



Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Факультет технічних систем і енергоефективних  
технологій

**6036 Методичні вказівки**  
до виконання лабораторних робіт  
із дисципліни  
**«Теоретичні основи технології виробництва деталей  
та складання машин»**  
для здобувачів спеціальності 131 *«Прикладна механіка»*  
(ОПП «Технології машинобудування»)  
усіх форм здобуття вищої освіти

Суми  
Сумський державний університет  
2024

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин» / укладачі: А. О. Нешта, А. В. Євтухов. – Суми: Сумський державний університет, 2024. – 68 с.

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів факультету ТеСЕТ

## ЗМІСТ

1. Базування заготовок під час механічного оброблення .....	4
2. Визначення похибки закріплення заготовки в машинних лещатах і токарному патроні .....	21
3. Дослідження впливу часу роботи та перерв на температурну деформацію різця .....	30
4. Дослідження впливу пружних деформацій технологічної системи на точність поверхонь заготовок, оброблюваних точінням.....	35
5. Статистичне дослідження точності оброблення заготовок на попередньо налагодженому верстаті .....	48
ДОДАТОК А .....	58
ДОДАТОК Б.....	65
ДОДАТОК В .....	66
ДОДАТОК Г.....	67

# 1. БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК ПІД ЧАС МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ

Мета роботи – закріпити основні положення теорії та практики базування заготовок, набути навичок дослідження формування зв'язків при встановленні заготовок у верстатних пристроях.

## 1.1. Вказівки з вивчення основних понять і визначень за ДСТУ 2232-93

Під час виготовлення машини виникають завдання з'єднання з необхідною точністю двох або більшої кількості предметів праці: під час установа заготовок у пристроях, ріжучих інструментів у шпинделях або різцетримачах, деталей під час вимірювання та складання.

Відповідно до правил теоретичної механіки потрібне положення чи рух твердого тіла відносно вибраної системи координат може бути досягнуте накладенням геометричних чи кінематичних зв'язків. Тіло в тривимірному просторі має 6 ступенів вільності: 3 поступальних уздовж осей X, Y, Z і три обертальні навколо цих осей (рис. 1.1).

