

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет «Запорізька політехніка»

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять з дисципліни  
**«Технологічні основи автомобілебудування»**  
для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
(«Експлуатація, випробування та сервіс  
автомобілів та тракторів»),  
усіх форм навчання

**Частина 1.** Практичні заняття № 1-4

2024

Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» («Експлуатація, випробування та сервіс автомобілів та тракторів»), усіх форм навчання. Частина 1. Практичні заняття № 1-4 / Укл. : О. М. Артюх. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2024. 80 с.

Укладач: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;

Рецензент: А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Відповідальний за випуск: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук

Затверджено  
на засіданні кафедри «Автомобілі»  
Протокол № 7  
від « 5 » лютого 2024

Рекомендовано для видання  
НМК Транспортного факультету  
Протокол № 107  
від « 12 » лютого 2024

## ЗМІСТ

## Частина 1

Вступ.....	5
Практичне заняття № 1. Базування та бази в машинобудуванні.....	7
1.1 Загальні відомості .....	7
1.2 Порядок проведення практичного заняття .....	25
1.3 Зміст звіту.....	34
1.4 Контрольні запитання .....	34
Практичне заняття № 2. Технологічні розмірні ланцюги.....	35
2.1 Загальні відомості .....	35
2.2 Порядок проведення практичного заняття .....	41
2.3 Зміст звіту.....	41
2.4 Контрольні запитання .....	42
Практичне заняття № 3. Визначення послідовності методів обробки поверхонь деталі.....	43
3.1 Загальні відомості .....	43
3.2 Порядок проведення практичного заняття .....	51
3.3 Приклад виконання роботи .....	57
3.4 Зміст звіту.....	61
3.5 Контрольні запитання .....	61
Практичне заняття № 4. Дослідження точності технологічної операції механічної обробки .....	62
4.1 Загальні відомості .....	62
4.2 Порядок проведення практичного заняття .....	67
4.3 Приклад виконання роботи .....	73
4.4 Зміст звіту.....	77
4.5 Контрольні запитання .....	77
Рекомендована література .....	79
Основна.....	79
Додаткова.....	79

## Частина 2

Вступ.....	84
Практичне заняття № 5. Розрахунок технологічних операційних розмірів і припусків на обробку .....	86

5.1	Загальні відомості .....	86
5.1.1	Аналіз трьох характеристик точності обробки.....	86
5.1.2	Постановка задачі розрахунку операційних розмірів ...	88
5.1.3	Розрахунок величини мінімального операційного припуску .....	90
5.1.4	Розрахунок довжинних технологічних операційних розмірів із застосуванням теорії графів .....	91
5.1.5	Розрахунок діаметральних операційних розмірів .....	100
5.2	Порядок проведення практичного заняття .....	104
5.3	Зміст звіту .....	105
5.4	Контрольні запитання .....	108
Практичне заняття № 6. Розрахункове визначення параметрів шорсткості при обробці поверхні лезовим інструментом.....		
6.1	Загальні відомості .....	109
6.2	Порядок проведення практичного заняття .....	117
6.3	Зміст звіту .....	119
6.4	Контрольні запитання .....	119
Практичне заняття № 7. Технологічність конструкції виробу .....		
7.1	Загальні відомості .....	120
7.1.1	Якісна оцінка технологічності конструкції виробу .....	131
7.1.2	Кількісна оцінка технологічності конструкції виробу .....	132
7.2	Порядок проведення практичного заняття .....	135
7.3	Приклад виконання роботи .....	152
7.3.1	Якісне оцінювання.....	152
7.3.2	Кількісне оцінювання.....	153
7.4	Зміст звіту .....	157
7.5	Контрольні запитання .....	158
Рекомендована література .....		
	Основна .....	159
	Додаткова .....	159

## ВСТУП

Без глибокого знання теоретичних засад технології виготовлення деталей і виробу в цілому, зокрема автомобіля, неможлива належна робота на машинобудівному виробництві, правильне розв'язання виникаючих при цьому інженерних проблем.

Тому у машинобудівних вишах навчальний курс «Технологічні основи автомобілебудування» є одним із провідних у низці спеціальностей. Крім лекційних занять за цим навчальним курсом, планом передбачено проведення практичних занять, які сприяють глибокому засвоєнню студентами теоретичних знань.

Предметом дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» є вивчення закономірностей, які діють під час механічної обробки деталей та складання машин, опанування практичних навичок застосування цих закономірностей для забезпечення проектної якості виробів, найменшої їхньої собівартості, запланованого обсягу випуску тощо.

Надзвичайно важливим є зв'язок дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» з такими дисциплінами, як: «Вступ до спеціальності», «Технологія конструкційних матеріалів», «Матеріалознавство», «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання». Вирішення технологічних питань без ґрунтовних знань з цих дисциплін взагалі не можливе.

Навчальним планом спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування», для дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» передбачено 14 годин практичних занять.

Метою практичних занять з дисципліни «Технологічні основи автомобілебудування» є закріплення й поглиблення теоретичних знань, а також опанування основ виконання необхідних технологічних розрахунків.

Теми пропонованих практичних занять стосуються вивчення теоретичних основ технології машинобудування, зокрема, теорії базування та розрахунку розмірних ланцюгів під час механічного оброблення та складання, розрахунку операційних розмірів під час механічного оброблення, методів забезпечення та дослідження точності обробки, а також якості поверхневого шару деталей, що має дуже важливе значення в сучасному машинобудуванні.

Кожне практичне заняття починається зі стислого викладення

необхідного теоретичного матеріалу. Усі задачі містять приклад розв'язання одного з її варіантів.

Згідно освітнього стандарту, після виконання практичних занять, студент повинен **знати**:

- основні способи обробки заготовок (механічна обробка, термічна і хіміко-термічна обробка, покриття), роль механічної обробки, призначення обробки різанням і критерії вибору припусків, геометрії і режимів різання, інструментальних матеріалів;
- основні технологічні методи механічної обробки поверхонь заготовок залежно від їхньої форми, розмірів, вимог до точності і механічних властивостей матеріалу і типу виробництва;
- призначення технологічної системи та її складових, методи досягнення точності при механічній обробці заготовок і при складанні вузлів, структуру операцій механічної обробки, норми часу та методика їх розрахунку;
- технологічні можливості металообробних верстатів, різальних інструментів, інструментів для обробки заготовок методами поверхневого пластичного деформування і верстатних пристроїв.

Практичні заняття сприяють придбанню студентами:

- **умінь** розробляти нескладні технологічні процеси виробництва різнотипних деталей з урахуванням типу виробництва (визначати тип виробництва і форму організації виробництва, вибирати методи обробки, різальні інструменти, верстати і оснастку); оформляти технологічні та конструкторські документи;
- **навичок** аналізу технологічності конструкції деталі; методами розрахунків припусків, режимів обробки деталі і визначення норм часу на виконання технологічної операції; способами виготовлення заготовки і призначення послідовності операцій.

Пропонований перелік тем практичних робіт можна використовувати не тільки під час практичних занять, а й для виконання індивідуальних домашніх завдань, а також для самостійної роботи студентів. Він може бути корисним також для курсового проектування і виконання дипломних робіт.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 1. БАЗУВАННЯ ТА БАЗИ В МАШИНОБУДУВАННІ

**Мета:** Ознайомлення з правилами вибору базових поверхонь під час механічної обробки, умовним позначенням опорних точок, правилами визначення похибок базування і закріплення.

### 1.1 Загальні відомості

Визначення відносного положення деталі в машині в процесі її роботи та подальше її виготовлення – є найважливішим завданням, вирішення якого впливає на якість деталей та машини загалом. Для її вирішення існує теорія базування, вихідні принципи та теоретичні положення якої засновані на законах теоретичної механіки та регламентовані ГОСТ 21495–93 «Базування та бази у машинобудуванні. Терміни та визначення».

Теоретична механіка розглядає два стани твердого тіла «спокою» та «руху». Ці поняття відносні, тому необхідно вказувати систему відліку. Якщо положення тіла щодо обраної системи відліку з часом не змінюється, то вважається, що це тіло покоїться відносно даної системи відліку. Якщо ж тіло змінює своє положення щодо обраної системи відліку, то тіло перебуває в русі. Необхідне положення або рух тіла досягається накладенням геометричних або кінематичних зв'язків.

**Зв'язками** в теоретичній механіці називають умови, які накладають обмеження або лише на положення, або також на швидкість переміщення тіла. У першому випадку – геометричний зв'язок, у другому – кінематичний. Зв'язки зазвичай здійснюються у вигляді різних тіл, що обмежують свободу руху даного тіла.

Незалежні переміщення, які може мати тіло, називають **ступенями свободи**. Абсолютно тверде тіло має шість ступенів свободи: 3 переміщення щодо трьох взаємно перпендикулярних координатних осей і 3 обертання навколо цих осей (рис. 1.1). Для того щоб визначити положення будь-якого твердого тіла в просторі, необхідна і достатня в обраній системі координат наявність шести геометричних зв'язків, які при з'єднанні деталей перетворюються на 6

опорних точок. Це положення отримало назву «правило шести точок».

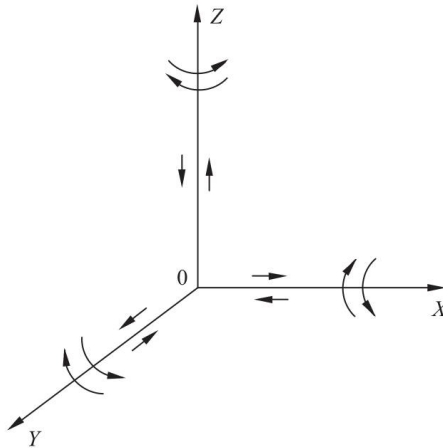


Рисунок 1.1 – Ступені свободи абсолютно твердого тіла

Виходячи зі службового призначення, окремим деталям залишають один або більше ступенів свободи. Наприклад, шпindel токарного верстата має одну ступінь свободи – обертання навколо власної осі. При обробці деталі розглядається положення деталі у пристосуванні і деталь, як правило, позбавляється всіх шести ступенів свободи.

**Базування** – надання заготовці або виробу необхідного положення щодо обраної системи координат.

**Опорна точка** – точка, що символізує один із зв'язків заготовки або виробу з обраною системою координат.

**Базою** називається поверхня або поєднання поверхонь що виконує цю функцію, вісь, точка, що належить заготовці або виробу і використовується для базування.

**Комплект баз** – це сукупність трьох баз, що утворюють систему координат заготовки чи виробу.

Розуміння геометричних зв'язків  $1 \div 6$  (рис. 1.2÷1.4), кожна з яких визначає одну з координат, а отже, позбавляє одного ступеня свободи, має важливе значення для успішного вирішення питань базування. Таким чином, положення деталі визначається за допомогою шести координат.



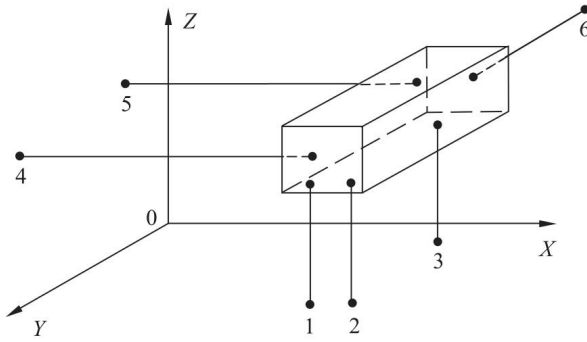


Рисунок 1.2 – Визначення положення призматичного тіла

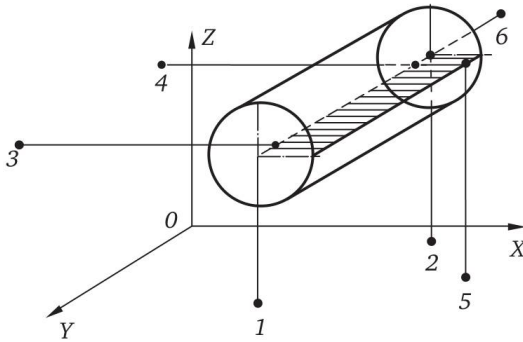


Рисунок 1.3 – Визначення положення валу

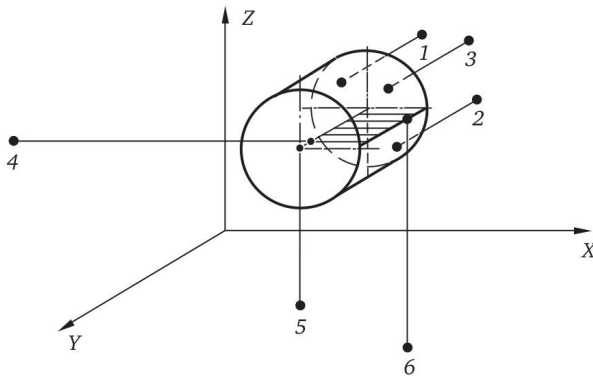


Рисунок 1.4 – Визначення положення диска

Теоретично базування деталі (виробу тощо) пов'язане з позбавленням її шести ступенів свободи за допомогою шести геометричних зв'язків, які при з'єднанні деталей перетворюються на 6 опорних точок.

Іноді не потрібно позбавляти заготовку всіх ступенів свободи, оскільки це ускладнює конструкцію пристосування. Так, при фрезеруванні шпонкової канавки на циліндричному валу кутове положення заготовки щодо осі  $X$  не фіксується, заготовка встановлена на п'ять точок (рис. 1.5). При обробці плоскої деталі по поверхні для забезпечення розміру по товщині, відпадає необхідність у фіксації положення деталі в горизонтальній площині і щодо осі  $Z$  і деталь встановлена на три точки (рис. 1.6).

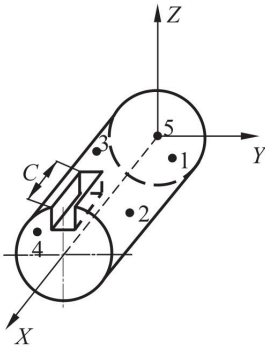


Рисунок 1.5 – Установка заготовки з позбавленням п'яти ступенів свободи

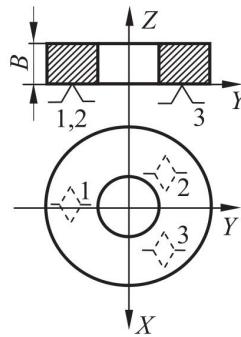


Рисунок 1.6 – Установка заготовки з позбавленням трьох ступенів свободи

Для розміщення шести опорних точок необхідна наявність у деталі трьох поверхонь або поєднання, що їх замінює, тобто необхідна координатна система.

**Схема базування** – це схема розміщення опорних точок на базах заготовки або виробу.

При розробці схем базування необхідно дотримуватися наступних правил. Усі опорні точки на схемі базування зображують умовними позначеннями (рис. 1.7 і 1.8) і нумерують порядковими номерами, починаючи з бази, де розміщується найбільша кількість опорних точок. В якості прикладу на рис. 1.7 представлено схему базування призматичної деталі.

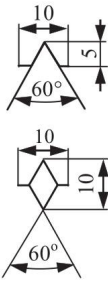


Рисунок 1.8 – Умовне позначення опорної точки

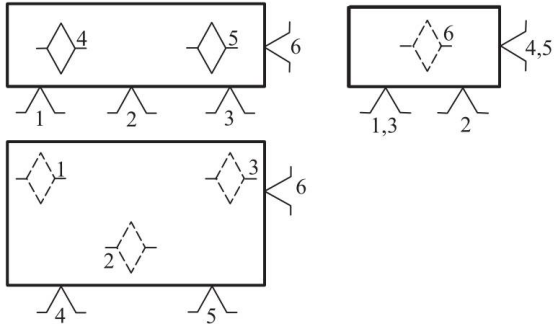


Рисунок 1.7 – Схема базування призматичної деталі

При накладенні в будь-якій проекції однієї опорної точки на іншу зображується одна точка і біля неї проставляються номери суміщених або співпалих точок (наприклад, на рис.1.7 точки 1 і 3, 4 і 5 на вигляді зліва). Число проєкцій заготовки або виробу на схемі базування має бути достатнім для чіткого уявлення про розташування опорних точок. Бази класифікують за призначенням, позбавленими ступенями свободи та характером прояву (рис. 1.9).

**Конструкторська база** – база, що використовується для визначення положення деталі або складальної одиниці у виробі.

**Основна база** – конструкторська база, що належить даній деталі або складальній одиниці і використовується для визначення її положення у виробі.

**Допоміжна база** – конструкторська база, що належить даній деталі або складальній одиниці і використовується для визначення положення деталей, що приєднуються (складальних одиниць) щодо даної деталі (складальної одиниці).

**Технологічна база** – база, що використовується для визначення відносного положення заготовки (виробу) у процесі виготовлення або ремонту.

**Вимірювальна база** – база, що використовується для визначення відносного положення заготовки або деталі та засобів вимірювання.

Основними і допоміжними можуть бути лише конструкторські бази. У той же час основна конструкторська база може бути вимірювальною або технологічною.



Рисунок 1.9 – Класифікація баз

**Установча база** – база, що позбавляє заготовку (виріб) трьох ступенів свободи: переміщення вздовж однієї координатної осі та поворотів навколо двох інших осей. Наприклад, на рис. 1.6 опорні точки 1, 2, 3 утворюють настановну базувальну поверхню (установлювальну базу).

**Напрямна база** – база, що позбавляє заготовку (виріб) двох ступенів свободи: переміщення вздовж однієї координатної осі та повороту навколо іншого. Наприклад, опорні точки 4 та 5 на рис. 1.6 утворюють напрямну базувальну поверхню (напряму базу).

**Опорна база** – база, що позбавляє заготовку (виріб) одного ступеня свободи: переміщення вздовж однієї координатної осі або повороту навколо цієї осі. Наприклад, опорна точка 6 на рис. 1.7 утворює опорну базову поверхню (опорну базу).

**Подвійна напрямна база** – база, що позбавляє заготовку (виріб) чотирьох ступенів свободи: переміщення вздовж двох координатних осей і поворотів навколо цих осей. Наприклад, на рис. 1.6 опорні точки 1, 2, 3, 4 утворюють подвійну напрямну базующуюу поверхню (подвійну напрямну базу).

**Подвійна опорна база** – база, що позбавляє заготовку (виріб) двох ступенів свободи: переміщення вздовж двох координатних осей.

Наприклад, на рис. 1.3 опорні точки 4 і 5 утворюють подвійну опорну базу поверхню (подвійну опорну базу).

**Явна база** – база заготовки (виробу) у вигляді реальної поверхні, розмічувальної ризки або точки перетину рисок.

**Прихована база** — база заготовки або виробу у вигляді уявної площини, осі або точки.

Повне та коротке найменування баз за декількома класифікаційними ознаками ведеться в наступному порядку: за призначенням, позбавленим ступеням свободи, характеру прояву. Наприклад, «технологічна спрямовуюча прихована база», «вимірювальна опорна явна база», «конструкторська основна установочна явна база» тощо.

При виборі технологічних баз потрібно керуватися такими правилами.

1. Як технологічну базу бажано вибирати конструкторську базу.

