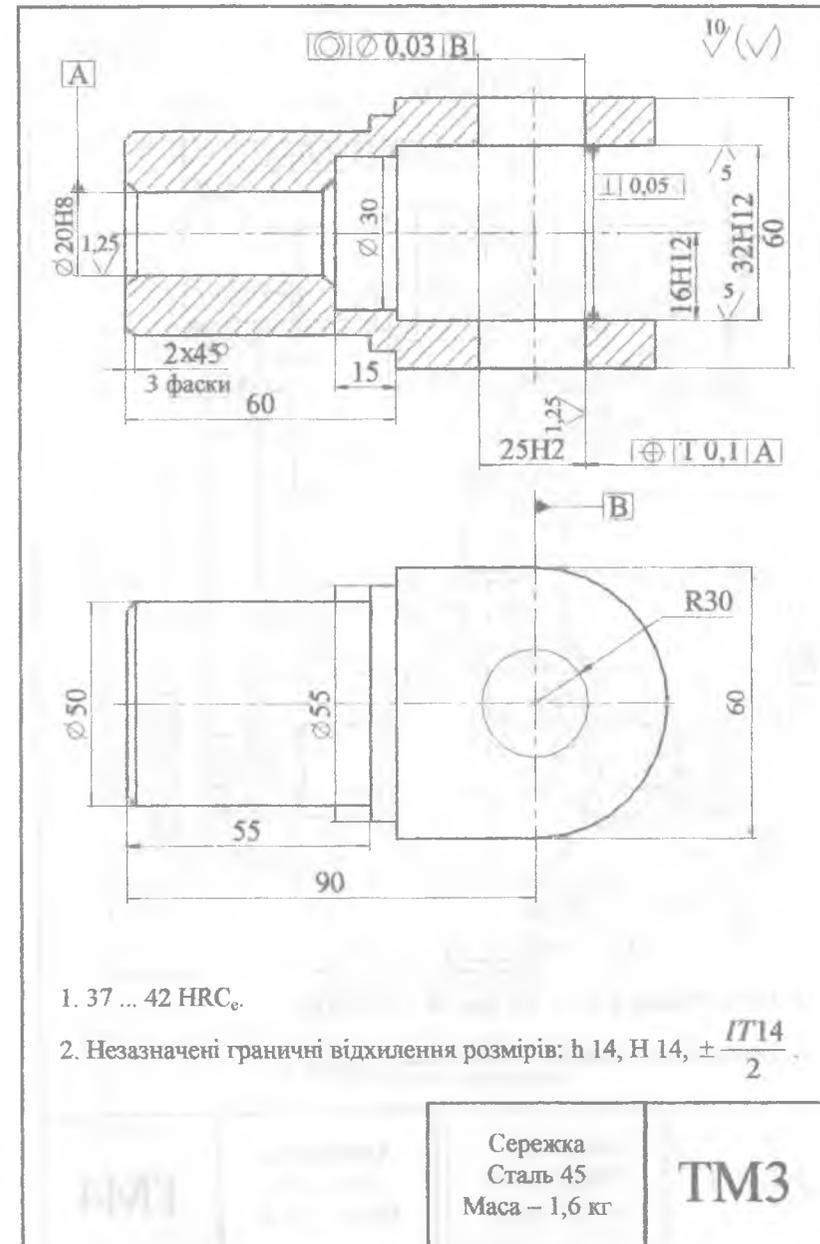
Точність, квалітет	Шорсткість $R_a, \mu\text{м}$	Матеріал, код	Маршрут обробки поверхонь		
			зовнішніх циліндричних	внутрішніх циліндричних	плоских
1	2	3	4	5	6
14 - 12	25,0 - 6,3	1, 2, 3	О	С	СТ
		1, 2, 3		З	Ф
		1, 2, 3	О, ТО	РТ	О
		4	ТО, Ш	С, ТО	СТ, ТО
11 - 10	5,0 - 2,5	4		З, ТО	Ф, ТО
		4		РТ, ТО	О, ТО
		1, 2, 3	Оп, Оч	С, З, Р	Фп, Фч
		1, 2, 3	О, Ш	С, РТ, Р	
9 - 7	1,25 - 0,63	4	Оп, Оч, ТО	С, З, ТО, Ш	ТО, Шп, Ф, Шп
		4	Оп, ТО, Ш	З, РТ, ТЕ	Ф, ТЕ, Шп
		4		Зп, Зч, ТО, Ш	СТ, ТО, Шп
		4			О, ТО, Шп
9 - 7	0,32 - 0,16	1, 2, 3	Оп, Оч, Від	РУ, Р	С, П
		1, 2, 3		С, З, Рп, Ру	Ф, П
		1, 2, 3		С, РТп, РТч	
		1, 2, 3		С, З, РТт	
9 - 7	0,08 - 0,04	1, 2	О, Ш	С, П	Ф, Шч
		1	Шп, Шч	РТп, РТч, РТт	
		4	Оп, Оч, ТО, Ш	С, РТ, ТО, Ш	Ф, ТО, Шч
		4	Ш	РТп, Рч, ТО, Ш	С, ТО, Шч
9 - 7	0,32 - 0,16	4	Шп, ТО, Шч	С, З, ТО, Ш	О, ТО, Шч
		4		Ру, ТО, Х	
		3	Оп, Оч, ПО		Фп, Фч, ПОч
		3	Оп, Оч, Від, П		Оп, Оч, ПОч
9 - 7	0,08 - 0,04	3	Оп, Оч, От, Поч		Оп, Оч, Поч, ПОч
		4	ПОт		ПОч
		4	Оп, Оч, ТО, Шп		Фп, Фч, ТО, Шп, Шт, ПО
		1, 2, 3	Шт, ПО	РУ, Рп, Рч	СТ, Фт, ШБ
9 - 7	0,08 - 0,04	1, 2, 3	Оп, Оч, От, ПО	С, З, Рп, Рч	Фп, Фч, ШБ
		1, 2, 3		С, З, РТч, РТт	