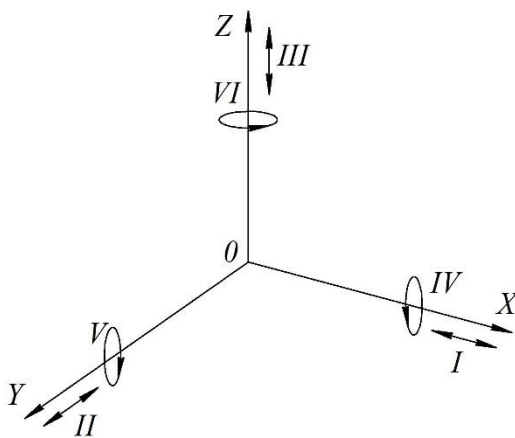


Рисунок 1.1 – Ступені вільності

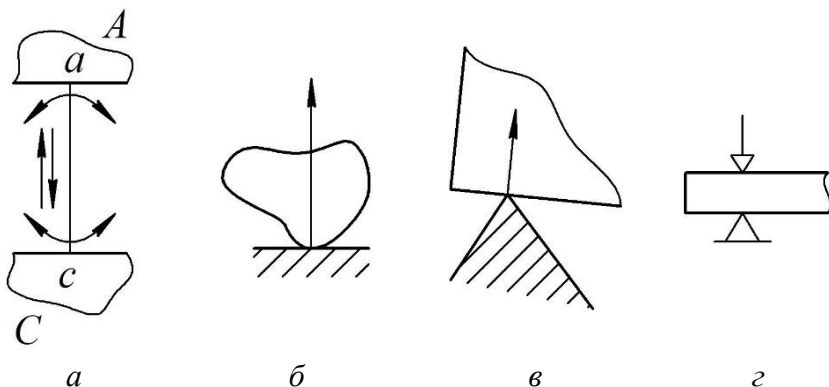


Рисунок 1.2 – Зв'язки

Зв'язок символізує неможливість переміщення точки «а» тіла А (рис. 1.2 а) щодо точки «с» тіла С уздовж зв'язку, але допускає можливість повертання зв'язку навколо точок «а» та «с». На рисунку 1.2 б, 1.2 в, 1.2 г зображені типи зв'язків, що часто трапляються: б – гладка опорна поверхня; в – опорна точка; г – нерухома опора з одиничним затискачем, що забезпечує силове замикання.

Якість виготовлення деталі зокрема залежить від правильності встановлення заготовки на верстаті. Процедура встановлення складається з двох етапів: базування, тобто орієнтації заготовки щодо верстата, інструменту або траєкторії його переміщення й закріплення, тобто докладання сил і пар сил до заготовки для забезпечення сталості її положення, досягнутого під час базування.

На операційних ескізах технолог повинен за допомогою умовних позначень (додатки А та Б) зобразити схему базування та закріплення заготовки, тобто схему розміщення опорних точок, затискачів на базах заготовки. Уміння вибрати схему базування потребує певних навичок, вироблених практикою.

Вибір схеми базування потрібно починати з уточнення мети операції, запровадження оброблюваних поверхонь, аналізу придатності поверхонь заготовки для базування.

Основні вимоги до базової поверхні:

- великі розміри;
- геометрично правильна форма;
- гладка поверхня;
- безпосередній розмірний зв'язок з оброблюваною поверхнею, близьке розміщення до оброблюваної поверхні;
- неприпустимість деформації поверхні заготовки.

Рекомендують вибрати комплект баз, тобто сукупність трьох баз, що утворюють систему координат заготовки або виробу. Можуть бути випадки, коли під час базування не потрібно забезпечувати повний комплект баз: наприклад, плоска заготовка на магнітній плиті плоскошліфувального верстата має одну установчу базу, а під час вмикання магніту (закріплення) заготовка позбавляється всіх шести ступенів вільності (умовно).

З вибраних баз більша за розмірами або точніше оброблена отримує більшу кількість опорних точок (зв'язків).

Бази заготовки потрібно зв'язати із системою координат заготовки й цю систему базувати (орієнтувати) в системі верстата або верстатного пристрою (додаток А «Комплект баз»).

Для конкретизації ступенів вільності, що позбавляються, можна користуватися двома видами таблиць: таблицею відповідності (табл. 1.1) та таблицею-матрицею зв'язків (табл. 1.2).

Таблиця 1.1 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1, 2, 3	III, IV, V	Установлювальна

Таблиця 1.2 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
<i>l</i>	0	0	1	Установлювальна
<i>α</i>	1	1	0	

У таблиці відповідності три зв'язки 1, 2, 3 лівого стовпця відповідно усувають можливості одного переміщення вздовж осі Z (III) і двох повертань навколо осей X (IV) та Y (V), тобто три ступені вільності центрального стовпця. Три центральні стовпці матриці відповідають трьом осям координат. Рядок *l* відображає можливість поступального переміщення вздовж осей, рядок *α* – можливість повертання навколо осей. Наявність у матриці одиниць означає, що зв'язок має місце, наявність нуля чи порожньої клітинки – зв'язок відсутній. У таблиці 1.2 є зв'язок переміщення вздовж осі Z і зв'язки обертання навколо осей X та Y, що, за визначенням, відповідає встановлювальній базі. Під час формування повної схеми базування можна поєднувати частинні таблиці, а позначення стовпців і рядків не вказувати.