2. На першій операції технологічну базу слід вибирати з урахуванням вирішення одного з двох завдань: рівномірного розподілу припуску між оброблюваними поверхнями деталі або забезпечення розмірного зв'язку між поверхнями, що підлягають обробці і поверхнями необроблюваними.

3. Як установочну технологічну базу слід вибирати поверхню, що має найбільшу протяжність у двох взаємно–перпендикулярних напрямках.

4. Як напрямну технологічну базу необхідно вибирати поверхню, що має найбільшу протяжність в одному напрямку.

5. В якості опорної технологічної бази необхідно вибирати поверхню, що має найменші габарити.

6. Поверхні, які будуть використані як технологічна база надалі, повинні бути оброблені на першій операції, бажано за один установочний етап.

Під **принципом єдності** баз розуміється використання одних і тих самих поверхонь як базових на переважній більшості операцій технологічного процесу. Класичним прикладом використання принципу єдності баз є обробка деталі в центрах, під час якої на всіх операціях, окрім першої, використовуються одні й ті самі бази.

**Правила вибору баз і принцип єдності баз часто суперечать одне одному.** Наприклад, при обробці деталі в центрах виконується принцип єдності баз, але не виконуються правила вибору баз

(конструкторська база не збігається з технологічною). У результаті замість одного розміру (діаметра) необхідно витримувати два розміри (два радіуси). Отже залежно від конкретних умов виконуються відповідні вимоги теорії базування.

**Зміна баз** – це навмисна або випадкова заміна одних баз іншими зі збереженням їхньої приналежності до конструкторських, технологічних або вимірювальних баз. Розрізняють організовану та неорганізовану зміну баз. Під організованою (навмисною) зміною баз розуміється така зміна, коли дотримуються певних правил (перерахунок розмірів, ув'язування старої та нової бази, тощо).

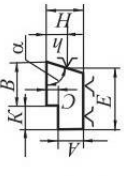
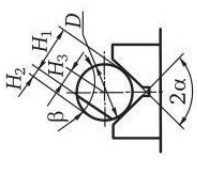
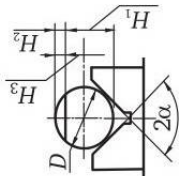
**Організована зміна баз є керованою.**

Під **неорганізованою (випадковою) зміною баз** розуміється зміна баз без дотримання перерахованих вище правил. Неорганізована схема баз є некерованою. Кожна зміна баз супроводжується появою додаткової похибки, оскільки збільшується кількість ланок у розмірному ланцюгу, з'являється ланка, яка «зв'язує» новообрану базу з попередньою. Тому необхідно прагнути до того, щоб усі поверхні заготовки оброблялися від тих самих технологічних баз, тобто треба дотримуватися принципу єдності баз.

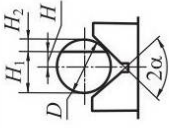
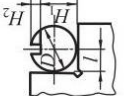
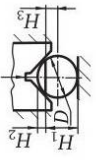
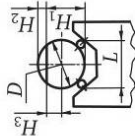
**Похибка базування** – це відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу під час базування від необхідного. Похибка базування визначається розрахунком, а також залежно від схеми базування може бути визначена за табл. 1.1.

Похибку базування можна представити як різницю між граничними положеннями проекцій вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру. Так, для схеми на рис. 1.10 (а), при установці заготовки на площину похибка базування для розміру  $A$   $\Delta\varepsilon_{\delta_A} = 0$ , так як поверхня 1 є для цього розміру одночасно і установочною, і вимірювальною базою. Аналогічно для розміру  $E$  похибка базування  $\Delta\varepsilon_{\delta_E} = 0$ . Для розміру  $B$  установочною базою є поверхня 1, а вимірювальною – поверхня 2. Похибка базування  $\Delta\varepsilon_{\delta_B}$  в цьому випадку дорівнює  $2TC$ , тобто допуску на розмір  $C$ . При встановленні на охоплюваний або охоплюючий установочний елемент, до похибки базування, що визначається попереднім способом, слід додати проекцію зміщення вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру в результаті зазору між установочною базою і установочним елементом пристосування (рис. 1.10, б).

Таблиця 1.1 – Похибка базування при встановленні заготовок у пристосуваннях

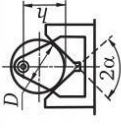
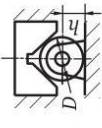
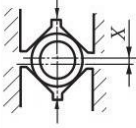
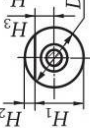
Схема	Базування	Схема установки	Витримуваний розмір	Похибка базування $\Delta \varepsilon_6$
1	По двох плоских поверхнях Обробка уступу		A B C K	0 $Th \times \operatorname{tg} \alpha$ при $\alpha \neq 90^\circ$ 0 при $\alpha = 90^\circ$ TH TE
2	По зовнішній циліндричній поверхні У призмі під час обробки плоскої поверхні плаза		H <sub>1</sub> H <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	$0,5TD \left( \frac{\sin \beta - 1}{\sin \alpha} \right)$ при $\beta = \alpha \dots 90^\circ$ $0,5TD \left( 1 - \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \right)$ при $\beta = 0 \dots \alpha$ $0,5TD \left( \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} + 1 \right)$ $0,5TD \left( \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \right)$
3	По зовнішній циліндричній поверхні Те саме, при $\beta = 90^\circ$		H <sub>1</sub> H <sub>2</sub> H <sub>3</sub>	$0,5TD \left( \frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right)$ $0,5TD \left( \frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right)$ $0,5TD \frac{1}{\sin \alpha}$

Продовження табл. 1.1

Схема	Базування	Схема установки	Витримуваний розмір	Похибка базування $\Delta\epsilon_g$
4	Теж при $\beta = 0$		$H_1$ $H_2$ $H_3$	$0,5TD$ $0,5TD$ 0
5	У призмі при обробці плоскої поверхні або паза		1 $H_1$ $H_2$	$0,5TD$ 0 TD
6	Те саме при $2\alpha = 180^\circ$ і зажими призмю		$H_1$ $H_2$ $H_3$	0 TD $0,5TD$
7	Те саме, але призма виконана зі сферичними опорами		$H_1$ $H_2$ $H_3$	$A - 0,5TD$ $A + 0,5TD$ A
				$A = \sqrt{(r + 0,5D_{\min} + 0,5TD)^2 - 0,5L^2} - \sqrt{(r + 0,5D_{\min})^2 - 0,25L^2}$ <p>де <math>L</math> - відстань між центрами опор; <math>r</math> - радіус сферичної опори; <math>D</math> - лінійний розмір заготовки</p>



Продовження табл. 1.1

Схема	Базування	Схема установки	Витримуваний розмір	Похибка базування $\Delta \varepsilon_g$
8	X-призмі при свердлінні отворів по кондуктору		$h$	$0,57D \left( \frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right)$ при $h > 0,5D$ $0,57D \frac{1}{\sin \alpha}$ при $h = 0,5D$
9	Те саме при $2\alpha = 180^\circ$ і заклині призмою		$h$	$0,57D \left( \frac{1}{\sin \alpha} + 1 \right)$ при $h < 0,5D$
10	Те саме, але при використанні самоцентруючих призм		$X$	$0$
11	По отвору На палець установчий циліндричний (оправку) із зазором при обробці плоскої поверхні або паза		$H_1; H_2$ $H_3$ $H_4$	$0,57D + 2e + \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta$ $2e + Td_1 + Td_2 + 2\Delta$ $Td_1 + Td_2 + 2\Delta$

Продовження табл. 1.1

Схема	Базування	Схема установки	Витримуваний розмір	Похибка базування $\Delta e_g$
12	Те саме, але з одностороннім притисканням заготовки		$H_1; H_2$ $H_3$ $H_4$	$0,5TD + 2e + 0,5Td_1$ $2e + 0,5Td_1 + 0,5Td_2$ $0,5Td_1 + 0,5Td_2$
13	На палець (оправку) з натягом або на розжимну оправку		$H_1; H_2$ $H_3$ $H_4$	$0,5TD + 2e$ $2e$ $0$
14	На палець (оправку) із зазором. Торець заготовки не перпендикулярний осі базового отвору		$H_1; H_2$	$0,5TD + 2e + Td_1 + Td + 2\Delta - 2ltg\alpha$
15	Те саме, але з одностороннім притисканням заготовки		$H_1; H_2$	$0,5TD + 2e + 0,5Td_2 + 2ltg\alpha$
16	На палець (оправку) без зазору. Торець заготовки неперпендикулярний осі базового отвору		$L_1$	$Td_1 + 2Ltg\gamma$

Продовження табл. 1.1

Схема	Базування	Схема установки	Витримуваний розмір	Похибка базування $\Delta \varepsilon_g$
17	<i>До центрованим лезом</i> На жорсткий передній центр		$L_1$	$TL + \Delta_u$
			$L_2; L_3$	$\Delta_u = Td / \text{tg}\alpha$
			$L_4$	0
18	Те саме, але з використанням плаваючого переднього центру		$L_1$	$TL$
			$L_2; L_3; L_4$	0
19	<i>До двох отворів</i> На пальнях під час обробки верхньої поверхні		$h_1$	$2\Delta + Td_1 + Td_2$
			$h_2$	$(2\Delta + Td_1 + Td_2)$

Продовження табл. 1.1

**Примітки:** 1. На схемах 11÷19:  $H_3$  - розмір від обробленої поверхні до осі зовнішньої поверхні;  $H_4$  - те саме, до осі отвору;  $e$  - ексцентриситет зовнішньої поверхні відносно отвору;  $Td_1$  - допуск на діаметр отвору;  $Td_2$  - допуск на діаметр пальця;  $\Delta$  - мінімальний радіальний зазор посадки заготовки на палець;  $TL$  - допуск на довжину заготовки.

2. Похибка базування в схемах 11÷16 включає похибку пристосування  $\Delta_{\text{пр}}$ .

3 На схемі 17:  $Td$  - допуск на діаметр центрального отвору;  $\alpha$  - половина кута центрального отвору;  $\Delta_u$  - похибка глибини центрального отвору (просадка центру).

При куті центру  $2\alpha = 60^\circ$  просідання центрів  $\Delta_u$  можна приймати таким чином:

Найбільший діаметр центрального отвору, мм	1; 2; 2,5	4; 5; 6	7; 5; 10	12,5; 15	20; 30
$\Delta_u$ , мм	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25

При встановленні деталі без зазору похибка базування для розміру  $A$  дорівнює половині допуску на діаметральний розмір заготовки, тобто  $\Delta\epsilon_{бА} = TD$ , а для розміру  $B$   $\Delta\epsilon_{бВ} = 0$ .

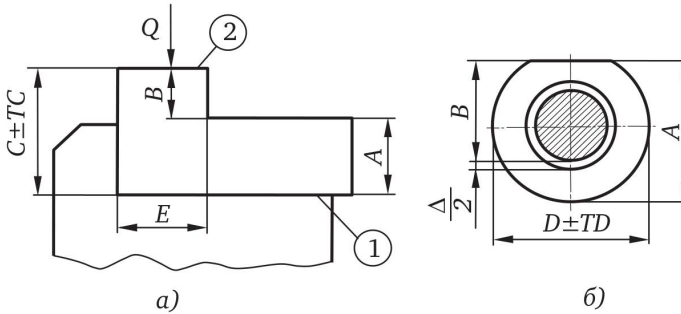


Рисунок 1.10 – Схеми визначення похибки базування ( $Q$  — сила затиску)

За наявності зазору між отвором заготовки та настановним елементом, рівного  $\Delta/2$ , похибка базування для розміру  $A$   $\Delta\epsilon_{бА} = TD + \Delta$ , а для розміру  $B$  —  $\Delta\epsilon_{бВ} = \Delta$ . Для зменшення похибки базування слід прагнути до суміщення настановних та вимірювальних баз, а також зменшення або усунення зазорів при посадці заготовки на установочні елементи.

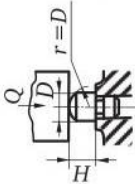
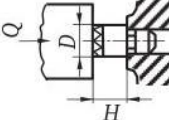
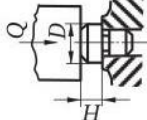
Похибка базування визначається розрахунком, а також залежно від схеми базування за допомогою таблиць 1.1 та 1.2.

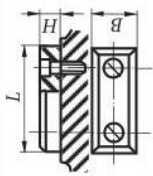
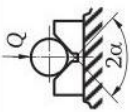
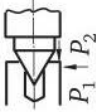
**Закріплення** — застосування сил і пар сил (моментів) до заготовки або виробу з метою забезпечення сталості положення, досягнутого під час базування.

**Похибка закріплення** — відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу під дією сил закріплення.

Похибкою закріплення називається відстань між граничними положеннями проекції вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру внаслідок прикладання до оброблюваної заготовки сили затиску. Для партії оброблюваних деталей похибка закріплення може бути зведена до нуля, якщо зміщення вимірювальної бази хоч і велике, але постійне. У цьому випадку координата середини поля розсіювання одержуваних розмірів може бути змінена налаштуванням верстата.

Таблиця 1.2 – Похибка закріплення при установці заготовки в пристосування

Встановлення на постійні опори та опорні пластини							
$\Delta \varepsilon_3 = [(K_{Rz} R_{z3} + K_{HB} HB) + C_1] \left( \frac{Q}{19,8} \right)^n \frac{1}{F^m}$							
Тип опори	Ескіз	Матеріал заготовки	$K_{Rz}$	$K_{HB}$	$C_1$	$n$	$m$
Опора зі сферичною головкою ГОСТ 13440-68		Сталь	0	-0,003	0,67+6,23/r	0,8	0
		Чавун	0	-0,008	2,70+9,23/r	0,6	0
Опора з нагненою головкою за ГОСТ 13440-68		Сталь	0	-0,004	0,38+0,034D	0,6	0
		Чавун	0	-0,0008	1,76-0,03D	0,6	0
Опора з плоскою головкою за ГОСТ 13440-68		Сталь	0,004	-0,0016	0,40+0,012F	0,7	0,7

Типи опори	Ескіз	Матеріал заготовки	$K_{Rz}$	$K_{HB}$	$C_1$	$n$	$m$						
Пластина опорні за ГОСТ 4743-68		Чавун	0,016	-0,0045	0,776 + 0,053F	0,6	0,6						
<b>Встановлення на призму</b>													
$\Delta \epsilon_3 = \left[ \left( K_{Rz} R_z + \frac{K_{HB}}{HB} \right) + C_1 \right] \left( \frac{Q}{19,6I} \right)^n$													
Призма з кутом $2\alpha = 90^\circ$		-	0,005	15	0,086 + 8,4/D <sub>заг</sub>	0,7	-						
<b>Установлення заготовки зі сталі 45 на центри за тиску в місці контакту не більше 8 000 кПа</b>													
$\Delta \epsilon_3 = C(P/9,8)^{0,5}$													
Ескіз стику	Напрямок зміщення	<b>Коефіцієнт C при діаметрі центрального гнізда, мм</b>											
	Радіальне	1	2	2,5	4	5	6	7,5	10	12,5	15	20	30
	Осьове	15,7	11,8	8,6	5,8	3,8	3,2	2,9	2,1	1,7	1,4	1,0	0,7
	Осьове	12,1	8,6	6,6	4,1	2,9	2,5	2,2	1,6	1,3	1,1	0,8	0,55

Позначення: HB – твердість матеріалу за Брінеллем; Q – сила, що діє за нормаллю до опори; H; F – площа контакту опори із заготовкою, см<sup>2</sup>; l – довжина твірної, за якою відбувається контакт, см; Rz – параметр шорсткості поверхні заготовки, мкм; P – складова сили різання, у напрямі якої визначають зсув; H; r – радіус сферичної голівки, мм; L – довжина пластини

Однак у зв'язку з коливанням сил затиску під час переходу від однієї деталі до іншої, неоднорідністю якості поверхні, на яку встановлюють заготовку, і з пружними відтискуваннями вузлів пристосування неминучі коливання величин осідання вимірювальної бази.

Похибки закріплення залежать від конструкції пристосування, розмірів і конфігурації заготовки, від величини сил затиску та інших чинників і можуть бути визначені розрахунком для типових пристосувань. Зсув унаслідок контактних деформацій стику заготовка-опори пристосування обчислюють за емпіричними залежностями типу  $\Delta\varepsilon_3 = CQ^n$ , де  $C$  і  $n$  – коефіцієнти, що характеризують умови контакту, матеріал і твердість поверхні заготовок, що використовується як база (значення  $C$  і  $n$  наведені в табл. 1.2);  $Q$  – сила, що діє на опору.

Похибка закріплення:

$$\Delta\varepsilon_3 = \overline{CQ^n} \cos \alpha \sqrt{\left(\frac{\Delta C}{\overline{C}}\right)^2 + \left(\frac{n\Delta Q}{\overline{Q}}\right)^2}, \quad (1.1)$$

де  $\overline{C}$  і  $\overline{Q}$  – середні значення параметрів;  $\alpha$  – кут між напрямком витриманого розміру і напрямком найбільшого зсуву;  $\Delta C$  і  $\Delta Q$  – граничне розсіювання значень  $C$  і  $Q$ .

Враховуючи під час розрахунків тільки коливання твердості матеріалу заготовок  $\Delta HB$  і параметра шорсткості поверхні  $\Delta Rz$  заготовок, використовуваної як бази, значення  $\Delta C$  визначають за формулою:

$$\Delta C = \sqrt{(K_{HB} p \Delta HB)^{p-1} (\Delta HB)^2 + (K_{Rz} \Delta Rz)^2}. \quad (1.2)$$

Коефіцієнти  $K_{HB}$  і  $K_{Rz}$  визначають за табл. 1.2. Під час установлення на штирі та пластини приймають  $p = 1$ ; під час установлення на призму  $p = -1$ .

Складова  $\Delta\varepsilon_3$  характеризує знос настановних елементів пристосування. Величина зносу залежить від програми випуску виробів (часу роботи пристосування), їхньої конструкції, розмірів настановних елементів, матеріалу і маси заготовки, стану її базової поверхні, а також умов установлення заготовки в пристосування та її зняття. Найбільше зношуються постійні та регульовані опори, у яких контакт із заготовкою здійснюється по малих площадках.



Сильно зношуються бічні поверхні призм, що контактують із заготовкою по вузькій площині. Менш інтенсивно зношуються опорні пластини і круглі пальці. Під час контакту з необробленими поверхнями заготовок зі слідами окалини і формувального піску, опори пристосувань зношуються сильніше, ніж під час контакту з обробленими поверхнями.

Швидкість зношування зростає зі збільшенням маси заготовки і зсуву по опорах під час її встановлення в пристосуванні. Зношування нерівномірне в часі і має місцевий характер. Опорні пластини більше зношуються в середині і з одного краю, а пальці – з боку встановлення заготовки. Зношування опор з малою поверхнею контакту із заготовкою протікає спочатку швидко, а потім сповільнюється. Зношування опор із розвинутою несучою поверхнею протікає більш рівномірно. Величина зносу (мкм), для поверхні:

– з малою поверхнею контакту  $u = \beta_1 Nn$ ;

– з розвинутою несучою здатністю  $u = \beta_2 N$ ,

де  $N$  – число контактів заготовки з опорою;  $\beta_1, \beta_2$  – сталі величини (табл. 1.3);  $n = 0,5$  (приблизно). Великі значення  $\beta_1, \beta_2$  обирають для важких умов роботи опор за навантаженням, шляхом зсуву, часом нерухомого контакту й абразивним впливом заготовки.