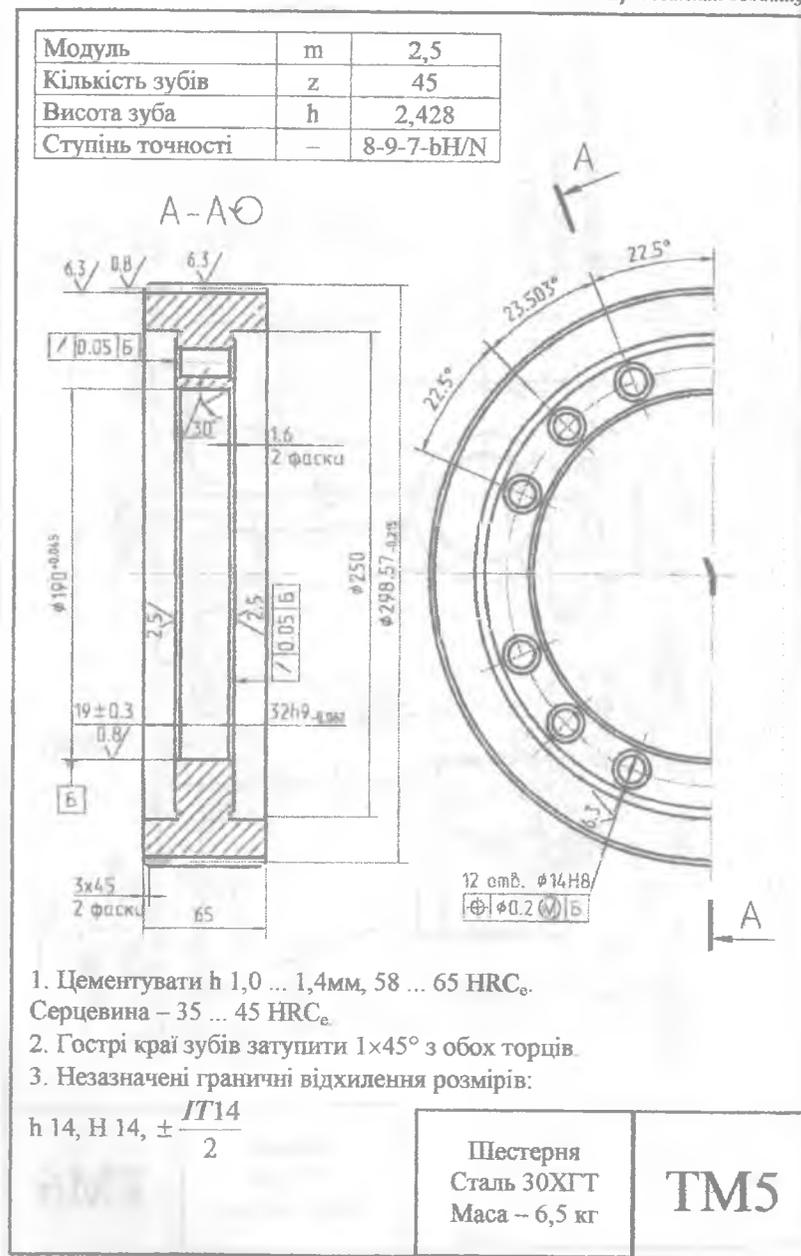
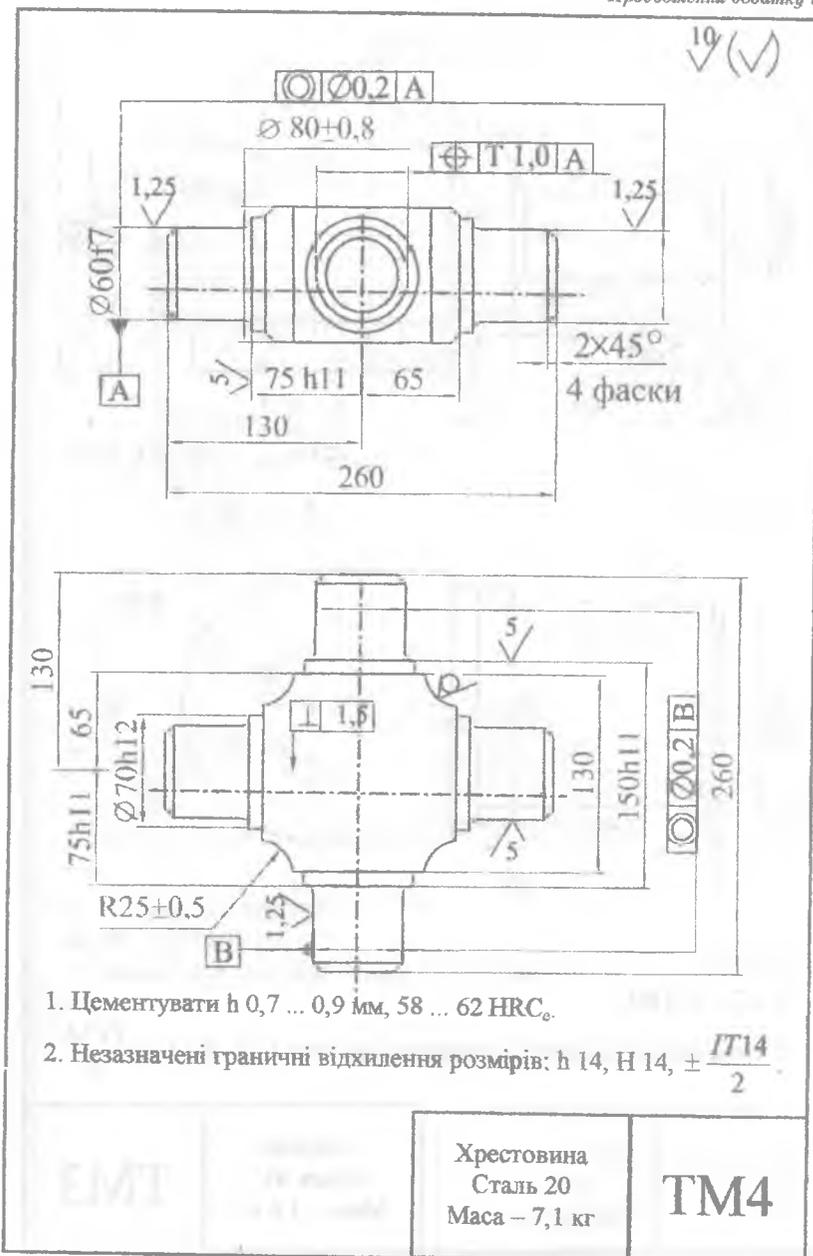
1	2	3	4	5	6
6	0,32 - 0,16	1, 2, 3	О, Ш, СУ О, Шп, Шт, П О, Шп, ТО, Шт О, Шп, ТО, Шт, СУ Оп, Оч, ТО, Шч, СУ	РТп, РТч, РТг С, З, П	Фп, Фч, Шч, ПО Фп, Фч, ТО, Шч, Д С, Фт, ТО, Шу, Д Ф, ТО, Шп, Шч, Д О, Шп, ТО, Шч, Д
		1, 2, 3		РТ, ТО, Ш, Х	
		1		С, З, ТО, Ш, Х	
		1, 2		С, П, ТО, Х	
		3		РУ, Р, ТО, Х	
	0,16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