Аналіз показує, що шість опорних точок або шість зв'язків заготовки з пристроєм усувають шість ступенів вільності. Під час заповнення таблиці 1.3 звертають увагу, щоб ступені вільності не повторювалися. У таблиці 1.4 в кожному стовпці повинно бути не більше двох одиниць, причому одна – у рядку переміщень *l*, інша – у рядку повертань *α*. У таблицях 1.3 і 1.4 зазначені вимоги додержані. Отже, для визначення положення заготовки, що розглядається як абсолютно жорстке тіло, щодо пристрою або технологічної системи необхідно й достатньо забезпечити шість опорних точок. Цей висновок одержав назву «правила шести точок».

Таблиця 1.3 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1, 2, 3	III, IV, V	Установлювальна
4, 5	II, VI	Напрямна
6	I	Опорна

Таблиця 1.4 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
$l$	0	0	1	Установлювальна
$\alpha$	1	1	0	
$l$	0	1	0	Напрямна
$\alpha$	0	0	1	
$l$	1	0	0	Опорна
$\alpha$	0	0	0	

*Установлювальна база* – плоска поверхня значної площі (див. табл. 1.3 та 1.4).

*Напрямна база* – плоска поверхня значної довжини (див. табл. 1.3 та 1.4).

*Опорна база* – плоска чи циліндрична поверхня малих розмірів (див. табл. 1.3 та 1.4).

*Подвійна напрямна база* – циліндрична поверхня, довжина якої значно перевищує діаметр («довгий циліндр») (див. табл. 1.5 та 1.6).

Таблиця 1.5 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	Подвійна напрямна



Таблиця 1.6 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
$l$	0	1	1	Подвійна напрямна
$\alpha$	0	1	1	

*Подвійна опорна база* – циліндрична поверхня, довжина якої значно менша за діаметр («короткий циліндр») (див. табл. 1.7 та 1.8).

Таблиця 1.7 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1, 2	I, II	Подвійна опорна

Таблиця 1.8 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
$l$	1	1	0	Подвійна опорна
$\alpha$	0	0	0	

Окрім п'яти названих видів баз (див. табл. 1.3–1.8) за кількістю ступенів вільності, яких позбавляється виріб, у технологічній практиці розглядають такі два види:

– *опорно-подвійна напрямна база* – це база, що позбавляє виріб п'яти ступенів вільності, тобто переміщень уздовж трьох координатних осей та повертань навколо двох із них (див. рис. 1.3 а). Зазвичай це базування за довгою кінчною поверхнею з малим кутом конусності (наприклад за конусом Морзе, табл. 1.9 та 1.10).

– *опорно-центрувальна база* – це база, що позбавляє виріб трьох ступенів вільності, тобто переміщень уздовж трьох координатних осей (рис. 1.3 б). Зазвичай це базування за

короткою конічною поверхнею з великим кутом конусності (наприклад за центровим отвором, табл. 1.11 та 1.12).