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнтів  $\beta_1$  і  $\beta_2$

Вид опори	$\beta_1$ (мала поверхня контакту)	Вид опори	$\beta_2$ (розвинута несуча здатність)
Зі сферичною головкою	0,5... 2	З плоскою головкою	0,4... 0,8
З рифленою головкою	0,6... 2,5	Пластини опорні	0,002... 0,004
Призми	0,3... 0,8	Пальці циліндричні	0,001... 0,002
Пальці ромбічні	0,2... 0,6		

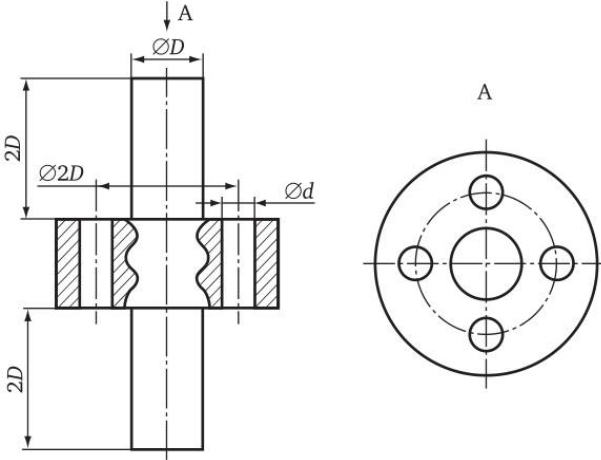
**Установка** – спільний розгляд процесу базування і закріплення.

## 1.2 Порядок проведення практичного заняття

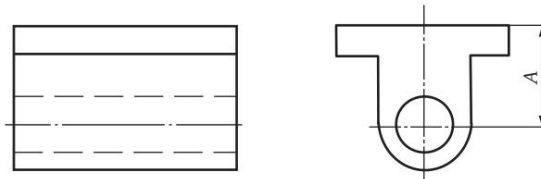
За заданим варіантом завдання запропонувати схему базування і закріплення заготовки, а також визначити похибку базування і закріплення під час забезпечення розміру, використовуючи теоретичні положення і формули табл. 1.1 і 1.2.

### Варіанти завдань для виконання практичної роботи

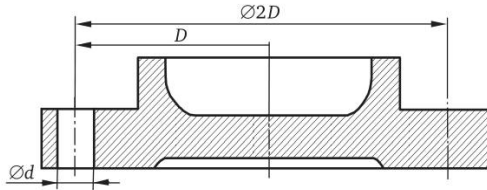
**Задача 1.** Запропонувати схему базування і закріплення під час одночасного свердління чотирьох отворів у заготовці, розташованих один до одного під кутом  $90^\circ$ , визначити похибку базування і закріплення під час забезпечення розміру. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



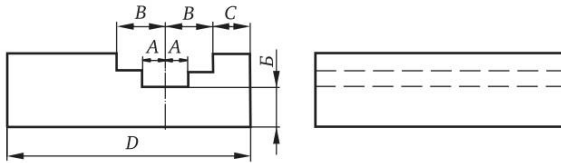
**Задача 2.** У заготовки корпусної деталі обробляється площина основи із забезпеченням розміру  $A$ . Потрібно запропонувати схему базування та закріплення під час обробки зазначеної поверхні й розрахувати похибку базування та закріплення. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



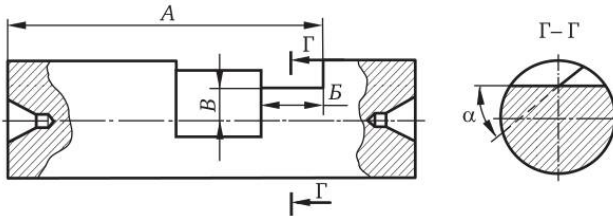
**Задача 3.** Запропонувати схему базування і закріплення під час послідовної обробки семи отворів, рівномірно розташованих в заготовці типу кришки, і розрахувати похибку базування і закріплення під час забезпечення розміру  $D$ . Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



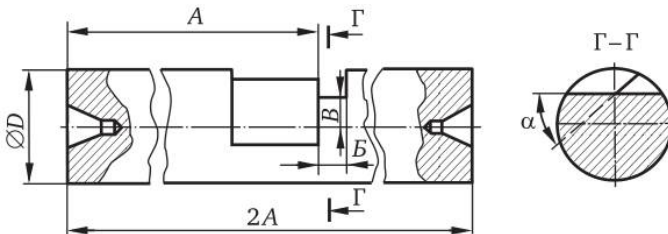
**Задача 4.** Запропонувати схему базування і закріплення під час фрезерування в заготовці паза із забезпеченням розмірів  $A$ ,  $B$  і розрахувати похибку базування і закріплення. Пази шириною  $2A$  і  $2B$  мають одну й ту саму площину симетрії. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



**Задача 5.** Запропонувати схему базування і закріплення під час виконання операції фрезерування лиски із забезпеченням розмірів  $A$ ,  $B$ ,  $B$  і кута  $\alpha$ . Визначити похибку базування і закріплення заготовки. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.

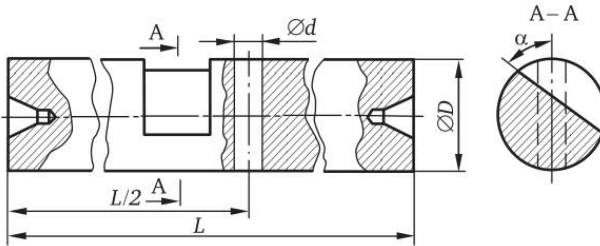


**Задача 6.** Запропонувати схему базування і закріплення під час виконання фрезерної операції із забезпеченням розмірів  $A$ ,  $B$ ,  $B$  і кута  $\alpha$ .

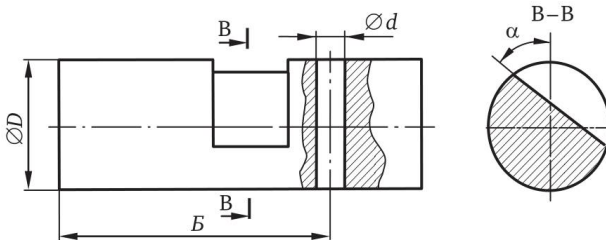


Відоме співвідношення  $2A/D = 16$ . Визначити похибку базування і закріплення заготовки. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.

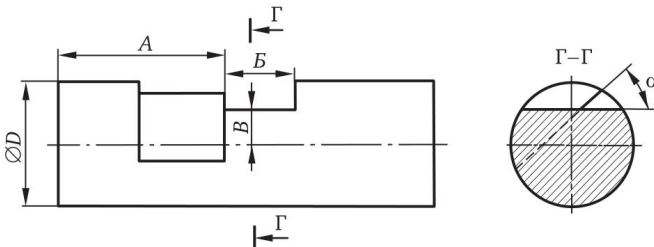
**Завдання 7.** Запропонувати схему базування і закріплення під час обробки отвору  $\varnothing d$  у заготовці із забезпеченням координати  $L/2$  і кута  $\alpha$ . Відношення  $L/D = 13$ . Визначити похибки базування і закріплення. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



**Задача 8.** Запропонувати схему базування і закріплення під час обробки отвору  $\varnothing d$ , розташованого на відстані  $B$  від торця під кутом до лиски  $\alpha$ . Визначити похибку базування і закріплення при забезпеченні розміру  $B$ . Допуски на необхідні розміри задати самостійно.

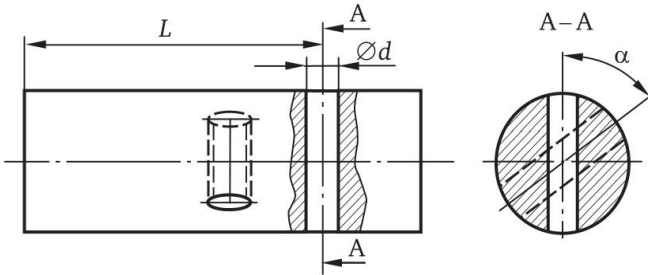


**Задача 9.** Запропонувати схему базування та закріплення під час виконання операції фрезерування лиски із забезпеченням розмірів  $A$ ,  $B$ ,  $B$  і кута  $\alpha$ .

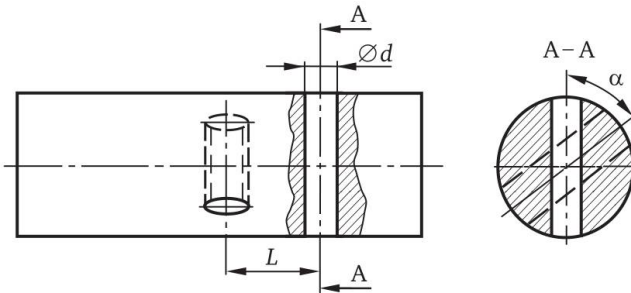


Визначити похибку базування і закріплення забезпечуваних розмірів. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.

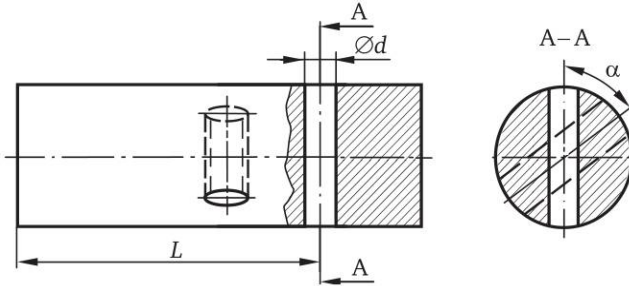
**Задача 10.** У заготовці деталі типу вал обробляється отвір  $\varnothing d$ , розташований на відстані  $L$  від торця і під кутом  $\alpha$  до осі отвору, раніше обробленого. Запропонувати схему базування та закріплення. Визначити похибку базування і закріплення під час обробки отвору. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



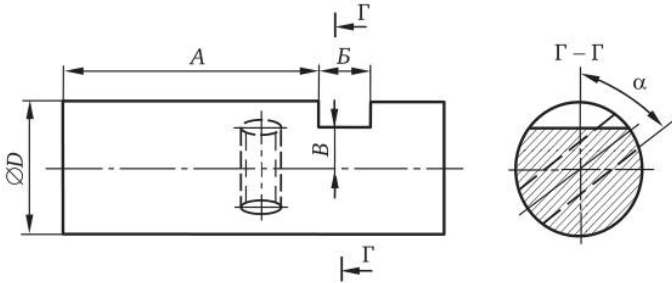
**Задача 11.** У заготовці деталі типу вал обробляється отвір  $\varnothing d$ , який має бути розташований на відстані  $L$  від іншого отвору і під кутом  $\alpha$  до нього. Запропонувати схему базування та закріплення. Визначити похибку базування та закріплення під час обробки отвору. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



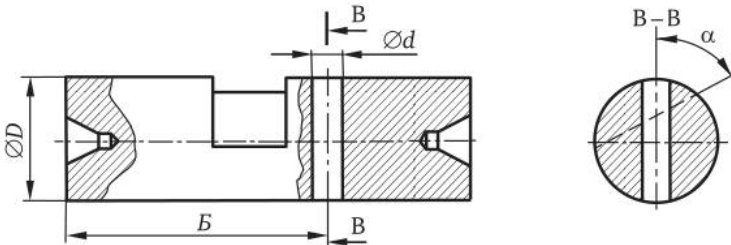
**Задача 12.** У заготовці обробляється отвір  $\varnothing d$  з координатою  $L$  і кутом  $\alpha$  щодо іншого отвору. Запропонувати схему базування та закріплення. Визначити похибку базування та закріплення. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



**Завдання 13.** Запропонувати схему базування і закріплення під час обробки паза із забезпеченням розмірів  $A$ ,  $B$ ,  $V$  і кута  $\alpha$ . Визначити похибку базування заготовки та закріплення. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.

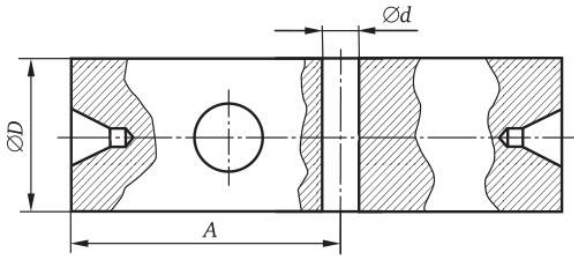


**Завдання 14.** Запропонувати схему базування і закріплення під час обробки отвору  $\varnothing d$ , розташованого на відстані  $B$  від торця під кутом до лиски  $\alpha$ . Визначити похибку базування та закріплення заготовки. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.

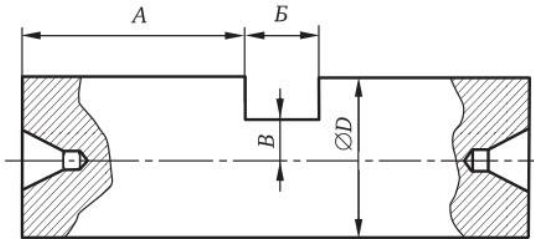


**Задача 15.** Запропонувати схему базування і закріплення під час обробки отвору  $\varnothing d$  із забезпеченням розміру  $A$ . Визначити похибку базування і закріплення заготовки.

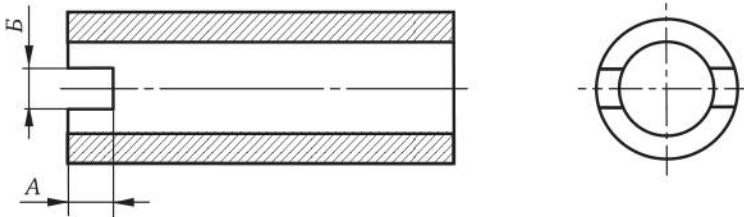
Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



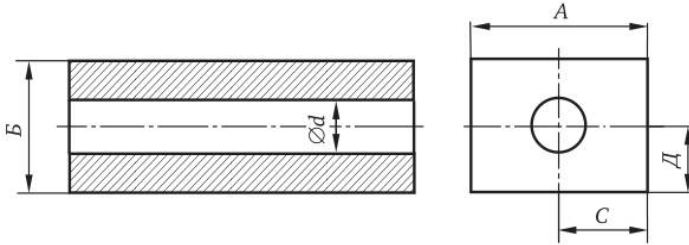
**Завдання 16.** Запропонувати схеми базування і закріплення при виконанні операції фрезерування паза в заготовці із забезпеченням розмірів  $A$ ,  $B$ ,  $B$ . Визначити похибку базування та закріплення заготовки. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



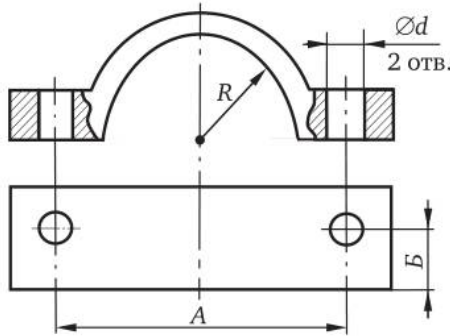
**Задача 17.** У заготовці типу труби необхідно фрезеруванням отримати паз із забезпеченням розмірів  $A$  і  $B$ . Запропонувати схеми базування та закріплення. Визначити похибку базування і закріплення при забезпеченні зазначених розмірів. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



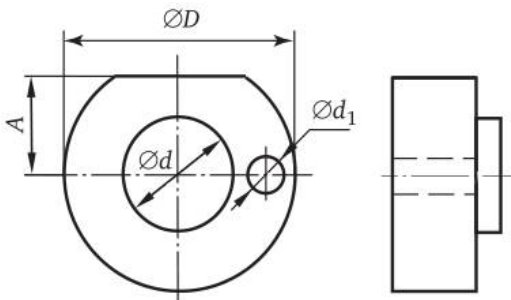
**Завдання 18.** Запропонувати схему базування та закріплення під час обробки отвору  $\varnothing d$  у заготовці корпусної деталі. Визначити похибку базування і закріплення при забезпеченні розмірів  $C$  і  $D$ . Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



**Задача 19.** У заготовці типу кришки за допомогою кондуктора мають бути оброблені 2 отвори  $\varnothing d$  і витримані координати А і Б. Запропонувати схеми базування та закріплення деталі під час обробки отворів і визначити похибку базування та закріплення. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.

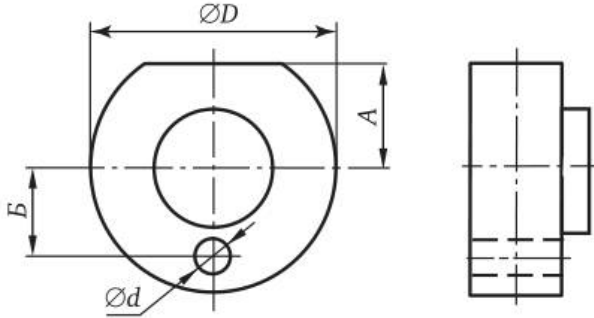


**Завдання 20.** Запропонувати схеми базування і закріплення заготовки для виконання операції фрезерування лиски із забезпеченням розміру А. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.

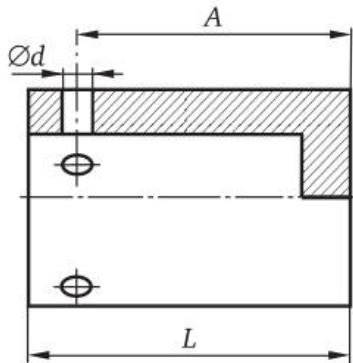




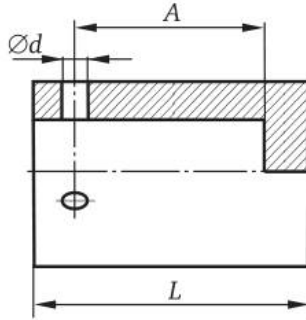
**Завдання 21.** Запропонувати схеми базування та закріплення заготовки для виконання операції фрезерування лиски із забезпеченням розміру  $A$ . Визначити похибку базування та закріплення деталі. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



**Задача 22.** У заготовці типу стакан мають бути послідовно просвердлені п'ять рівнорозташованих отворів  $\varnothing d$  на відстані  $A$  від торця. Запропонувати схеми базування та закріплення під час виконання операції. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



**Завдання 23.** У заготовці типу стакан мають бути послідовно просвердлені три рівнорозташовані отвори  $\varnothing d$  на відстані  $A$  від дна заготовки. Запропонувати схеми базування і закріплення під час виконання операції. Визначити похибки базування та закріплення. Допуски на необхідні розміри задати самостійно.



### 1.3 Зміст звіту

Звіт має бути виконаний відповідно до вимог щодо оформлення навчальних робіт і містити:

- найменування роботи та її мету;
- зміст завдання та ескіз заготовки;
- схему базування та закріплення;
- розрахунок похибки базування;
- розрахунок похибки закріплення;
- висновки з роботи.