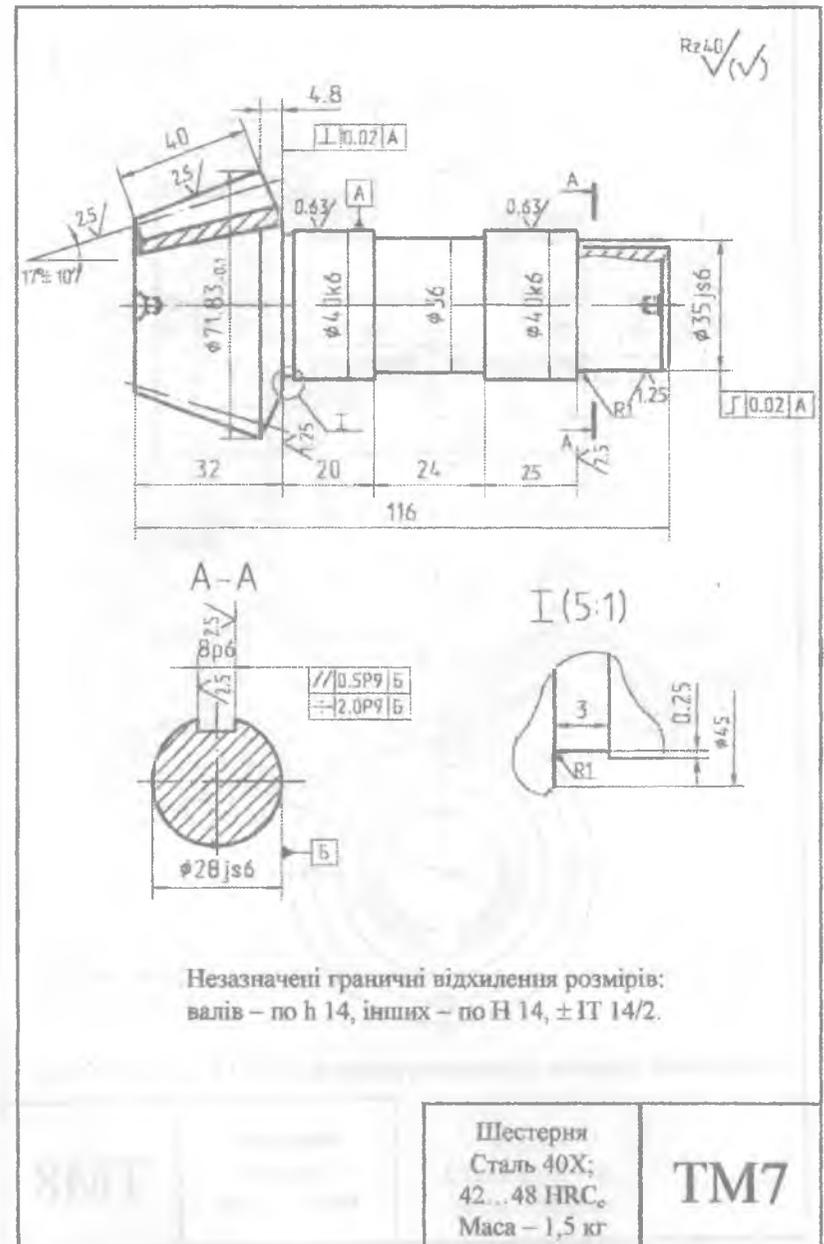
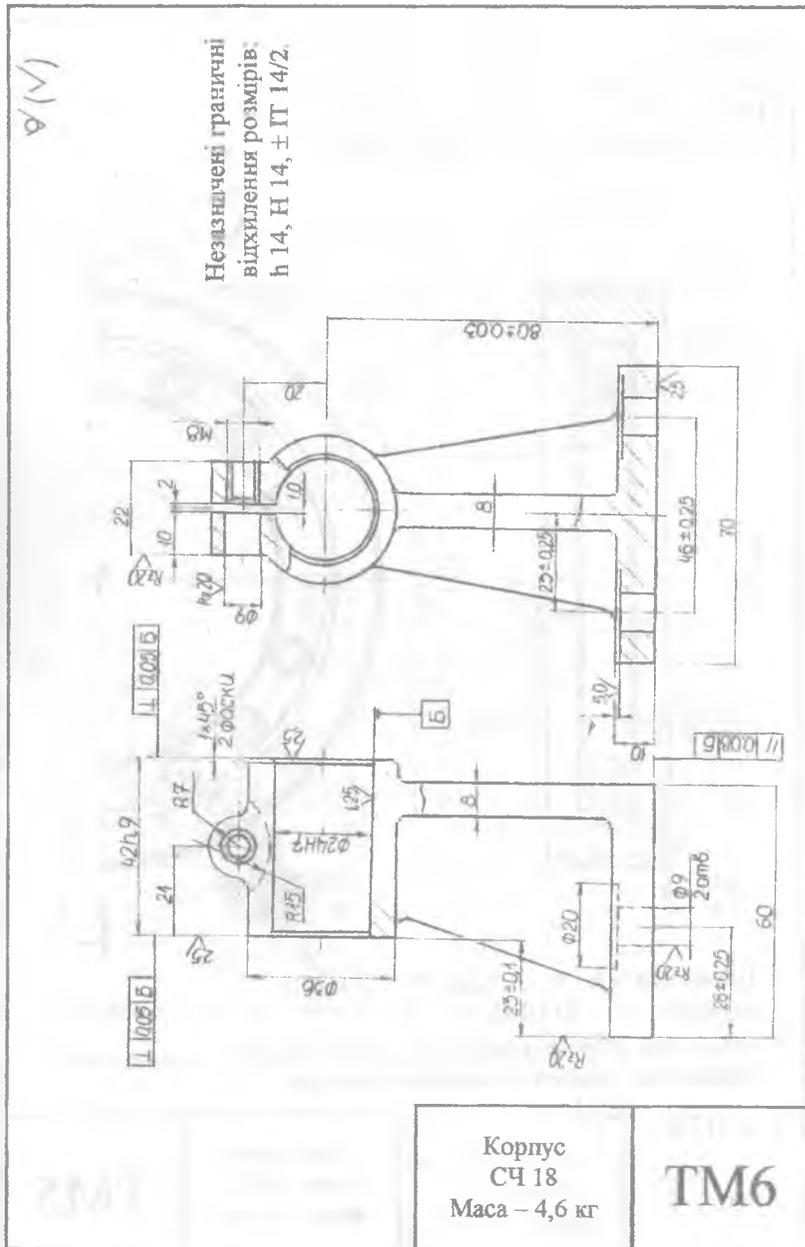
Позначення до таблиці: О – обточування, Ш – шліфування, СУ – суперфінішування, ПО – полірування, Д – доводка, ТО – термічна обробка, С – свердлування (розсвердлування), З – зенкерування, РУ – рупничне свердлування, Р – розвертування, РТ – розточування, П – протягування, Х – хонінгування, СТ – стругання, Ф – фрезерування, ШБ – шабріння; п – попереднє, ч – чистове, т – тонке;