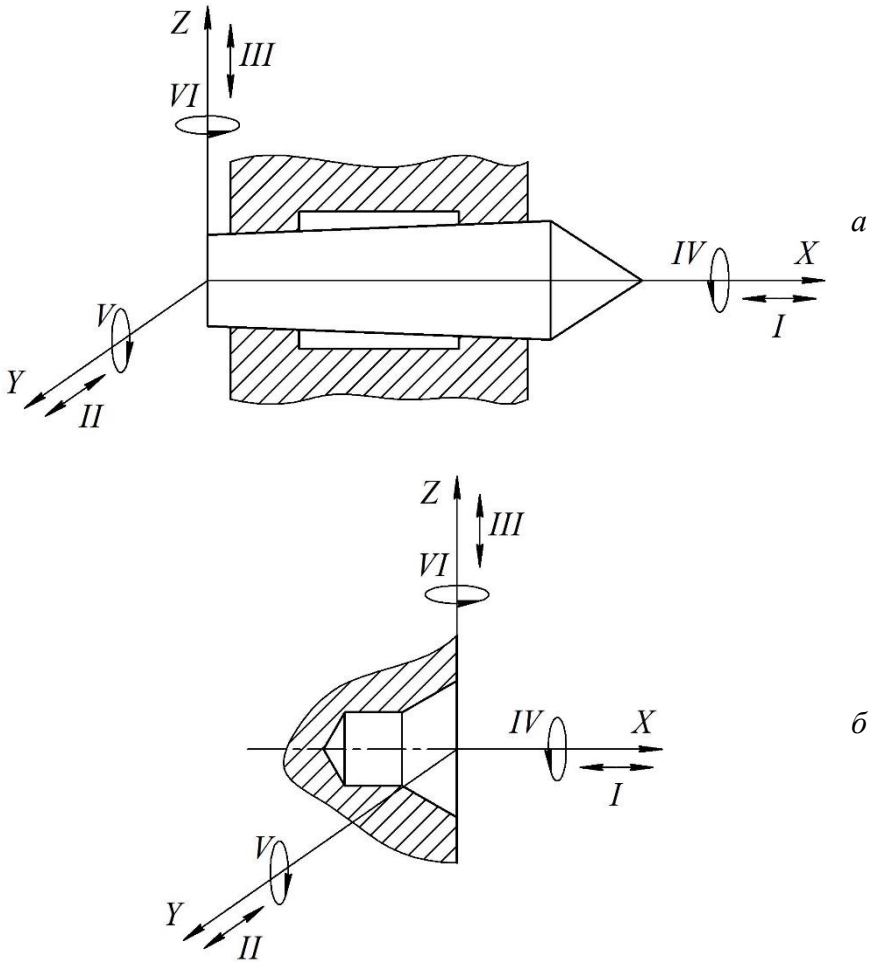


Рисунок 1.3 – Опорно-подвійна напрямна (а) та опорно-центрувальна (б) бази

Таблиця 1.9 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1, 2, 3, 4, 5	I, II, III, V, VI	Опорно-подвійна напрямна

Таблиця 1.10 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
$l$	1	1	1	Опорно-подвійна напрямна
$\alpha$	0	1	1	

Таблиця 1.11 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1, 2, 3	I, II, III	Опорно-центрувальна

Таблиця 1.12 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
$l$	1	1	1	Опорно-центрувальна
$\alpha$	0	0	0	

## 1.2. Приклади вибору схеми базування й закріплення

*Приклад 1.1.* На рисунку 1.4 представлений ескіз вала на фрезерно-центрувальній операції. Головна база вала (якою завжди є його центральна вісь) є прихованою та реалізується через зовнішні або внутрішні поверхні. Зауважимо, що кожна поверхня обертання має свою вісь. Часто приховану базу реалізують за допомогою самоцентрувальних лещат або патронів (додаток А).

Торці 1, 2 й центрові отвори формують (обробляють) на цій операції, поверхні 3, 4, 5, 6, 7 можуть виконувати роль баз. Поверхня 7 є короткою, та розміщена далеко від оброблюваної, тому як база на цій операції не розглядається. Залишаються поверхні 3, 4 і 5. Поверхні 3 і 4 є поєднанням співвісних поверхонь і можуть виконувати функцію подвійної напрямної бази: позбавити заготовку двох переміщень і двох обертань. Торець 5 може виконувати функцію опорної бази.

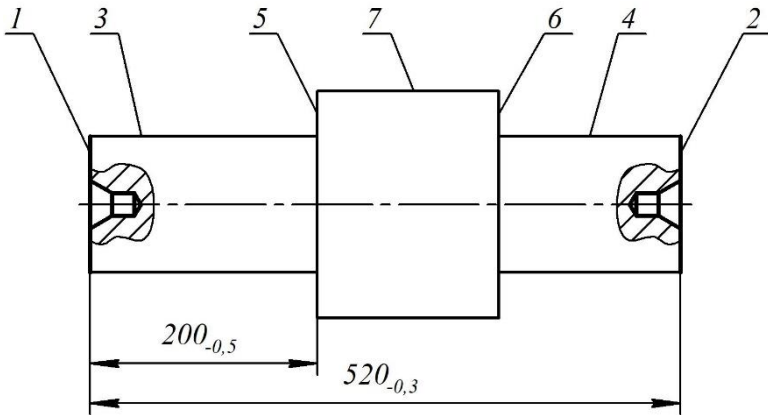


Рисунок 1.4 – Вибір базових поверхонь  
(операція фрезерно-центрувальна)