У процесі здавання звіту про виконану роботу студент повинен дати відповіді на поставлені викладачем запитання за результатами роботи і наведеними теоретичними відомостями.

### 1.4 Контрольні запитання

1. Дайте визначення поняттям «базування» і «бази».
2. Наведіть класифікацію баз.
3. Якими положеннями слід керуватися під час вибору баз?
4. У чому полягає принцип єдності баз?
5. Дайте визначення поняттю «похибка базування».
6. Дайте визначення поняттю «похибка закріплення».
7. Наведіть приклад розрахункового визначення похибки базування.

### Література

[1]-[5].

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 2. ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗМІРНІ ЛАНЦЮГИ

**Мета:** Вивчення основних понять про технологічні розмірні ланцюги, правил розрахунку операційних і настроювальних розмірів.

### 2.1 Загальні відомості

Процес початкового встановлення необхідної точності відносного руху і положення виконавчих поверхонь інструменту та обладнання або пристосування з метою отримання необхідної точності оброблюваних деталей називається **налаштуванням (налагодженням) технологічної системи**.

Завданнями налаштування є отримання необхідної точності оброблюваних деталей і отримання якомога більшої кількості придатних деталей, оброблених з одного налаштування. Під час налаштування може застосовуватися будь-який із п'яти методів досягнення заданої точності замикальної ланки розмірного ланцюга, який формується між елементами технологічної системи. До цих п'яти методів належать: метод повної взаємозамінності, метод неповної взаємозамінності, метод групової взаємозамінності, метод пригонки, метод регулювання.

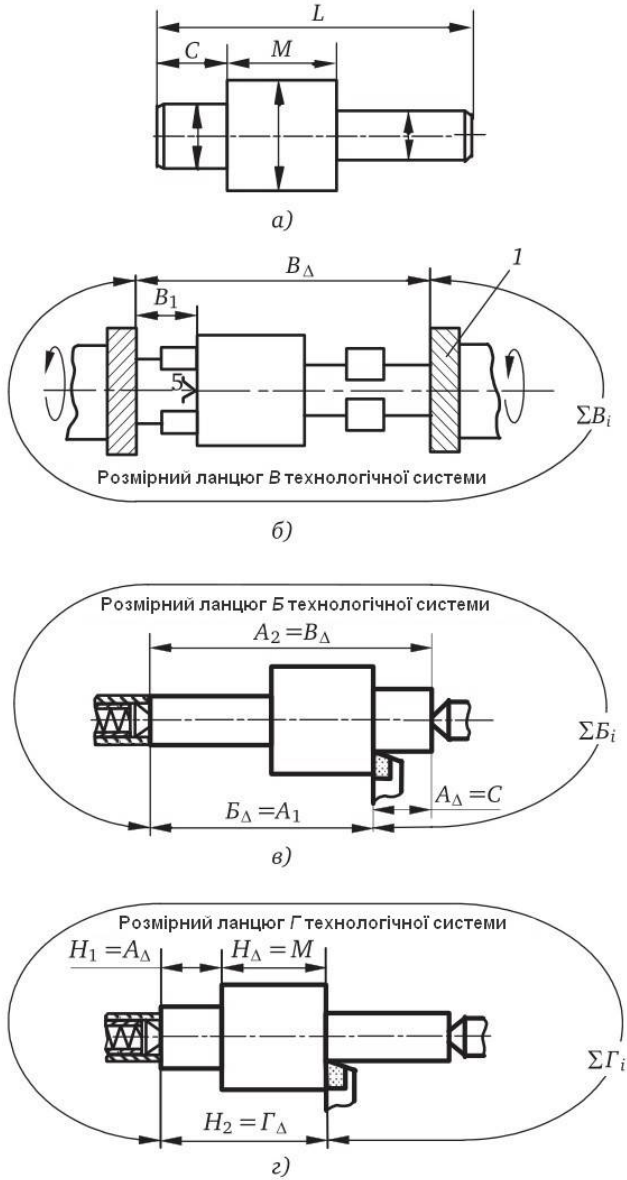
У цій практичній роботі буде використовуватися метод повної взаємозамінності. На рис. 2.1, *а* представлено креслення деталі (ступінчастий вал), креслярські розміри якої ( $L$ ,  $M$ ,  $C$ ) проставлено відповідно до її службового призначення. Числові значення розмірів для різних варіантів завдань наведено в табл. 2.1. В якості заготовки обрано штампування.

**Розглянемо технологічний процес виготовлення вала.**

**Операція I** – підрізання торців і зацентрування заготовки на фрезерно–центрувальному верстаті (рис. 2.1, *б*). Заготовка базується двома парами самоцентрувальних призм. Унаслідок підрізання торців утворюються розміри:  $B_1$  – від опорної бази 5 до лівої фрези і  $B_\Delta$  – розмір між фрезами, який відповідає креслярському розміру  $L$ .

**Операція II** – токарна обробка заготовки з одного боку (рис. 2.1, *в*).

**Операція III** – токарна обробка заготовки з іншого боку (рис. 2.1, *г*).



*a* - креслення деталі; *б* - операція I; *в* - операція II; *з* - операція III  
 Рисунок 2.1 – Схеми розмірних ланцюгів технологічних систем

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань до рис. 2.1

Варіант даних	Креслярський розмір		
	<i>L</i>	<i>M</i>	<i>C</i>
1	140 <sub>-0,5</sub>	50 <sub>-0,1</sub>	60 <sup>+0,3</sup>
2	150 <sub>-0,3</sub>	60 <sub>-0,2</sub>	40 <sup>+0,3</sup>
3	180 <sub>-0,4</sub>	70 <sub>-0,3</sub>	60 <sup>+0,4</sup>
4	160 <sub>-0,6</sub>	80 <sub>-0,2</sub>	70 <sup>+0,3</sup>
5	150 <sub>-0,4</sub>	70 <sub>-0,5</sub>	30 <sup>+0,2</sup>
6	120 <sub>-0,3</sub>	60 <sub>-0,41</sub>	40 <sup>+0,3</sup>
7	160 <sub>-0,4</sub>	40 <sub>-0,3</sub>	20 <sup>+0,3</sup>
8	100 <sub>-0,3</sub>	30 <sub>-0,1</sub>	40 <sup>+0,6</sup>
9	120 <sub>-0,4</sub>	40 <sub>-0,2</sub>	60 <sup>+0,3</sup>
10	110 <sub>-0,3</sub>	50 <sub>-0,3</sub>	35 <sup>+0,3</sup>
11	115 <sub>-0,15</sub>	60 <sub>-0,2</sub>	30 <sup>+0,2</sup>
12	125 <sub>-0,5</sub>	70 <sub>-0,3</sub>	40 <sup>+0,2</sup>
13	165 <sub>-0,4</sub>	60 <sub>-0,4</sub>	35 <sup>+0,2</sup>
14	170 <sub>-0,4</sub>	35 <sub>-0,3</sub>	45 <sup>+0,2</sup>
15	155 <sub>-0,4</sub>	55 <sub>-0,3</sub>	40 <sup>+0,3</sup>
16	160 <sub>-0,3</sub>	40 <sub>-0,4</sub>	60 <sup>+0,4</sup>
17	140 <sub>-0,6</sub>	70 <sub>-0,4</sub>	50 <sup>+0,5</sup>
18	180 <sub>-0,5</sub>	80 <sub>-0,4</sub>	40 <sup>+0,3</sup>
19	200 <sub>-0,6</sub>	90 <sub>-0,5</sub>	60 <sup>+0,3</sup>
20	220 <sub>-0,7</sub>	100 <sub>-0,6</sub>	70 <sup>+0,3</sup>
21	180 <sub>-0,6</sub>	100 <sub>-0,6</sub>	70 <sup>+0,5</sup>
22	140 <sub>-0,3</sub>	60 <sub>-0,3</sub>	40 <sup>+0,4</sup>
23	160 <sub>-0,4</sub>	50 <sub>-0,4</sub>	20 <sup>+0,3</sup>
24	170 <sub>-0,3</sub>	35 <sub>-0,2</sub>	70 <sup>+0,4</sup>
25	130 <sub>-0,4</sub>	40 <sub>-0,3</sub>	60 <sup>+0,3</sup>

Під час токарного оброблення заготовку базують у центрах, причому передній центр – «плаваючий», що унеможливорює вплив глибини зацентрування на точність довгих розмірів. Крутний момент передається за рахунок рифленої опорної поверхні переднього центру.

На операції II отримують розмір  $B_{\Delta}$ , а на операції III – розмір  $G_{\Delta}$ , які є замикаючими ланками відповідних розмірних ланцюгів технологічної системи: верстат–приспосовування–інструмент–заготовка (деталь).

Для уточнення поняття «замикальна ланка» необхідно дати визначення «розмірний ланцюг». **Розмірний ланцюг** являє собою сукупність розмірів, що утворюють замкнутий контур і безпосередньо

використовуються під час розв'язання поставленого завдання. Під час проектування виробу призначають розміри деталей, що забезпечують їхнє функціонування, які утворюють *конструкторські розмірні ланцюги*.

Під час виготовлення деталей між елементами технологічної системи виникають розмірні зв'язки, які створюють *технологічні розмірні ланцюги*.

З метою забезпечення заданої точності виробів або деталей виконують розрахунок розмірних ланцюгів. Розміри, які є вихідними під час постановки задачі розрахунку й отримують останніми в результаті виконання складання або механічного оброблення, називаються *замикаючими ланками розмірних ланцюгів*.

Для забезпечення заданої точності деталей під час виготовлення необхідно для кожної операції розрахувати технологічні розміри, які називаються *операційними*. У разі автоматичного отримання розмірів, що досягається за допомогою попереднього налаштування обладнання, операційні розміри будуть замикальними ланками або технологічних, або конструкторських розмірних ланцюгів. Останні виникають у тому разі, якщо операційні та креслярські розміри деталі збігаються.

Наприклад, на операції I замикаючий розмір технологічної системи  $B_{\Delta}$  (розмірний ланцюг  $B$ ) дорівнює креслярському розміру  $L$ .

На операції II креслярський розмір  $C$ , що дорівнює  $A_{\Delta}$ , утворюється як різниця між  $A_2$  і  $A_1$ .

На операції III креслярський розмір  $M$  отримують у результаті віднімання від операційного розміру  $\Gamma_{\Delta}$  розміру  $H_1$ . На розмір  $M$  впливають точність виконання операційного розміру  $\Gamma_{\Delta}$  і точність розміру  $A_{\Delta}$  ( $H_1$ ) (операція II).

Налаштування для автоматичного отримання розмірів деталі здійснюється шляхом регламентації відстані між технологічними базами і положенням різального інструменту. Операційні розміри, на основі яких визначають налаштовувальні розміри, повинні забезпечувати «автоматичне» отримання всіх креслярських розмірів, незважаючи на те, що через проміжні операції та зміну баз – вони безпосередньо не беруть участі в процесі налаштування. Вони є вихідними ланками, за якими після перерахунку розмірів і допусків здійснюється налаштування обладнання.

В операції III розміром, що регламентує відстань між

технологічною базою і положенням різального інструменту, є розмір  $\Gamma_{\Delta}$  технологічного ланцюга  $\Gamma$ . Оскільки дана операція є останньою і остаточно формує конструкторські розміри, то в ній з'являється додатковий розмірний ланцюг  $H$ , який є сполучною ланкою між конструкторською та технологічною розмірними системами. У результаті креслярський розмір  $M = H_{\Delta}$  забезпечує розмірний ланцюг  $H$ :

$$\left. \begin{array}{l} H_{\Delta} = H_2 - H_1 \\ H_2 = \Gamma_{\Delta} \end{array} \right| \Rightarrow H_{\Delta} = \Gamma_{\Delta} - H_1. \quad (2.1)$$

Креслярський розмір  $C$  забезпечує розмірний ланцюг  $A$  (операція II).

$$\left. \begin{array}{l} C = A_{\Delta} \\ A_{\Delta} = A_2 - A_1 \\ A_1 = B_{\Delta} \end{array} \right| \Rightarrow A_{\Delta} = A_2 - B_{\Delta}. \quad (2.2)$$

Розмір  $L$  на операції I забезпечується безпосередньо, без використання проміжних розмірних ланцюгів, оскільки відсутні складові ланки. Таким чином, навіть для розв'язання вищенаведеного завдання необхідно налаштувати із заданою точністю технологічну систему *верстат–пристосування–інструмент–заготовка* (ВПЗ) на автоматичне отримання операційних розмірів, що призведе, зрештою, до виготовлення деталі за кресленням.

Іншою, не менш важливою, частиною результату налаштування технологічного обладнання є можливість отримання максимальної кількості придатних деталей до наступного підналагодження. Відомо, що під час обробки деталей методом автоматичного отримання розмірів у межах статистично значущої множини спостерігатиметься їхнє розсіювання, що зумовлене дією систематичних (тобто таких, що змінюються за певним законом) і випадкових чинників.

Основну причину появи систематичної похибки вважатимемо відомою – зношування інструменту. Для компенсації цього фактора можна змістити центр поля розсіювання настроювального розміру.

Точкові діаграми розподілу розмірів деталей за різних значень налаштовувальних розмірів наведені на рис. 2.2, з якого видно, що відхилення розміру деталі від номінальної величини залежить від систематично діючого фактора  $\Delta\omega_s$ , що змінюється за певним законом.

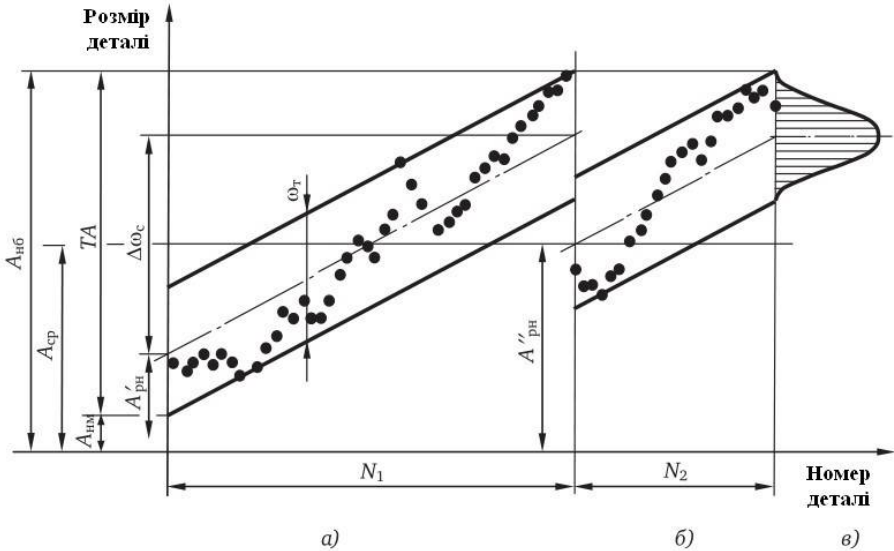


Рисунок 2.2 – Розсіювання фактичних розмірів деталей у процесі механічної обробки

Налаштування на розмір  $A'_{рн}$  дає змогу повністю використовувати поле допуску  $TA$  з урахуванням величини поля розсіювання  $\omega_t$  і, отже, обробити максимальну кількість деталей до появи неприпустимого зносу інструменту.

У разі дії невідомих систематичних похибок як настроювальний розмір слід використовувати його середнє значення  $A_{ср}$  (рис. 2, б, в):

$$A''_{рн} = A_{ср} = \frac{A_{нб} + A_{нм}}{2}, \quad (2.3)$$

де  $A_{нб}$  і  $A_{нм}$  – найбільший і найменший розміри деталей.

Таке рішення удвічі зменшує поле допуску, що використовується, збільшує кількість підналаштувань і знижує продуктивність обробки деталей.

Для підвищення точності налаштування й обробки деталей на настроювальні розміри у виробництві призначають технологічний допуск, величина якого становить 1/10 поля розрахункового допуску на операційний розмір і має симетричні відхилення. З метою



зміцнення теоретичних знань, після виконання першої частини роботи (розрахунку операційних розмірів) слід визначити настроювальні розміри, умовно вважаючи, що закон дії систематичних похибок невідомий.

## 2.2 Порядок проведення практичного заняття

1. Отримати від викладача індивідуальний варіант завдання (табл. 2.1).
2. Побудувати операційні ескізи обробки деталі з дотриманням пропорцій між елементами деталі та виявити розмірні взаємозв'язки для кожної схеми (рис. 2.1).
3. Виконати розрахунок технологічних розмірних ланцюгів із визначенням операційних розмірів  $B_{\Delta}$ ,  $B_{\Delta}$ ,  $\Gamma_{\Delta}$  і допустимих відхилень.
4. Здійснити перевірку правильності розрахунку операційних розмірів, тобто розв'язати зворотну задачу: знаючи операційні розміри, визначити креслярські і зробити відповідний висновок про правильність розрахунків.
5. Розрахувати настроювальні розміри для кожної з трьох операцій.
6. Відповісти на контрольні запитання.
7. Оформити звіт про виконану роботу.

## 2.3 Зміст звіту

Звіт має бути виконаний відповідно до вимог щодо оформлення навчальних робіт і містити:

- найменування роботи та її мету;
- операційні ескізи обробки деталі з розмірними взаємозв'язками;
- розрахунок технологічних розмірних ланцюгів;
- перевірку правильності розрахунку розмірних ланцюгів;
- розрахунок настроювальних розмірів для кожної з трьох операцій;
- висновки з роботи.

У процесі здачі звіту, студент повинен дати відповіді на поставлені викладачем запитання за результатами роботи і наведеними в розд. 2.1 теоретичними відомостями.

## 2.4 Контрольні запитання

1. Навіщо потрібно визначати операційні розміри?
2. Хто відповідає за виконання (розрахунк) креслярських розмірів?
3. Як розділити сферу відповідальності технолога і робітника–верстатника під час механічної обробки деталей?
4. Чому виникає необхідність зменшення поля допуску на креслярські розміри під час визначення настроювальних розмірів?
5. Назвіть правила вибору баз та їхній вплив на технологічні розмірні ланцюги?
6. Що називається налаштуванням технологічної системи?
7. Які основні завдання технологічного налаштування обладнання?
8. Як описати фізичний зміст схем налаштування і технологічних розмірних ланцюгів, що утворюються?
9. Як оцінити вплив способу проставлення розмірів деталі на формування розмірних взаємозв'язків у технологічній системі?
10. Які приклади випадкових і систематичних похибок процесу механічної обробки можна навести?

### Література

[1]-[5].

### ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 3. ВИЗНАЧЕННЯ ПОСЛІДОВНОСТІ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛІ

**Мета:** Набуття практичних знань з методики проектування технологічного процесу виготовлення деталі на основі вибору методів обробки по кожній поверхні деталі.

#### 3.1 Загальні відомості

**Виробничий процес** – процес перетворення сировини (предмета природи) на корисний для людини виріб. Під виробничим процесом розуміють сукупність усіх етапів, які проходить вихідний продукт на шляху перетворення на готову машину (одержання заготовок, механічна обробка, термічна обробка, хіміко–термічна обробка, контроль, транспортування, зберігання, складання тощо). Технологічний процес, що здійснюється на машинобудівному заводі, є частиною загального виробничого процесу.