1 – незагартовані сталі, 2 – чавуни, 3 – кольорові метали і сплави, 4 – загартовані сталі.

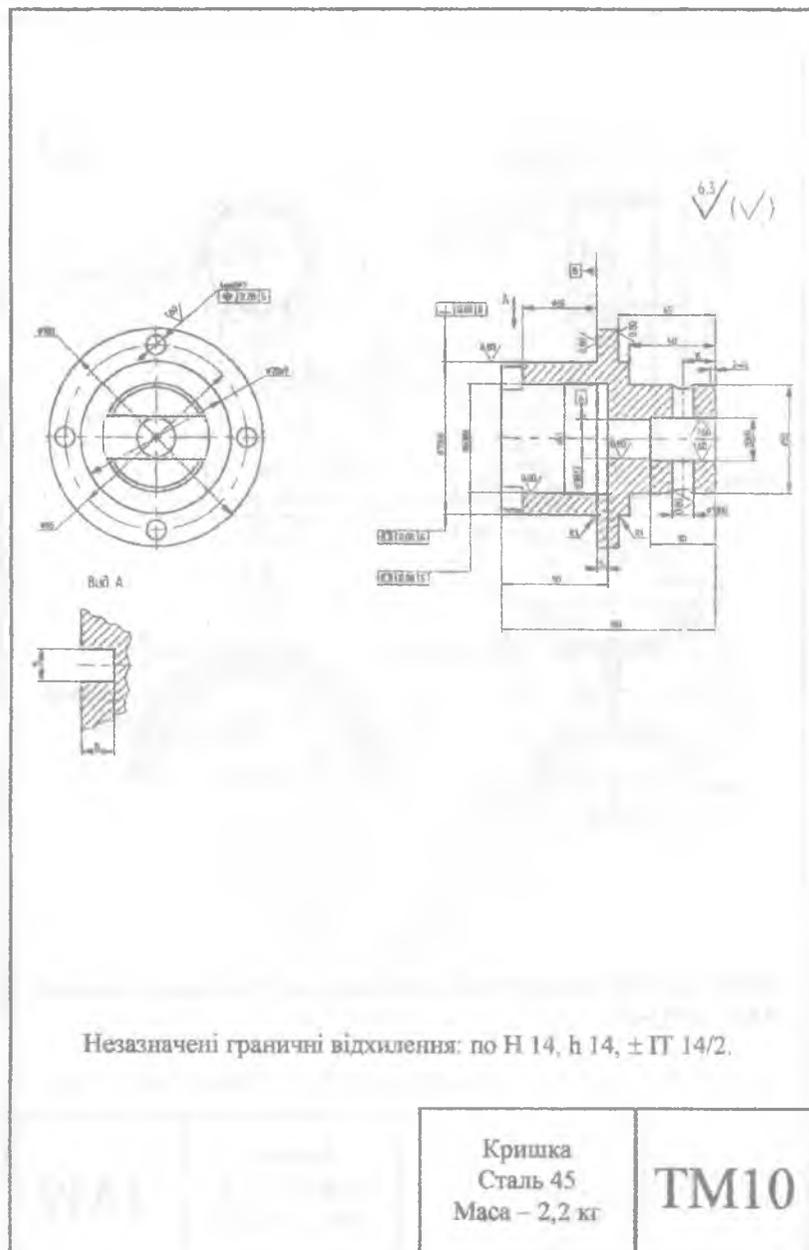












## ЛІТЕРАТУРА

1. Аверченков В.И., Каштальян И.А., Пархутин А.П. САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. – Минск.: Вышэйш. шк., 1993. – 288 с.
2. Балабанов А.Н. Технологичность конструкций машин. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.
3. Всеобщее управление качеством: Учебник для вузов / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А. И. Гуров, Ю.В. Зорин; Под ред. О.П. Глудкия. – М.: Радио и связь, 1999. – 660 с.
4. Гжиров Р.И., Серебренецкий П. П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справ. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
5. Ильицкий В.Б. Проектирование технологической оснастки: Учеб. пособие. – Брянск: БИТМ, 1993. – 190 с.
6. Качество машин: Справ.: В 2 т. Т.1 / А.Г. Суслев, Э.Д. Браун и др. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.
7. Классификатор ЕСКД. Иллюстрированный определитель деталей. Классы 71, 72, 73, 74, 75, 76. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 438 с.
8. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. – М.: Машиностроение, 1983. – 277 с.
9. Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Калинин М.А. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении: Справ. технолога. – М.: Машиностроение, 1976. – 288 с.
10. Маталин А.А. Технология машиностроения. Учебник для машиностроительных вузов по специальности "Технология машиностроения". – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
11. Менеджмент систем качества: Учеб. пособие / М.Г. Круглов, С.К. Сергеев, В.А. Такташов и др. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997. – 368 с.
12. Новиков М.П. Основы технологии сборки машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.