**Технологічний процес** – частина виробничого процесу, що містить дії зі зміни стану предметів виробництва.

**Технологічна операція** (операція) – це закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці.

**Перехід** – закінчена частина операції, яку виконують одними й тими самими засобами технологічного оснащення за постійних режимів і встановлення заготовки.

Технологічні процеси за рівнем узагальнення **поділяють на два види:** одиничний і типовий.

**Одиничний технологічний процес** застосовний тільки для виготовлення одного конкретного виробу; процес для виготовлення або ремонту виробу (деталі) одного найменування, типорозміру і виконання. До переваг одиничного технологічного процесу належать: можливість врахування всіх особливостей цього виробу і конкретних виробничих умов, багатоваріантність прийнятих рішень. Основним недоліком одиничного технологічного процесу є великі витрати часу і праці.

**Типовий технологічний процес** застосовується для виготовлення групи схожих виробів. Типовий технологічний процес

характеризується єдністю змісту і послідовності більшості технологічних операцій для групи виробів (деталей) із загальними конструктивними ознаками. В основі типової технології лежить класифікація виробів на класи–підкласи–групи–підгрупи–типи. З групи конструктивно подібних виробів (деталей) обирають типового представника, який має найбільшу сукупність властивостей виробів (деталей).

У цій роботі будуть розглядатися основні правила, яких бажано дотримуватися під час розроблення технологічних процесів виготовлення деталей, причому основний акцент зроблено на правилах призначення набору методів оброблення поверхонь і послідовності їх виконання.

**Технологічний процес виготовлення деталі рекомендується розробляти в такій послідовності (можливі винятки).**

1. Вивчити за кресленням службове призначення деталі і проаналізувати його відповідність технічним вимогам і нормам точності.
2. Виявити число деталей, що підлягають виготовленню за одиницю часу за незмінним кресленням, намітити тип і форму організації виробничого процесу виготовлення деталей.
3. Вибрати напівфабрикат, з якого має бути виготовлена деталь.
4. Вибрати метод отримання заготовки, якщо не економічно або фізично неможливо виготовляти деталь безпосередньо з напівфабрикату.
5. Вибрати методи обробки поверхонь заготовки і встановити число переходів з обробки кожної поверхні, виходячи з вимог до якості деталі.
6. Установити послідовність обробки поверхонь заготовки.
7. Обґрунтувати вибір технологічних баз.
8. Сформулювати операції з методів обробки і вибрати обладнання для їх здійснення.
9. Підібрати необхідне технологічне оснащення для виконання кожної операції і розробити вимоги, яким повинен відповідати кожен вид оснащення (приспосовування для установки заготовки і різального інструменту, різальний інструмент, вимірювальний інструмент тощо).

10. Розрахувати припуски і встановити міжперехідні розміри і допуски на відхилення всіх показників точності деталі.
11. Оформити креслення заготовки.
12. Вибрати режими обробки, що забезпечують необхідну якість деталі і продуктивність.
13. Виконати нормування технологічного процесу виготовлення деталі.
14. Опрацювати інші варіанти технологічного процесу виготовлення деталі, розрахувати їхню собівартість і вибрати найбільш економічний варіант.
15. Оформити технологічну документацію.
16. Розробити технічні завдання на конструювання нестандартного обладнання, пристосувань, різального та вимірювального інструменту.

Детальніше зупинимося на виборі методів обробки поверхонь деталі та подальшого компонування з них технологічних операцій.

Виявлення необхідного набору методів обробки по кожній поверхні деталі належить до багатоваріантних завдань і передує етапу проектування маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі. ***На вибір методів обробки та необхідної кількості переходів впливають такі чинники:***

1. Вимоги до якості, яким має відповідати готова деталь.
2. Якість заготовки.
3. Кількість деталей, що підлягають виготовленню в одиницю часу за незмінним кресленням.
4. Техніко–економічні показники, що характеризують кожен метод обробки.

***Під час вибору методів обробки і формування технологічних операцій рекомендується в основному дотримуватися такої послідовності (рис. 3.1):***

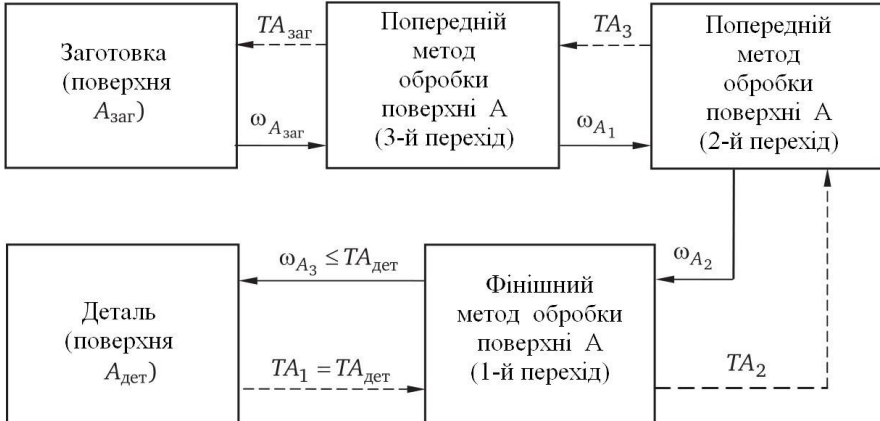
1. Аналіз службового призначення поверхонь деталі; виявлення основних і допоміжних базових поверхонь, вільних поверхонь.

2. Вивчення технічних вимог до поверхонь деталі: точність розміру, точність відносного розташування поверхонь, макрогеометрія, мікрогеометрія (шорсткість); необхідний стан поверхневого шару деталі, твердість та ін.

3. Вибір за таблицями економічної (статистичної) точності за кожною поверхнею методу обробки, який забезпечить необхідну

точність деталі за кресленням (остаточний метод обробки).

4. За заданих точностних характеристик заготовки та обраного фінішного методу обробки в напрямку від деталі до заготовки призначення за кожною поверхнею набору методів обробки, які під час реалізації дадуть змогу отримати із заготовки готову деталь.



$A$  - позначення поверхні;  $TA_{заг}$ ,  $TA_3$ ,  $TA_2$ ,  $TA_1$ ,  $TA_{дет}$  - допуски на розмір, що характеризує поверхню заготовки  $A_{заг}$  після виконання 3-го, 2-го, 1-го переходів, і допуск на поверхню  $A$  відповідно;  
 $\omega_{A_{заг}}$ ,  $\omega_{A_1}$ ,  $\omega_{A_2}$ ,  $\omega_{A_3}$  – поля розсіювання похибок розмірів заготовки після 1-ї, 2-ї, 3-ї технологічної операції відповідно;  
 —————► процес виготовлення; —————► процес проектування

Рисунок 3.1 – Схема визначення необхідного числа переходів (методів обробки) під час обробки поверхні  $A$  деталі

5. Виявлення однойменних методів обробки по різних поверхнях деталей.

6. Групування однойменних методів обробки з урахуванням стадій (етапів) обробки (чорновий, чистовий, остаточний, оздоблювальний).

7. Формування технологічних операцій з метою розроблення маршрутного та операційного технологічних процесів на основі п. 5 та 6.

Під час реалізації зазначеної вище послідовності проектування технологічних операцій можна використовувати поряд із таблицями

економічної точності коефіцієнти уточнення.

**Коефіцієнт уточнення** – відношення допуску на розмір заготовки  $T_{\text{заг}}$  до допуску на відповідний розмір готової деталі  $T_{\text{дет}}$  (відношення допуску вхідного значення до допуску вихідного параметра):

$$\xi = \frac{T_{\text{заг}}}{T_{\text{дет}}}. \quad (3.1)$$

Цей коефіцієнт у більшості випадків неможливо або не вигідно забезпечити на одній операції. Таким чином, виникає набір методів обробки, кожен з яких поступово перетворює заготовку на готову деталь. Кожен наступний метод обробки має вищу точність порівняно з попереднім, тобто допуск на обробку менший. Таким чином, кожна операція характеризується коефіцієнтом уточнення операції:

$$\xi_k = \frac{T_{k-1}}{T_k}, \quad (3.2)$$

де  $k$  – порядковий номер операції;

$T_{k-1}$  – допуск на розмір, отриманий на попередній операції;

$T_k$  – допуск на відповідний розмір, отриманий на даній операції.

Добуток уточнень за операціями дасть загальне уточнення, яке необхідно забезпечити:

$$\xi = \xi_1 \xi_2 \dots \xi_k \dots \xi_n, \quad (3.3)$$

де  $n$  – порядковий номер останньої операції обробки розглянутої поверхні.

Що більша різниця між допуском на заготовку і допуском на готову деталь, то більше методів обробки беруть участь у забезпеченні заданої точності деталі і тим довший технологічний процес.

Розглянемо призначення методів обробки для забезпечення необхідної точності поверхні  $A$  деталі. Нехай потрібно виготовити партію валиків, похибка зовнішніх діаметрів яких має перебувати в межах допуску  $TA_{\text{дет}} = 2$  мкм.

Наприклад, потрібно виготовити партію валиків, похибка зовнішніх діаметрів яких повинна перебувати в межах допуску

$TA_{\text{дет}} = 2$  мкм. Як заготовку прийнято калібрований пруток із допуском на діаметральний розмір  $TA_{\text{заг}} = 280$  мкм.

Встановлюємо загальний розрахунковий коефіцієнт уточнення  $\xi$ :

$$\xi = \frac{TA_{\text{заг}}}{TA_{\text{дет}}} = \frac{280}{2} = 140. \quad (3.4)$$

Технологічні системи, здатні забезпечити уточнення в 140 разів, відсутні, тому виникає потреба в декількох технологічних переходах для забезпечення необхідної точності обробки.

Як фінішний метод обробки вибираємо притирання, яке здатне забезпечити похибку обробки в межах 2 мкм. З урахуванням того що  $TA_1 = TA_{\text{дет}}$ , а допуск  $TA_2$  на операцію, що передує притиранню (попереднє притирання), становить 15 мкм, коефіцієнт уточнення цієї операції:

$$\xi_1 = \frac{TA_2}{TA_1} = \frac{TA_2}{TA_{\text{дет}}} = \frac{15}{2} = 7,5. \quad (3.5)$$

Для пошуку решти методів знаходимо їхнє сумарне уточнення:

$$\xi_{2,3} = \frac{\xi_0}{\xi_1} = \frac{140}{7,5} = 18,6. \quad (3.6)$$

Безцентрове шліфування за таблицями економічної точності методів обробки забезпечує точність діаметра в межах 100 мкм. Тоді

$$\xi_3 = \frac{280}{100} = 2,8. \quad (3.7)$$

Між притиранням і безцентровим шліфуванням необхідно запровадити ще один технологічний перехід – попереднє притирання з уточненням  $\xi_2$ :

$$\xi_2 = \frac{\xi_{2,3}}{\xi_3} = \frac{18,6}{2,8} = 6,8. \quad (3.8)$$

Це можливо за умови, якщо заготовки, що надходять на попереднє притирання, мають відхилення за діаметральним розміром не більше 100 мкм, що забезпечується попереднім безцентровим шліфуванням.

Таким чином, для досягнення заданої точності валиків



необхідно застосувати три методи обробки: безцентрове шліфування, попереднє притирання і остаточне притирання, які забезпечать необхідне уточнення:

$$\xi = \xi_3 \xi_2 \xi_1 = 2,8 \cdot 6,8 \cdot 7,5 = 142,8. \quad (3.9)$$

З наведеного прикладу видно зв'язок між технологічними переходами та обгрунтованість їхньої послідовності при досягненні точності діаметра поверхні  $A$  валика.

Аналогічним чином можна провести розрахунок коефіцієнтів уточнення за величиною шорсткості поверхні деталі. При цьому слід мати на увазі, що якщо коефіцієнт уточнення за шорсткістю поверхні більший, ніж коефіцієнт уточнення за точністю розміру, то набір необхідних методів обробки слід проводити за шорсткістю поверхні деталі.

Напрямок розрахунку і нумерація переходів при складанні плану обробки йде від готової деталі до заготовки.

Значення коефіцієнтів уточнення мають бути більшими за одиницю. Однак для термічної обробки, операцій нанесення гальванічних покриттів – значення коефіцієнтів уточнення менші за одиницю, оскільки ці види обробки знижують точність деталі.

Для того щоб поєднати виконання переходів і зменшити трудомісткість обробки, необхідно прагнути до того, щоб якомога більша кількість поверхонь оброблялася одним методом і на одному обладнанні.

Можливе незначне коригування розробленого технологічного процесу виготовлення деталі, спричинене: обраними технологічними базами; дотриманням принципу єдності баз (якщо це ефективно); принципами концентрації або диференціації переходів, необхідністю обробки з однієї установки; забезпеченням рівномірності розподілу припуску тощо.

Проте обгрунтований розрахунок або призначення набору методів обробки по кожній поверхні деталі з використанням таблиць економічної точності дасть змогу спроектувати технологічний процес виготовлення деталі з урахуванням економічної ефективності методів обробки. Економічна доцільність закладена у вигляді допусків відповідних методів обробки, забезпечення похибок у межах яких на відповідному металообробному обладнанні на підставі численних статистичних досліджень можна вважати ефективними з економічної

точки зору. Таким чином, технолог створює передумови для розроблення технологічного процесу виготовлення деталей з мінімальною собівартістю.

Необхідно зазначити, що проектування плану обробки поверхонь має спрямованість від деталі до заготовки. Під час виготовлення деталі процес зворотний – від заготовки до деталі.

Після того як за кожною поверхнею деталі буде визначено набір передбачуваних економічно доцільних методів обробки, розпочинають побудову технологічного процесу з урахуванням етапів (стадій) обробки і виду технологічного процесу виготовлення деталі.

**Чорновий етап** – зменшення і рівномірний розподіл припуску на подальшу обробку; видалення поверхневих дефектів із заготовки; порівняно невисока точність обробки; високопродуктивне обладнання.

**Чистовий етап** – забезпечення мінімальних припусків під остаточні операції; режими різання менш напружені, ніж під час чорнового етапу, обладнання більш точне.

**Остаточний етап** – отримання необхідної точності деталі і якості поверхневого шару; режими різання, технологічне обладнання та оснащення призначаються з урахуванням забезпечення вимог конструкторської документації.

**Обробний етап** – забезпечення необхідної якості поверхневого шару деталі, якщо її не було досягнуто на остаточному етапі через неможливість або економічну недоцільність; наприклад, такі методи обробки, як суперфініш, притирання, хонінгування тощо.

Слід зазначити, що види етапів обробки та їхнє спільне застосування не є суворо обов'язковими, і визначаються в кожному конкретному випадку технічними вимогами до показників якості деталі, що виготовляється, способу отримання заготовки, матеріалу деталі, програми випуску, типу виробництва. Під час проектування технологічних процесів використовують два взаємовиключні принципи: принцип концентрацій технологічних переходів і принцип диференціації переходів.

**Принцип концентрації технологічних переходів** – зосередження в одній операції виконання великої кількості технологічних переходів з обробки різних поверхонь деталі (одиничне і серійне виробництво).

**Принцип диференціації** – розукрупнення переходів аж до

відповідності однієї операції одному технологічному переходу (масове виробництво).

На побудову технологічного процесу виготовлення деталі, крім вищеназаних чинників, вплинуть:

- мета і місце проведення термічної, хіміко-термічної обробки;
- гальванічні та лакофарбові покриття, правила підготовки поверхонь до їх проведення;
- електрофізичні та електрохімічні методи обробки тощо.

Коротке перерахування основних чинників, що впливають на побудову операційного технологічного процесу виготовлення деталі, показує можливу багатоваріантність вирішення поставленого завдання. Причому обраний варіант повинен забезпечувати необхідну якість деталей за заданої продуктивності і найменшої собівартості.

### 3.2 Порядок проведення практичного заняття

Завданням даної практичної роботи є створення плану обробки поверхонь деталі (рис. 3.2) та вибір таких методів і засобів обробки її поверхонь, які дозволили б економічним шляхом перетворити заготовку на деталь і забезпечити при цьому необхідну якість за всіма показниками.

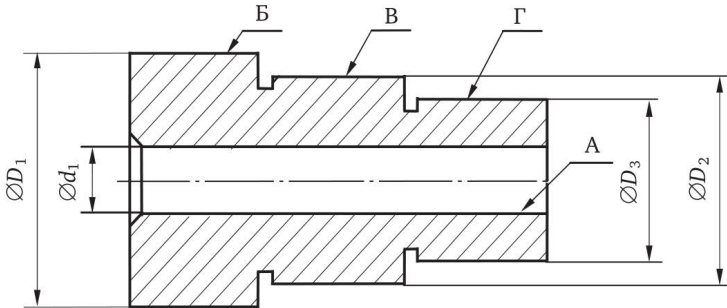


Рисунок 3.2 – Ескіз деталі

Тому спочатку треба ознайомитися з загальною теоретичною частиною практичного заняття. Далі отримати від викладача індивідуальний варіант завдання. Виконати завдання. Оформити звіт з практичного заняття у відповідності до поставленої мети заняття.

Виходячи зі службового призначення деталі (рис. 3.2) у виробі, до деталі висуваються наведені в табл. 3.1 вимоги щодо точності розмірів ( $\varnothing D_1$ ,  $\varnothing D_2$ ,  $\varnothing D_3$ ,  $\varnothing d_1$ ) і шорсткості поверхонь А, Б, В, Г.

Заготовкою для цієї деталі є відливка (рис. 3.3), точність відповідних розмірів і шорсткість поверхонь якої наведено в табл. 3.2.

З огляду на дані табл. 3.1÷3.2 і ґрунтуючись на коефіцієнтах уточнення, у напрямку від деталі до заготовки по поверхнях А, Б, В, Г, необхідно призначити набір методів обробки, які у своїй сукупності забезпечать задану якість обробленої поверхні.

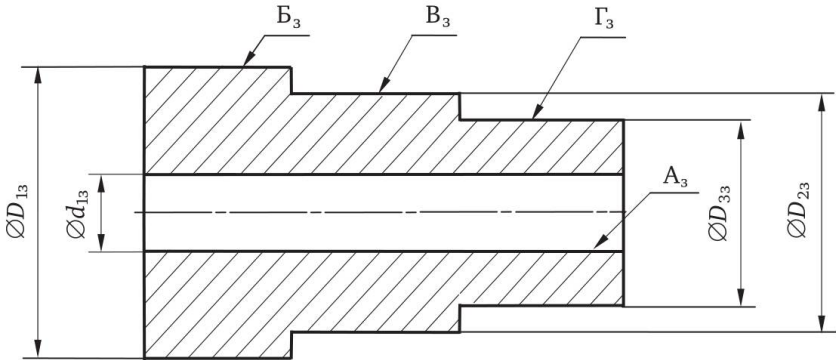


Рисунок 3.3 – Ескіз заготовки

Для вирішення поставленого завдання необхідно використовувати таблиці квалітетів точності (табл. 3.3), таблиці відповідності методів обробки поверхонь деталей машин вимогам за точностними показниками (таблиці економічної точності), включно з шорсткістю обробленої поверхні (табл. 3.4, 3.5). Нижче наведено приклад виконання роботи.

***Рекомендована послідовність дій для виконання роботи:***

1. Вивчити загальні відомості про види технологічних процесів.
2. Вивчити послідовність розроблення технологічного процесу виготовлення деталі.
3. Вивчити фізичну сутність поняття уточнення під час обробки різними методами.
4. За завданням викладача вибрати з табл. 3.1 і 3.2 варіант завдання відповідно до рис. 3.2 і рис. 3.3.
5. Зобразити ескізи заготовки та деталі.

Таблиця 3.1 – Вимоги щодо точності розмірів і параметра шорсткості  $Ra$  поверхонь деталі (рис. 3.2)

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

Таблиця 3.2 – Точність розмірів і параметр шорсткості  $Ra$  поверхонь заготовки (рис. 3.3)

Номер варіанта	Точність розмірів і шорсткість поверхонь заготовки							
	А <sub>3</sub>		Б <sub>3</sub>		В <sub>3</sub>		Г <sub>3</sub>	
	$\varnothing d_{13}$ , мм	$Ra_{A3}$ , мкм	$\varnothing D_{13}$ , мм	$Ra_{B3}$ , мкм	$\varnothing D_{23}$ , мм	$Ra_{B3}$ , мкм	$\varnothing D_{33}$ , мм	$Ra_{Г3}$ , мкм
1	42±0,31	25	80±0,37	12,5	67±0,37	12,5	48±0,31	12,5
2	30±0,115	12,5	68±0,23	12,5	74±0,23	12,5	52±0,23	12,5
3	24±0,42	40	60±0,6	25	66±0,6	25	52±0,6	25
4	34±0,5	40	66±0,6	25	54±0,6	25	46±0,5	25
5	29±0,42	25	52±0,37	12,5	72±0,37	12,5	64±0,37	12,5
6	22±0,115	12,5	44±0,31	12,5	66±0,37	12,5	46±0,31	12,5
7	22±0,42	25	41±0,5	25	58±0,6	25	48±0,5	25
8	28±0,26	25	50±0,31	25	50±0,31	25	38±0,31	25
9	28±0,115	12,5	66±0,23	12,5	62±0,23	12,5	56±0,23	12,5
10	41±0,125	12,5	72±0,15	12,5	86±0,175	12,5	62±0,15	12,5
11	44±0,5	40	90±0,7	25	62±0,6	25	60±0,6	25
12	30±0,26	25	83±0,435	25	74±0,37	25	42h±0,31	25
13	25±0,42	40	90±0,7	25	71±0,6	25	59±0,6	25
14	19±0,42	40	56±0,6	25	44±0,5	25	36±0,5	25
15	52±0,37	25	92±0,435	12,5	76±0,37	12,5	64±0,6	12,5
16	35±0,125	12,5	104±0,175	12,5	82±0,175	12,5	62±0,15	12,5
17	84±0,7	40	156±0,8	25	126±0,8	25	104±0,7	25
18	40±0,31	25	98±0,435	12,5	86±0,435	12,5	72±0,37	12,5
19	30±0,115	12,5	70±0,23	12,5	52±0,23	12,5	42±0,195	12,5
20	22±0,115	12,5	78±0,23	12,5	64±0,23	12,5	52±0,23	12,5
21	44±0,5	40	90±0,7	25	81±0,7	25	66±0,6	25
22	50±0,195	12,5	96±0,27	12,5	87±0,27	12,5	62±0,23	12,5
23	50±0,125	12,5	122±0,2	12,5	114±0,435	12,5	74±0,15	12,5
24	90±0,7	40	142±0,8	25	126±0,7	25	106±0,7	25
25	59±0,23	12,5	106±0,27	12,5	94±0,27	12,5	74±0,23	12,5
26	52±0,6	40	92±0,7	25	86±0,7	25	67±0,6	25
27	32±0,31	25	86±0,435	12,5	76±0,37	12,5	54±0,37	12,5
28	24±0,115	12,5	72±0,23	12,5	62±0,23	12,5	51±0,23	12,5
29	22±0,42	12,5	60±0,6	25	46±0,5	25	52±0,6	25
30	30±0,26	25	68±0,37	12,5	56±0,37	12,5	44±0,31	12,5

6. Знаючи квалітет точності та шорсткість поверхонь за кожною поверхнею, вибрати фінішний метод обробки.

7. Визначити набір методів обробки на кожній поверхні з використанням коефіцієнтів уточнення за точністю розмірів.

8. Оформити звіт по роботі.

Таблиця 3.3 – Таблиця допусків

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

Таблиця 3.4 – Точність і параметри поверхневого шару під час обробки зовнішніх циліндричних поверхонь циліндричних поверхонь

Метод обробки	Параметр шорсткості Ra, мкм	Глибина дефектного поверхневого шару, мкм	Квалітет допуску	Технологічні допуски, мкм, на розмір за номінальних діаметрів поверхні, мм				
				Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
Точніня: чорнове	50 ... 6,3	120...60	14	–	620	740	870	1000
			13	330	390	460	540	630
			12	210	250	300	350	400
напівчистове або одноразове	25 ... 1,6	50...20	13	330	390	460	540	630
			12	210	250	300	350	400
чистове	6,3...0,4	30...20	11	130	160	190	220	250
			10	84	100	120	140	160
			9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
тонке	1,6...0,2	10...5	9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
			7	21	25	30	35	40
			6	13	16	19	22	25

## Продовження табл. 3.4

Метод обробки	Параметр шорсткості Ra, мкм	Глибина дефектного поверхневого шару, мкм	Квалітет допуску	Технологічні допуски, мкм, на розмір за номінальних діаметрів поверхні, мм				
				Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
Шліфування: попереднє	6,3...0,4	20	9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
чистове	3,2 ...0,2	15...5	7	21	25	30	35	40
			6	13	16	19	22	25
тонке	1,6...0,1	5	6	13	16	19	22	25
			5	9	11	13	15	18
Притирання, супер-фінішування	0,8...0,1	5...3	5	9	11	13	15	18
			4	6	7	8	10	12

Таблиця 3.5 – Точність і параметри поверхневого шару під час обробки внутрішніх циліндричних поверхонь циліндричних поверхонь

Метод обробки	Параметр шорсткості Ra, мкм	Глибина дефектного поверхневого шару, мкм	Квалітет допуску	Технологічні допуски, мкм, на розмір за номінальних діаметрів поверхні, мм				
				Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
Свердління і розсвердлювання	25...0,8	70...15	13	330	390	460	–	–
			12	210	250	300	–	–
			11	130	160	190	–	–
			10	84	100	120	–	–
			9	52	62	74	–	–
Зенкерування:								
чорнове	25...6,3	50...20	13	330	390	460	540	–
			12	210	250	300	350	–
одноразове литого або прошого отвору	25...0,4	50...20	13	330	390	460	540	–
			12	210	250	300	350	–
			13	330	390	460	540	–



Продовження табл. 3.5

Метод обробки	Параметр шорсткості Ra, мкм	Глибина дефектного поверхневого шару, мкм	Квалітет допуску	Технологічні допуски, мкм, на розмір за номінальних діаметрів поверхні, мм				
				Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180
чистове після чорнового або свердління	25...0,4	50...20	12	210	250	300	350	–
			11	130	160	190	220	–
			10	84	100	120	140	–
			9	52	62	74	87	–
			8	33	39	46	57	–
<b>Розгортання:</b>								
нормальне:	12,5...0,8	25...15	11	130	160	190	220	250
			10	84	100	120	140	160
точне	6,3...0,4	15...5	9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
			7	21	25	30	35	40
тонке	3,2...0,1	10...5	6	13	16	19	22	25
			5	9	11	13	15	18
<b>Протягування:</b>								
чорнове литого або прошитого отвору	12,5...0,8	25...10	11	–	160	190	220	250
			10	–	100	120	140	160
чистове після чорнового або свердління	6,3...0,2	10...5	9	52	62	74	87	100
			8	33	39	46	57	63
			7	21	25	30	35	40
			6	13	16	19	22	25

### 3.3 Приклад виконання роботи

Нехай точність розмірів і шорсткість поверхонь деталі (рис. 3.2) і заготовки (рис. 3.3) відповідають даним табл. 3.6. Розглянемо призначення методів обробки поверхонь на підставі коефіцієнтів уточнення за точністю розмірів.

Таблиця 3.6 – Точність розмірів і шорсткість поверхонь деталі та заготовки

Поверхні деталі							
А		Б		В		Г	
$\varnothing d_1$ , мм	$Ra_A$ , мкм	$\varnothing D_1$ , мм	$Ra_B$ , мкм	$\varnothing D_2$ , мм	$Ra_B$ , мкм	$\varnothing D_3$ , мм	$Ra_G$ , мкм
46H7	0,32	82h9	2,5	92h9	3,2	70h11	3,2
Поверхні заготовки							
$A_3$		$B_3$		$B_3$		$\Gamma_3$	
$\varnothing d_{13}$ , мм	$Ra_{A_3}$ , мкм	$\varnothing D_{23}$ , мм	$Ra_{B_3}$ , мкм	$\varnothing D_{33}$ , мм	$Ra_{\Gamma_3}$ , мкм	$\varnothing D_{33}$ , мм	$Ra_{\Gamma_3}$ , мкм
40±0,195	12,5	96±0,27	12,5	74±0,37	12,5	74±0,37	12,5

1. Внутрішня циліндрична поверхня А ( $\varnothing 46H7$ , параметр шорсткості  $Ra\ 0,32$ ).

Згідно з табл. 3.6 розмір заготовки  $40 \pm 0,195$  мм. Отже, допуск на розмір заготовки:  $TA_3 = 0,195 \cdot 662 = 0,390$  мм = 390 мкм. За табл. 3.3 допуск на відповідний розмір готової деталі:  $TA_d = 25$  мкм.

Визначимо величину загального розрахункового уточнення:

$$\xi = \frac{TA_3}{TA_d} = \frac{390}{25} = 15,6. \quad (3.10)$$

Відповідно до вимог щодо поверхні А деталі (7-й квалітет точності, шорсткість  $Ra\ 0,32$ ) як фінішний метод обробки обираємо за табл. 3.5 розгортання точне (коефіцієнт уточнення  $\xi_1$ ), яке забезпечить допуск 25 мкм.

Наступний (у напрямку від деталі до заготовки) метод обробки вибираємо зенкерування чистове (коефіцієнт уточнення  $\xi_2$ ), що забезпечить шорсткість  $Ra\ 1,6$  і допуск 62 мкм, який відповідає 9-му квалітету точності (табл. 3.5). Таким чином, коефіцієнт уточнення фінішної операції становитиме:

$$\xi_1 = \frac{62}{25} = 2,48. \quad (3.11)$$

Наступний (у напрямку від деталі до заготовки) метод обробки обираємо розсвердлювання (коефіцієнт уточнення  $\xi_3$ ), яке забезпечить відповідно до табл. 3.5 параметр шорсткості  $Ra\ 6,3$  і допуск 250 мкм,

що відповідає 12-му квалітету точності.

Тоді:

$$\xi_2 = \frac{250}{62} = 4,03, \quad \xi_3 = \frac{390}{250} = 1,56. \quad (3.12)$$

Виконаємо перевірку. Знайдемо загальне уточнення, що отримується під час обробки зазначеними вище методами:

$$\xi' = \xi_1 \xi_2 \xi_3 = 2,48 \cdot 4,03 \cdot 1,56 = 15,6. \quad (3.13)$$

Таким чином,  $\xi' = \xi$ , отже, умова  $\xi' \geq \xi$  виконується, і набір методів для обробки поверхні А матиме такий вигляд (у напрямку від заготовки до деталі): розсвердлювання – зенкерування чистове – розгортання точне.

**2.** Зовнішня циліндрична поверхня Б ( $\emptyset 82h9$ , параметр шорсткості Ra 2,5).

Згідно з табл. 3.6, розмір заготовки  $96 \pm 0,27$  мм. Отже, допуск на цей розмір становитиме  $T_{B_3} = 0,54$  мм = 540 мкм. За табл. 3.3 допуск на відповідний розмір готової деталі:  $T_{B_d} = 87$  мкм.

$$\xi = \frac{T_{B_3}}{T_{B_d}} = \frac{540}{87} = 6,21. \quad (3.14)$$

Відповідно до вимог до поверхні Б деталі (9-й квалітет точності, шорсткість Ra 2,5) як фінішний метод обробки вибираємо за табл. 3.4 точіння чистове (коефіцієнт уточнення  $\xi_1$ ), що забезпечить допуск 87 мкм.

Наступний (у напрямку від деталі до заготовки) метод обробки вибираємо точіння чорнове (коефіцієнт уточнення  $\xi_2$ ), яке забезпечить шорсткість Ra 6,3 і допуск 350 мкм, що відповідає 12-му квалітету точності (табл. 3.4). Таким чином, коефіцієнт уточнення фінішної операції становитиме  $\xi_1 = 350/87 = 4,023$ , а чорнового точіння:  $\xi_2 = 540/350 = 1,543$ .

Перевірка:  $\xi' = \xi = 4,023 \cdot 1,543 = 6,21$ . Таким чином,  $\xi' = \xi$ , отже, умова  $\xi' \geq \xi$  виконується, і для обробки поверхні, що розглядається, приймаємо наступний набір методів обробки: точіння чорнове – точіння чистове.

**3.** Зовнішня циліндрична поверхня В ( $\emptyset 92h9$ , шорсткість Ra 3,2).

Згідно з табл. 3.6, розмір заготовки  $74 \pm 0,37$  мм. Отже, допуск на цей розмір становитиме  $T_{B_3} = 0,37 \cdot 0,74$  мм = 740 мкм. За табл. 3.3 допуск на відповідний розмір готової деталі  $T_{B_d} = 87$  мкм.

$$\xi = \frac{TB_3}{TB_d} = \frac{740}{87} = 8,51. \quad (3.15)$$

Відповідно до вимог до поверхні В деталі (9-й квалітет точності, параметр шорсткості  $Ra$  3,2) як фінішний метод обробки вибираємо за табл. 3.4 точіння чистове (коефіцієнт уточнення  $\xi_1$ ), що забезпечить допуск 87 мкм.

Як наступний (у напрямку від деталі до заготовки) метод обробки обираємо точіння чорнове (коефіцієнт уточнення  $\xi_2$ ) яке забезпечить параметр шорсткості  $Ra$  6,3 і допуск 350 мкм, що відповідає 12-му квалітету точності (табл. 3.4). Таким чином, коефіцієнт уточнення фінішної операції становитиме  $\xi_1 = 350/87 = 4,023$ , а чорнового точіння  $\xi_2 = 740/350 = 2,114$ .

Перевірка:  $\xi' = \xi = 4,023 \cdot 2,114 = 8,51$ . Таким чином,  $\xi' = \xi$ , отже умова  $\xi' \geq \xi$ , виконується, і для обробки поверхні В приймаємо такий набір методів обробки: точіння чорнове – точіння чистове.

4. Зовнішня циліндрична поверхня Г ( $\varnothing 70/h11$ , шорсткість  $Ra$  3,2). Згідно з табл. 3.6, розмір заготовки  $74 \pm 0,37$  мм. Отже, допуск на цей розмір становить  $TT_3 = 0,74$  мм = 740 мкм. За табл. 3.3 допуск на відповідний розмір готової деталі  $TT_d = 190$  мкм.

Тоді

$$\xi = \frac{TT_3}{TT_d} = \frac{740}{190} = 3,9. \quad (3.16)$$

Відповідно до вимог до поверхні Г деталі (11-й квалітет точності, шорсткість  $Ra$  3,2) як фінішний метод обробки вибираємо за табл. 3.4 точіння чистове (коефіцієнт уточнення  $\xi_1$ ), що забезпечить допуск 190 мкм.

Наступний (у напрямку від деталі до заготовки) метод обробки вибираємо точіння чорнове (коефіцієнт уточнення  $\xi_2$ ), що забезпечить шорсткість  $Ra$  6,3 і допуск 460 мкм, який відповідає 13-му квалітету точності (табл. 3.4). Таким чином, коефіцієнт уточнення фінішної операції становитиме  $\xi_1 = 460/190 = 2,88$ , а чорнового точіння  $\xi_2 = 740/460 = 1,6$ .

Перевірка:  $\xi' = \xi = 2,88 \cdot 1,61 = 4,64$ . Таким чином,  $\xi' > \xi$ , отже умова  $\xi' \geq \xi$ , виконується, і для обробки поверхні Г приймаємо такий набір методів обробки: точіння чорнове; точіння чистове.

### 3.4 Зміст звіту

Звіт має бути виконаний відповідно до вимог щодо оформлення навчальних робіт і містити:

- найменування і мету роботи;
- ескізи заготовки і деталі із зазначенням розмірів і шорсткостей поверхонь відповідно до номера варіанта;
- необхідні розрахунки і пояснення щодо вибору наборів методів обробки поверхонь;
- набір методів обробки по кожній поверхні деталі;
- висновки щодо роботи.

У процесі здавання звіту студент повинен дати відповіді на поставлені викладачем запитання за результатами роботи і наведеними в розд. 3.1 теоретичними відомостями.

### 3.5 Контрольні запитання

1. У чому відмінність технологічного процесу від виробничого?
2. Що розуміють під технологічною операцією?
3. Які відомі види технологічних процесів з точки зору рівня узагальнення?
4. Чим обумовлена послідовність розроблення технологічного процесу виготовлення деталей?
5. Як визначається число методів обробки поверхонь деталі?
6. Що розуміють під коефіцієнтом уточнення і для чого він необхідний?
7. Назви та призначення етапів обробки деталей різанням?
8. Для чого використовуються таблиці точності обробки?

### Література

[1]–[5].

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

**Мета:** Вивчення етапів дослідження точності технологічних операцій із застосуванням методів математичної статистики (на прикладі точності розміру).

### 4.1 Загальні відомості

Під **якістю** розуміють сукупність властивостей продукції, що зумовлюють її придатність задовольняти певні потреби людини відповідно до її службового призначення. Розрізняють такі **три види значення будь-якого показника якості**.

**1. Розрахункове (теоретичне, номінальне) значення**, що визначається в результаті розрахунку. Такі показники існують у вигляді граничних розмірів (допусків) у конструкторській документації.

**2. Дійсне, тобто об'єктивно існуюче значення**, визначається за допомогою засобів вимірювання з певною похибкою.

**3. Виміряне – це дійсне значення**, отримане з якимось відхиленням, спричиненим похибкою методу і засобу вимірювання, і прийняте за дійсне.

Імовірнісні явища, що супроводжують процес виготовлення машини та її деталей, викликають відхилення показників якості виробів від своїх розрахункових (номінальних) значень. Ба більше, відхилення, що виникли, можуть бути визначені також з якимись помилками, що призводить до спотвореного уявлення результату, досягнутого насправді. Таким чином, між розрахунковими, дійсними і вимірними значеннями показників якості є відмінності. Оцінка якості виробів може бути здійснена за допомогою визначення відхилень дійсних значень показників якості від розрахункових.