13. Обработка металлов резанием: Справ. технолога / А.А.Панов, В. В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 756 с.
14. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного на работы, выполняемые на

металлорежущих станках. Среднесерийное и крупносерийное производство. – М.: Изд-во НИИТруда, 1984. – 460 с.

15. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Ч.1. Нормативы времени. – М.: Экономика, 1990. – 207 с.

16. Общемашиностроительные нормативы вспомогательного времени и времени на обслуживание рабочего места на работы, выполняемые на металлорежущих станках (Массовое производство). – М.: Экономика, 1988. – 366 с.

17. Прогрессивные технологии (2-е издание): Учеб. пособие / Под общ. ред. В.И. Аверченкова. – Брянск, 1997. – 158 с.

18. Проектирование технологии: Учебник для студентов машиностр. спец. вузов / Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.

19. Расчеты экономической эффективности новой техники / Под ред. К.М. Великанова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние 1990. 432 с.

20. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: Учеб. пособие для машиностр. вузов / Под общ. ред. О.А. Горленко. – М.: Машиностроение, 1988. – 192 с.

21. Справочник технолога - машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.

22. Справочник технолога - машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. Т. 2. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.

23. Станочные приспособления: Справ. / Под ред. Б.П. Вардашкина и др. Т.1. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.

24. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 255 с.

25. Технологичность конструкций изделий: Справ. / Под ред. Ю.Д. Амирова. – М.: Машиностроение, 1985. – 367 с.

26. Технология машиностроения (специальная часть): Учебник для машиностроительных специальностей вузов / А.А. Гусев, И.М. Колосов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.