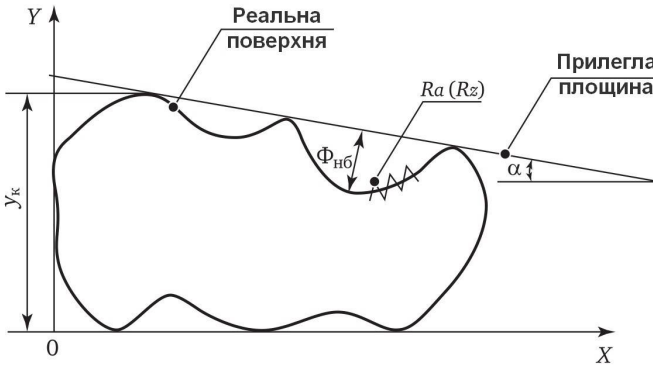
**Якість деталі** визначають, з одного боку, за відповідністю властивостей матеріалу, з якого вона виготовлена, властивостям, визначеним її службовим призначенням, і з іншого – за відповідністю геометричного образу деталі своєму ідеальному прототипу.

Склад показників якості матеріалу деталі охоплює хімічні та фізико–механічні властивості як самого матеріалу, так і його поверхневих шарів. До таких властивостей належать хімічний склад, структурний стан, тепло– і електропровідність, міцність, пружність, твердість, розподіл і знак залишкових напружень тощо.

Уявлення про геометричний образ деталі дають форма і розміри поверхонь, відстані між ними та їхнє відносне кутове положення. У зв'язку з цим розрізняють чотири види показників, що відображають якість деталі з геометричного боку:

- 1) точність розмірів;
- 2) точність відносного положення поверхонь;
- 3) точність форми поверхонь (макрогеометрія);
- 4) шорсткість поверхонь (мікрогеометрія).

За чотирма перерахованими вище показниками геометричної точності оцінюють реальну поверхню (рис. 4.1).



$y_k$  – розмір (відстань) за віссю  $Y$ ;  $\alpha$  – кут відносного положення площини (кут повороту);  $\Phi_{nb}$  – найбільше відхилення форми реальної поверхні від прилеглої площини;  
 $Ra (Rz)$  – параметр шорсткості поверхні

Рисунок 4.1 – Геометрична точність реальної поверхні

Під **точністю показника** розуміють ступінь наближення дійсного значення показника до його розрахункового значення. Під точністю оцінки або вимірювання показника розуміють ступінь наближення виміряного значення показника до його дійсного

значення.

**Похибка** визначається як різниця між розрахунковою величиною показника якості та реальною (вимірною) величиною. Похибка повинна перебувати в межах поля допуску, інакше виникає поняття браку виправного або невиправного.

**Похибки поділяють на такі види:**

**1. Випадкові**, які виникають під час виготовлення конкретної деталі внаслідок великої кількості чинників, що діють на технологічну систему. Наприклад, коливання припуску і твердості як у межах однієї оброблюваної заготовки, так і в межах партії заготовок; неоднорідність матеріалу; випадкові коливання температури тощо. Випадкові відхилення точності виробів найчастіше підкоряються закону нормального розподілу.

**2. Систематичні** похибки, на відміну від випадкових, не мають імовірнісного характеру, їх значно легше виявити і врахувати, а отже, усунути або зменшити. Систематичні похибки поділяються на такі:

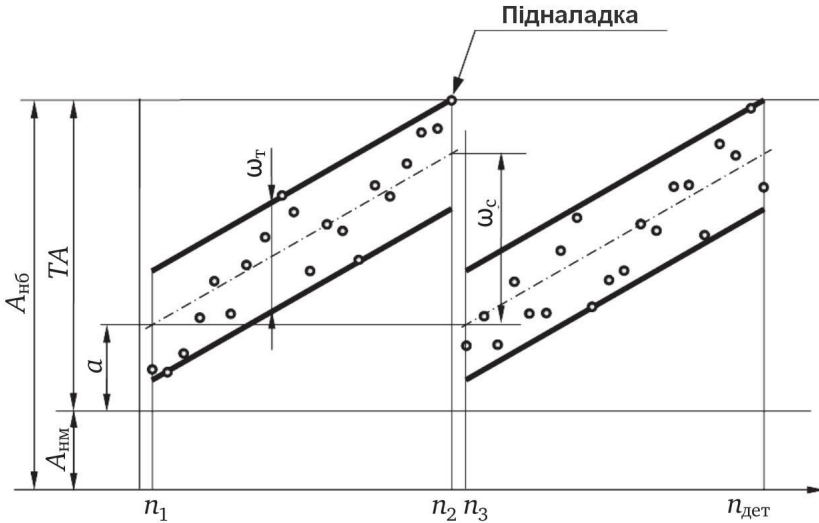
- **постійні** – залишаються незмінними протягом обробки (похибка базування, похибка засобів вимірювання тощо);
- **закономірно змінювані** – такі, що змінюються в процесі обробки за певним законом (розмірний знос інструменту тощо).

Під час обробки деталей або виробів партіями на заздалегідь налаштованому обладнанні вимірювання кожної деталі, тим паче за багатьма параметрами, не є можливим. Для аналізу точності в цьому випадку використовують апарат математичної статистики, який може бути застосований, якщо дослідник має справу з масовим явищем, де спостерігається розсіювання параметрів, спричинене дією великої кількості різноманітних чинників випадкового та систематичного характеру. Найбільш наочним способом аналізу перебігу технологічного процесу є використання точкових діаграм (рис. 4.2).

По осі абсцис точкової діаграми відкладають номери деталей у порядку їх виготовлення, а по осі ординат – значення показника якості (наприклад, діаметр).

Особливістю методу є те, що в процесі дослідження відзначають відхилення від правильного перебігу технологічного процесу і вживають заходів для їх усунення. Метод точкових діаграм є науково обґрунтованим способом вибіркового контролю, його застосовують для організації статистичного контролю технологічних процесів.





$o$  – фактичне відхилення в межах допуску на розмір  $A$ ;  
 $TA$  – допуск на розмір  $A$ ;  $A_{нб}$  і  $A_{нм}$  – гранично припустимі значення розміру  $A$ ;  $n_1, n_2, n_3, n_4$  – номери оброблених деталей;  $a$  – похибки, спричинені дією постійних чинників (постійні систематичні похибки);  $\omega_r$  – поле розсіювання під дією випадкових чинників (випадкові похибки);  $\omega_c$  – поле розсіювання під дією систематичних чинників, що змінюються за визначеним законом

Рисунок 4.2 – Точкова діаграма

Різницю між найбільшим  $A_{\max}$  і найменшим  $A_{\min}$  значеннями показника якості виробу, отриманого в результаті обробки, називають **полем розсіювання**:

$$\omega_A = A_{\max} - A_{\min}. \quad (4.1)$$

Поле розсіювання можна розбити на інтервали і визначити кількість розмірів  $m$ , що потрапляють у кожен з інтервалів (частоту появи розміру) або відношення кількості розмірів, що потрапляють у кожен інтервал, до загальної кількості вимірювань  $N$  (частість появи розміру).

Відклавши по осі абсцис інтервали, а по осі ординат – частоти або частоти появи розмірів, будують **частотну діаграму**. Якщо вона

виконана у вигляді стовпчастої діаграми, то її називають *гістограмою*, якщо у вигляді ламаної лінії – *полігоном розподілу* (рис. 4.3).

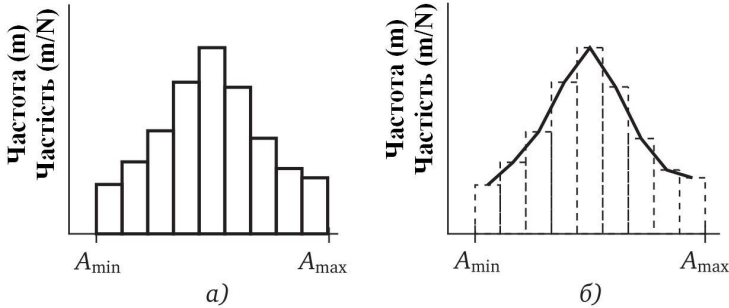


Рисунок 4.3 – Гістограма (а) і полігон (б) розподілу розмірів

Отримані результати статистичних досліджень порівнюють з одним із відомих теоретичних законів розподілу. У техніці велике практичне значення мають такі **закони**: нормального розподілу (закон Гауса), рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона), ексцентриситету (закон Релея), рівної ймовірності, а також функції розподілу, що являють собою композицію цих законів.

У технології машинобудування розміри найчастіше розподіляються за нормальним законом (законом Гауса). Він описується **кривою нормального розподілу** і спостерігається в тих випадках, коли досліджувана випадкова величина є результатом дії великої кількості чинників, що слабко впливають один на одного, до того ж усі чинники за інтенсивністю свого впливу однакові й мізерно малі порівняно з їхньою сумарною дією.

Універсальною мірою розсіювання виміряного параметра є середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}}, \quad (4.2)$$

де  $N$  – кількість здійснених вимірів;  $x_i$  – значення поточного виміру;  $\bar{x}$  – середнє арифметичне значення здійснених вимірів.

У разі збільшення середнього квадратичного відхилення поле розсіювання збільшується, що свідчить про більше розсіювання розмірів і меншу точність.

## 4.2 Порядок проведення практичного заняття

На попередньо налаштованому верстаті проведено обробку зовнішніх діаметрів партії з 43 заготовок в автоматичному режимі (рис. 4.4).

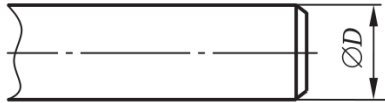


Рисунок 4.4 – Ескіз обробленої поверхні

Діаметри оброблених поверхонь були виміряні (табл. 4.1). Необхідно оцінити точність технологічної операції і дати рекомендації щодо найповнішого використання поля допуску.

1. На підставі результатів вимірювань (табл. 4.1) будують точкову діаграму. По осі абсцис відкладають номери деталей у порядку їх виготовлення, а по осі ординат – відповідне значення діаметра  $D$ .

На точкову діаграму наносять лінії, що відповідають найбільшому і найменшому граничним значенням розміру, вказують величину допуску, показують поле розсіювання.

2. За формулою (4.1) визначають поле розсіювання вимірюного параметра і проводять його розбивку на інтервали. Для цього виконують такі дії.

2.1. Визначають кількість інтервалів:

$$n = \sqrt{N}, \quad (4.3)$$

де  $N$  – загальне число вимірювань (у цьому прикладі  $N = 43$ ).

2.2. Визначають ширину (ціну) інтервалу:

$$h = \frac{\omega_A}{n}. \quad (4.4)$$

Ширина інтервалу повинна мати стільки ж знаків після коми, скільки й виміряні розміри.

Таблиця 4.1 – Варіанти завдань

Номер деталі	1	2	3	4	5	6	7	8
	D, мм							
	∅14,0 <sub>0,4</sub>	∅20,0 <sub>0,4</sub>	∅25,0 <sub>0,2</sub>	∅8,0 <sub>0,2</sub>	∅15,0 <sub>0,3</sub>	∅60,0 <sub>0,4</sub>	∅42,0 <sub>0,5</sub>	∅50,0 <sub>0,5</sub>
1	13,63	19,77	24,85	7,81	14,76	59,72	41,60	49,58
2	13,64	19,79	24,84	7,80	14,75	59,73	41,62	49,59
3	13,65	19,84	24,85	7,82	14,76	59,75	41,60	49,58
4	13,66	19,85	24,85	7,81	14,77	59,76	41,61	49,59
5	13,67	19,87	24,86	7,83	14,75	59,77	41,63	49,60
6	13,68	19,88	24,87	7,84	14,77	59,75	41,64	49,61
7	13,69	19,90	24,88	7,84	14,76	59,76	41,63	49,62
8	13,70	19,91	24,89	7,83	14,77	59,74	41,65	49,63
9	13,71	19,90	24,88	7,85	14,79	59,76	41,66	49,61
10	13,72	19,89	24,89	7,86	14,78	59,77	41,67	49,64
11	13,73	19,91	24,90	7,88	14,79	59,75	41,67	49,66
12	13,74	19,92	24,92	7,86	14,78	59,77	41,68	49,65
13	13,75	19,94	24,92	7,88	14,79	59,78	41,69	49,68
14	13,76	19,93	24,93	7,89	14,78	59,77	41,79	49,70
15	13,77	19,94	24,91	7,76	14,80	59,76	41,70	49,72
16	13,78	19,96	24,91	7,88	14,81	59,78	41,71	49,73
17	13,79	19,97	24,89	7,89	14,80	59,80	41,73	49,74
18	13,80	19,95	24,92	7,86	14,79	59,81	41,70	49,71
19	13,81	19,96	24,91	7,85	14,81	59,82	41,71	49,79
20	13,82	19,98	24,94	7,88	14,80	59,80	41,72	49,75
21	13,83	19,95	24,92	7,90	14,82	59,82	41,70	49,76
22	13,84	19,97	24,93	7,89	14,81	59,84	41,75	49,77
23	13,85	19,98	24,96	7,91	14,84	59,84	41,73	49,78
24	13,86	20,00	24,97	7,90	14,83	59,83	41,76	49,80
25	13,87	20,05	24,95	7,89	14,85	59,85	41,77	49,81
26	13,88	19,97	24,94	7,91	14,84	59,84	41,78	49,82
27	13,89	19,94	24,96	7,92	14,87	59,83	41,76	49,80
28	13,90	19,99	24,97	7,94	14,86	59,82	41,77	49,83
29	13,91	19,94	24,96	7,92	14,88	59,85	41,74	49,82
30	13,92	19,98	24,95	7,93	14,89	59,86	41,79	49,84
31	13,63	20,04	24,93	7,95	14,90	59,85	41,78	49,85
32	13,65	20,06	24,97	7,96	14,91	59,83	41,79	49,85
33	13,67	20,05	24,98	7,94	14,89	59,86	41,88	49,67
34	13,69	20,01	24,96	7,93	14,90	59,87	41,80	49,86
35	13,71	20,02	24,95	7,96	14,91	59,90	41,81	49,88
36	13,73	20,03	24,96	7,95	14,92	59,89	41,82	49,89
37	13,75	20,02	24,99	7,94	14,89	59,92	41,80	49,87
38	13,77	20,04	24,96	7,97	14,91	59,93	41,82	49,88
39	13,79	20,05	24,98	7,96	14,90	59,90	41,84	49,90
40	13,81	20,07	24,99	7,96	14,92	59,91	41,83	49,92
41	13,72	20,08	24,96	7,97	14,93	59,90	41,82	49,93
42	13,74	20,09	25,00	7,98	14,92	59,93	41,86	49,90
43	13,76	20,07	25,02	7,96	14,93	59,94	41,85	49,91

Продовження табл. 4.1

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

Продовження табл. 4.1

Номер деталі	17	18	19	20	21	22	23	24
	D, мм							
	∅34,0 <sub>-0,3</sub>	∅65,8 <sub>-0,2</sub>	∅84,0 <sub>-0,6</sub>	∅28,0 <sub>-0,2</sub>	∅23,0 <sub>-0,4</sub>	∅32,8 <sub>-1,0</sub>	∅10,0 <sub>-0,2</sub>	∅43,5 <sub>-0,3</sub>
1	33,82	65,72	83,54	27,81	22,62	31,83	9,90	43,42
2	33,80	65,71	83,48	27,80	22,63	31,82	9,90	43,42
3	33,81	65,72	83,51	27,83	22,61	31,84	9,89	43,43
4	33,84	65,71	83,45	27,82	22,63	31,86	9,90	43,42
5	33,84	65,73	83,46	27,84	22,64	31,85	9,90	43,41
6	33,86	65,71	83,42	27,85	22,66	31,86	9,90	43,43
7	33,85	65,72	83,45	27,84	22,64	31,85	9,90	43,42
8	33,85	65,73	83,58	27,84	22,65	31,84	9,91	43,41
9	33,88	65,72	83,57	27,83	22,67	31,86	9,91	43,42
10	33,86	65,72	83,57	27,85	22,68	31,88	9,92	43,44
11	33,87	65,72	83,45	27,86	22,65	31,85	9,92	43,42
12	33,90	65,73	83,44	27,84	22,69	31,86	9,92	43,44
13	33,88	65,73	83,47	27,87	22,71	31,87	9,92	43,41
14	33,89	65,72	83,55	27,88	22,78	31,89	9,92	43,42
15	33,92	65,74	83,75	27,88	22,74	31,90	9,92	43,42
16	33,91	65,71	83,72	27,90	22,72	31,87	9,94	43,46
17	33,92	65,70	83,60	27,91	22,75	31,88	9,95	43,45
18	33,93	65,71	83,73	27,89	22,77	31,89	9,93	43,45
19	33,96	65,73	83,60	27,90	22,76	31,87	9,95	43,46
20	33,95	65,73	83,71	27,91	22,79	31,88	9,93	43,46
21	33,97	65,71	83,78	27,90	22,81	31,90	9,93	43,44
22	33,96	65,73	83,67	27,92	22,82	31,92	9,94	43,45
23	33,97	65,73	83,63	27,89	22,83	31,89	9,95	43,44
24	33,99	65,73	83,75	27,90	22,73	31,93	9,96	43,45
25	34,00	65,71	83,68	27,89	22,84	31,94	9,96	43,44
26	33,99	65,71	83,70	27,90	22,84	31,91	9,95	43,44
27	34,00	65,73	83,65	27,92	22,87	31,93	9,96	43,44
28	33,99	65,72	83,83	27,88	22,80	31,94	9,97	43,45
29	34,01	65,73	83,86	27,90	22,86	31,95	9,97	43,46
30	33,98	65,73	83,88	27,91	22,88	31,96	9,96	43,45
31	33,82	65,73	83,80	27,89	22,85	31,97	9,98	43,47
32	33,80	65,74	83,84	27,92	22,89	31,98	9,98	43,46
33	33,81	65,73	83,88	27,94	22,88	31,97	9,96	43,47
34	33,81	65,73	83,84	27,91	22,87	31,96	9,97	43,47
35	33,83	65,74	83,89	27,90	22,89	31,98	9,96	43,47
36	33,84	65,72	83,84	27,92	22,90	31,97	9,97	43,47
37	33,86	65,72	83,88	27,93	22,91	31,99	9,99	43,47
38	33,86	65,74	83,95	27,94	22,92	31,98	9,98	43,47
39	33,85	65,74	83,98	27,90	22,93	31,99	9,98	43,47
40	33,85	65,74	83,99	27,94	22,91	31,97	9,97	43,51
41	33,87	65,72	83,95	27,96	22,90	31,99	9,97	43,49
42	33,87	65,73	83,91	27,98	22,94	31,97	9,98	43,52
43	33,88	65,73	83,90	27,97	22,95	32,00	9,99	43,49