## Зміст

ПЕРЕДМОВА . . . . .	3
РОЗДІЛ 1. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДАННЯ . . . . .	5
1.1. Розмірно-точнісний аналіз складальної одиниці . . . . .	5
1.2. Вибір методу забезпечення точності замикальної ланки . . . . .	8
1.3. Розробка маршрутних технологічних процесів складання . . . . .	22
1.4. Розрахунки при виконанні складальних операцій . . . . .	30
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН . . . . .	35
2.1. Аналіз відповідності вимог, пропонувані щодо якості деталей та службового призначення деталей. . . . .	35
2.2. Аналіз технологічності конструкції деталі . . . . .	44
2.3. Формування конструкторсько-технологічного коду деталі . . . . .	51
2.4. Визначення типу виробництва . . . . .	61
РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВОК . . . . .	65
3.1. Визначення виду заготовок і методів їх виготовлення . . . . .	65
3.2. Техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки . . . . .	72
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКИ ПОХИБОК ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ ЗАГОТОВОК У ПРИСТОСУВАННЯ . . . . .	78
4.1. Визначення похибки установки . . . . .	78
4.2. Вибір раціональних схем базування . . . . .	95
4.3. Розрахунок виконавчих розмірів установних і направляючих елементів . . . . .	104
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА МАРШРУТНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ . . . . .	115
5.1. Розробка технологічних процесів обробки елементарних поверхонь . . . . .	115
5.2. Розрахунок припусків . . . . .	117

5.3. Розробка технологічних маршрутів обробки типових деталей . . . . .	128
5.4. Розмірно-точнісний аналіз технологічних процесів . . . . .	132
5.5. Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів . . . . .	140
<b>РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ.</b> . . . .	148
6.1. Вибір послідовності переходів в операції та засобів їх технологічного оснащення . . . . .	148
6.2. Розрахунок режимів обробки. . . . .	154
6.3. Нормування витрат праці на виконання операції . . . . .	156
6.4. Оптимізація режимів обробки різанням . . . . .	160
6.5. Розрахунок технологічної собівартості . . . . .	169
<b>РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ</b> . . . . .	182
7.1. Статистичні методи оцінки якості виробів . . . . .	182
7.2. Розрахунок сумарної похибки обробки . . . . .	191
7.3. Забезпечення якості поверхні деталей машин . . . . .	211
<b>РОЗДІЛ 8. ПРОГРАМУВАННЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПК</b> . . . . .	225
8.1. Програмна обробка на фрезерних верстатах із системами ЧПК типу CNC. . . . .	225
8.1.1. G - функції умов переміщення при обробці . . . . .	227
8.1.2. Команди M - додаткові функції . . . . .	233
8.2. Елементи параметричного програмування комп'ютерних систем ЧПК типу CNC . . . . .	239
8.3. Розробка керуючих програм для свердлувальних верстатів із ЧПК . . . . .	251
8.4. Підготовка керуючих програм для токарних верстатів із ЧПК . . . . .	260
8.5. Автоматизація програмування обробки на верстатах із ЧПК . . . . .	275
<b>ДОДАТКИ</b> . . . . .	296
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> . . . . .	313

Володимир Іванович Аверченко  
Олег Олександрович Горленко  
Валерій Борисович Ільцький  
Петро Петрович Мельничук  
Леонід Григорович Полонський  
Євген Олександрович Польський  
Володимир Володимирович Серов  
Анатолій Васильович Тотай  
Володимир Павлович Федоров  
Євген Миколайович Фролов  
Віталій Федорович Чистов

## ЗБІРНИК ЗАДАЧ І ВПРАВ З ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

*Навчальний посібник*

Редактори	Бобришева В.І.
Комп'ютерний набір та верстка	Томашевський О.В.
Макетування	Томашевський О.В.

---

Підписано до друку 10.09.2001. Формат 60×84 1/16.  
Папір офсетний. Гарнітура Таймс. Ум. друк арк. 20.  
Наклад 300 прим. Зам. 131.

---

Навчальний посібник видано редакційно-видавничим відділом  
Житомирського інженерно-технологічного інституту  
10005, м. Житомир, вул. Черняхівського, 103