Продовження табл. 4.1

Номер деталі	25	26	27	28	29	30	31	32
	D, мм							
	Ø32,0 <sub>-0,45</sub>	Ø18,0 <sub>-0,2</sub>	Ø62,0 <sub>-0,3</sub>	Ø10,0 <sub>-0,1</sub>	Ø90,0 <sub>-1,0</sub>	Ø27 <sub>-0,35</sub>	Ø83 <sub>-0,8</sub>	Ø66 <sub>-0,7</sub>
1	31,48	17,81	61,86	9,91	89,05	26,80	82,26	65,37
2	31,43	17,82	61,86	9,90	89,05	26,81	82,25	65,35
3	31,60	17,83	61,85	9,90	89,04	26,76	82,27	65,34
4	31,45	17,83	61,87	9,90	89,07	26,79	82,26	65,33
5	31,60	17,83	61,87	9,90	89,09	26,80	82,26	65,37
6	31,60	17,84	61,86	9,92	89,08	26,81	82,27	65,34
7	31,59	17,83	61,88	9,91	89,05	26,80	82,24	65,42
8	31,59	17,86	61,88	9,91	89,04	26,77	82,22	65,42
9	31,63	17,85	61,88	9,91	89,06	26,80	82,23	65,44
10	31,64	17,85	61,88	9,93	89,05	26,78	82,23	65,42
11	31,64	17,85	61,86	9,92	89,09	26,78	82,24	65,44
12	31,62	17,83	61,87	9,92	89,11	26,79	82,30	65,42
13	31,64	17,85	61,89	9,92	89,10	26,80	82,33	65,42
14	31,64	17,85	61,91	9,92	89,14	26,79	82,29	65,41
15	31,62	17,87	61,90	9,92	89,10	26,81	82,33	65,45
16	31,63	17,86	61,90	9,95	89,10	26,83	82,31	65,42
17	31,62	17,87	61,90	9,93	89,13	26,81	82,30	65,46
18	31,64	17,88	61,91	9,94	89,21	26,82	82,34	65,45
19	31,62	17,87	61,94	9,95	89,19	26,83	82,31	65,42
20	31,64	17,87	61,93	9,94	89,16	26,83	82,35	65,46
21	31,64	17,87	61,94	9,93	89,24	26,81	82,33	65,42
22	31,65	17,88	61,92	9,94	89,32	26,85	82,33	65,44
23	31,64	17,90	61,93	9,93	89,35	26,82	82,30	65,47
24	31,64	17,89	61,96	9,95	89,32	26,84	82,34	65,47
25	31,65	17,89	61,95	9,93	89,34	26,86	82,41	65,47
26	31,66	17,88	61,94	9,96	89,29	26,84	82,40	65,49
27	31,65	17,90	61,97	9,95	89,24	26,85	82,36	65,49
28	31,67	17,90	61,96	9,96	89,39	26,83	82,35	65,48
29	31,66	17,89	61,87	9,96	89,51	26,89	82,42	65,49
30	31,67	17,91	61,86	9,96	89,48	26,89	82,36	65,48
31	31,66	17,92	61,86	9,97	89,47	26,91	82,37	65,36
32	31,66	17,92	61,85	9,98	89,45	26,90	82,40	65,33
33	31,67	17,91	61,87	9,98	89,40	26,90	82,39	65,36
34	31,68	17,92	61,86	9,99	89,36	26,91	82,36	65,36
35	31,67	17,92	61,86	9,98	89,46	26,91	82,43	65,36
36	31,67	17,93	61,86	9,98	89,56	26,88	82,42	65,37
37	31,66	17,93	61,85	9,98	89,62	26,88	82,37	65,36
38	31,69	17,94	61,86	9,97	89,64	26,90	82,39	65,36
39	31,68	17,95	61,88	9,97	89,64	26,89	82,44	65,45
40	31,69	17,94	61,87	9,98	89,62	26,88	82,45	65,45
41	31,70	17,98	61,89	9,98	89,68	26,88	82,47	65,42
42	31,73	17,95	61,89	9,98	89,74	26,89	82,50	65,43
43	31,73	17,96	61,89	9,98	89,74	26,89	82,51	65,45

### 2.3. Визначають межі інтервалів і заносять їх у графу 2 табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати розрахунків

Номер інтервалу	Межі інтервалу $A_{\min}; A_{\max}$ мм	Середина інтервалу $\bar{X}_i$ , мм	Частота $m_i$	Частість $\frac{m_i}{N}$	Накопичені частоти $\sum m_i$	Накопичені частості $\sum \frac{m_i}{N}$
1	20,1; 20,15	20,125	3	0,06	3	0,06
2	20,15; 20,20	20,175	5	0,10	8	0,16
3	20,20; 20,25	20,225	6	0,12	14	0,28
4	20,25; 20,30	20,275	13	0,26	27	0,54
5	20,30; 20,35	20,325	10	0,20	37	0,74
6	20,35; 20,40	20,375	7	0,14	44	0,88
7	20,40; 20,45	20,425	6	0,12	<b>50</b>	<b>1,00</b>

Межі інтервалів установлюють таким чином:

1-й інтервал:  $A_{\min} \leq A < A_{\min} + h$ ,

2-й інтервал:  $A_{\min} + h \leq A < A_{\min} + 2h$  тощо,

$n$ -й інтервал:  $A_{\min} + h(n-1) \leq A \leq A_{\max}$ .

3. Розраховують середини інтервалів:

$$\bar{X}_i = \frac{A_{\min_i} + A_{\max_i}}{2}, \quad (4.5)$$

де  $A_{\min_i}$  та  $A_{\max_i}$  – межі  $i$ -го інтервалу.

Отримані значення записують у графу 3 табл. 4.2.

4. Визначають частоту появи розміру (кількість деталей, розміри яких потрапили до цього інтервалу) і частість (відношення частоти до числа всіх вимірювань). Отримані значення заносять відповідно до граф 4 і 5 табл. 4.2.

5. Розраховують накопичені частоти і частості. Вони визначаються методом послідовного підсумовування і записуються наростаючим підсумком відповідно до граф 6 і 7 табл. 4.2. Сума частот має дорівнювати загальному числу вимірювань (43), а сума частостей – одиниці.

6. Будують гістограму практичного розподілу. Для цього по осі абсцис відкладають інтервали розміру, а по осі ординат – частоти (частості) появи розміру (рис. 4.3, а).



7. Будують полігон (емпіричну криву) практичного розподілу. Для цього по осі абсцис відкладають середини інтервалів, а по осі ординат – частоти (частоті) (рис. 4.3, б).

8. Проводять розрахунок статистичних характеристик.

8.1. Визначають середнє арифметичне значення розміру:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{X}_i}{N}. \quad (4.6)$$

8.2. Визначають величину середнього квадратичного відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n m_i (\bar{X}_i - \bar{A})^2}{N}}. \quad (4.7)$$

9. Визначають коефіцієнт зміщення кривої практичного розподілу розмірів відносно кривої нормального розподілу на поле допуску:

$$E = \frac{\bar{A} - A_{T0}}{TA}, \quad (4.8)$$

де  $A_{T0}$  – координата середини поля допуску.

Цей коефіцієнт вказує на величину похибки в налаштуванні від дії систематичних чинників.

10. Роблять висновки:

а) про достатність точності процесу виготовлення заготовок (за значеннями  $\sigma$ ,  $TA$ ,  $\omega_A$ );

б) про вплив систематичних похибок на розподіл розмірів заготовок (за значенням  $E$ );

в) про повноту використання поля допуску.

У разі потреби дають рекомендації для найбільш повного використання поля допуску.

### 4.3 Приклад виконання роботи

Припустимо, що була проведена обробка зовнішніх діаметрів

партії з 50 заготовок на токарному верстаті, попередньо налаштованому на розмір  $\text{Ø}62_{-0,5}$ . Результати вимірювань оброблених поверхонь 50 деталей наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати вимірювань

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

Необхідно оцінити точність технологічної операції.

1. Будуємо точкову діаграму (рис. 4.5), на яку наносимо лінії, що відповідають найбільшому  $D_{\text{нб}} = 62$  мм і найменшому  $D_{\text{нм}} = 61,5$  мм граничним значенням розміру  $\text{Ø}62_{-0,5}$ . Вказуємо величину допуску  $TD = 0,5$  мм, показуємо поле розсіювання  $\omega_D$ , величину похибки, викликані дією постійних чинників  $a$ , поле розсіювання під дією випадкових чинників  $\omega_T$ , поле розсіювання під дією систематичних чинників, що змінюються за певним законом  $\omega_C$ .

2. Визначаємо поле розсіювання за формулою (4.1):

$$\omega_D = D_{\text{max}} - D_{\text{min}} = 61,94 - 61,66 = 0,28 \text{ мм.} \quad (4.9)$$

Відповідно до формули (4.3) робимо розбивку поля розсіювання на  $n = \sqrt{50} \approx 7$  інтервалів.

2.1. Визначаємо ширину (ціну) інтервалу за формулою (4.4):

$$h = \frac{\omega_D}{n} = \frac{0,28}{7} = 0,04 \text{ мм.} \quad (4.10)$$

Визначаємо межі інтервалів і заносимо їх у графу 2 табл. 4.4.

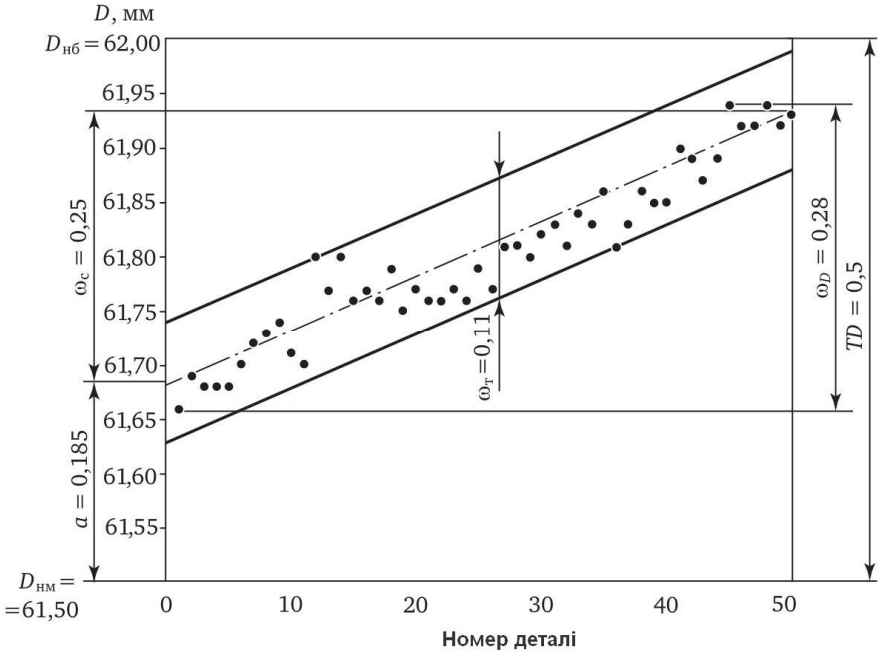


Рисунок 4.5 – Точкова діаграма

Таблиця 4.4 – Результати розрахунків

№ інтервалу	Межі інтервалу $D_{\min}; D_{\max}$ мм	Середина інтервалу $\bar{X}_i$ , мм	Частота $m_i$	Частість $m_i/N$	Накопичені частоти $\Sigma m_i$	Накопичені частоти $\Sigma m_i/N$
1	61,66; 61,70	61,680	5	0,10	0,10	5
2	61,70; 61,74	61,720	5	0,10	0,20	10
3	61,74; 61,78	61,760	12	0,24	0,44	22
3	61,78; 61,82	61,800	9	0,18	0,62	31
5	61,82; 61,86	61,840	7	0,14	0,76	38
6	61,86; 61,90	61,880	5	0,10	0,86	43
7	61,90; 61,94	61,920	7	0,14	1,00	50

3. За формулою (4.5) розраховуємо середини інтервалів і заносимо їх у графу 3 табл. 4.4.

4. Визначаємо частоти і частоти появи розмірів. Записуємо їх у відповідні графи табл. 4.4.

5. Розраховуємо накопичені частоти і частоті. Фіксуємо їх у графах 6 і 7 табл. 4.4.

6. Будуємо гістограму практичного розподілу (рис. 4.6).

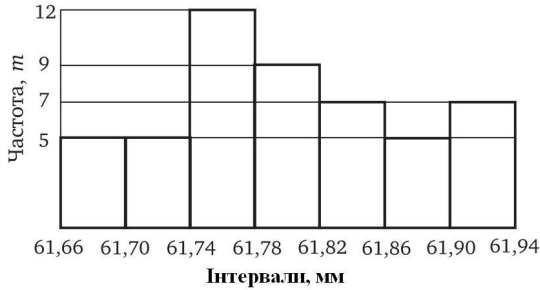


Рисунок 4.6 – Гістограма практичного розподілу

7. Будуємо полігон практичного розподілу (рис. 4.7).

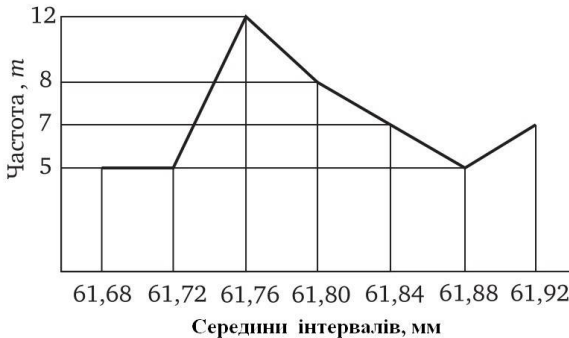


Рисунок 4.7 – Полігон практичного розподілу розмірів

8. Розраховуємо статистичні характеристики процесу.

8.1. За формулою (4.6) визначаємо середнє арифметичне значення розміру:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \bar{X}_i}{N} = \frac{5 \cdot 61,68 + 5 \cdot 61,72 + 12 \cdot 61,76 + 9 \cdot 61,80}{50} +$$

$$+ \frac{7 \cdot 61,84 + 5 \cdot 61,88 + 7 \cdot 61,92}{50} \approx 61,80 \text{ мм.} \quad (4.11)$$

**8.2.** Визначаємо величину середнього квадратичного (стандартного) відхилення розмірів за формулою (4.7):

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n m_i (\bar{X}_i - \bar{D})^2}{N}} = \\ &= \left( \frac{5(61,68 - 61,80)^2 + 5(61,72 - 61,80)^2 +}{50} + \right. \\ &+ \frac{12(61,76 - 61,80)^2 + 9(61,80 - 61,80)^2 + 7(61,84 - 61,80)^2 +}{50} \\ &\left. + \frac{5(61,88 - 61,80)^2 + 7(61,92 - 61,80)^2}{50} \right)^{0,5} = 0,073. \end{aligned} \quad (4.12)$$

**9.** Визначаємо коефіцієнт зміщення кривої практичного розподілу розмірів за формулою (4.8):

$$E = \frac{\bar{D} - D_{T0}}{TA} = \frac{61,80 - 61,75}{0,5} = 0,1. \quad (4.13)$$

#### 4.4 Зміст звіту

Звіт має бути виконаний відповідно до вимог щодо оформлення:

- найменування роботи та її мета;
- вихідні дані (номер варіанта, ескіз деталі з вимірюваним розміром і допуском на нього, число вимірюваних деталей);
- усі необхідні розрахункові формули, таблиці та графіки;
- висновки щодо роботи.

У процесі здавання звіту студент повинен дати відповіді на поставлені викладачем запитання за результатами роботи і наведеними в розд. 4.1 теоретичними відомостями.

#### 4.5 Контрольні запитання

1. Які існують види показників якості?

2. Що розуміють під похибкою та в чому причини її виникнення?
3. Наведіть приклади випадкових і систематичних похибок. У чому принципова відмінність між ними?
4. У чому призначення точкової діаграми?
5. Що характеризує кут нахилу середньої лінії точкової діаграми?
6. У чому відмінність поля допуску від поля розсіювання?
7. Що характеризує середнє квадратичне відхилення розмірів?
8. Як зміниться форма полігона розподілу в разі збільшення числа вимірювань і збільшення числа інтервалів?
9. Що показує коефіцієнт зміщення кривої практичного розподілу розмірів відносно кривої нормального розподілу?

### **Література**

[1]–[5].

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Основна

1. Копей В., Одосій З., Онисько О. Технологія машинобудування : навчальний посібник. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2021. 217 с.
2. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування : навч. посіб. Львів : Магнолія, 2018. 500 с.
3. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2013. 125 с.
4. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
5. Основи технології машинобудування. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навч. посіб. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, С. І. Сухоруков. Вінниця : ВНТУ, 2021. 90 с.

### Додаткова

6. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 1 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2017. 106 с.
7. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум. Вінниця : ВНТУ, 2015. 116 с.
8. Горбатюк Є. О. Технологія машинобудування : навч. посіб. Львів : «Новий світ - 2000». 2009. 358 с.
9. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т. Технологічні основи машинобудування : навч. посіб. Івано-Франківськ : Факел, 2002. 182 с.
10. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М. Основи творення машин. Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. 448 с.
11. Короп І. В., Петренко В. П. Інтелектуальна власність : навч. посіб. / за заг. ред. В. П. Петренка. Івано-Франківськ : Факел, 2008. 208 с.
12. Корець М. Машинознавство. Київ : Знання України, 2001. 448 с.
13. Флора В. Д. Принципи технічної творчості : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНТУ, 2005. 398 с.
14. Карпаш О. М., Шейнбаум В. С., Карпаш М. О. Інженерна діяльність в умовах сталого розвитку : навч. посіб. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2014. 285 с.
15. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин : підручник. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.

16. ДСТУ ГОСТ 2.601:2006 Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 39 с.
17. Попович В. В. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство : підручник Львів : Світ, 2006. 624 с.
18. Технологія конструкційних матеріалів: підручник. 2-ге вид., перероб. і допов. / за ред. М. А.Сологуба. Київ : Вища шк., 2002. 374 с.
19. Аверченко В. І. Збірник задач і вправ з технології машинобудування : навч. посіб. Житомир : ЖІТІ, 2001. 314 с.
20. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин : лабораторний практикум / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2006. 119 с.
21. Дерібо О. В. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2013. 123 с.
22. Руденко П. О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні. Київ : Вища школа, 1993. 414 с.
23. Вибір, проектування і виробництво заготовок деталей машин / Руденко П. О., Харламов Ю. О., Шустик О. Г. Київ : ІСДО, 1993. 304 с.
24. Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко та ін. Вінниця : ВНТУ, 2006. 119 с.
25. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ. / В. А. Кирилович, П. П. Мельничук, В. А. Яновський ; під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.
26. Розмірно-точнісний аналіз конструкцій та технологій / В. Д. Рудь, О. О. Герасимчук, Т. П. Маркова. Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2008. 344 с.
27. Сторож Б. Д., Мазур М. П., Карпик Р. Т., Каразей В. Д. Технологічні основи машинобудування : навч. посібник. Хмельницький : ГУП, 2003. 153 с.
28. The CNC Handbook : Digital Manufacturing and Automation from CNC to Industry 4.0 / Hans Bernhard Kief, Helmut A. Roschiwal, Karsten Schwarz. Industrial Press, Inc., 2021. 2156 p.
29. Rakesh Kumar Phanden, Ravinder Kumar, Pulak Mohan Pandey, Ayon Chakraborty. Advances in Industrial and Production Engineering : Lecture Notes in Mechanical Engineering (ISBN 978-981-99-1328-2). Singapore : Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2023. 418 p.