Прив'яжемо до заготовки систему координат (рис. 1.5), нанесемо умовні позначення технологічних баз (опорних точок) і заповнимо таблиці відповідності (табл. 1.13) і матриці зв'язків (табл. 1.14).

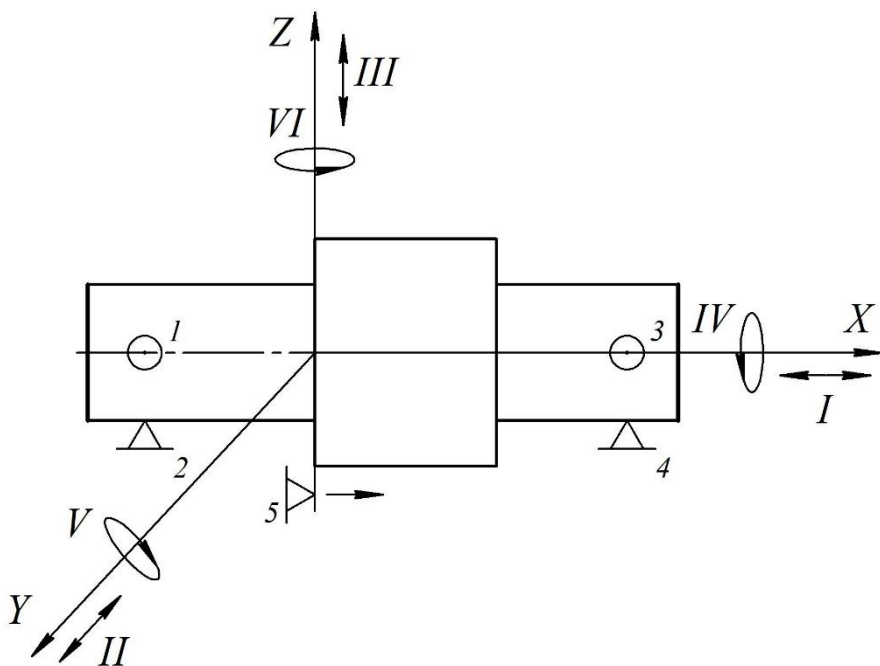


Рисунок 1.5 – Власна система координат заготовки  
(операція фрезерно-центрувальна)

Таблиця 1.13 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1, 2, 3, 4	II, III, V, VI	Подвійна напрямна
5	I	Опорна
–	IV	Вакансія

У таблиці 1.13 вакантним (без зв'язку) залишився IV ступінь вільності. У таблиці 1.14 в стовпці X в рядку  $\alpha$  відсутня одна одиниця. Це означає, що кутова орієнтація заготовки навколо осі X позбавлена сенсу (заготовка симетрична, немає лисок, пазів, радіальних отворів та інших елементів кутової асиметрії).

Таблиця 1.14 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
<i>l</i>	0	1	1	Подвійна напрямна
<i>α</i>	0	1	1	
<i>l</i>	1	0	0	Опорна
<i>α</i>	0	0	0	
<i>l</i>	0	0	0	Вакансія
<i>α</i>	0	0	0	

На рисунку 1.6 презентований операційний ескіз із позначенням елементів базування та закріплення вала в призмах з упором.

*Приклад 1.2.* На рисунку 1.7 презентований ескіз вала на токарній операції. Заготовка має центровий отвір 6. Підлягають формуванню поверхні 3 та 4.

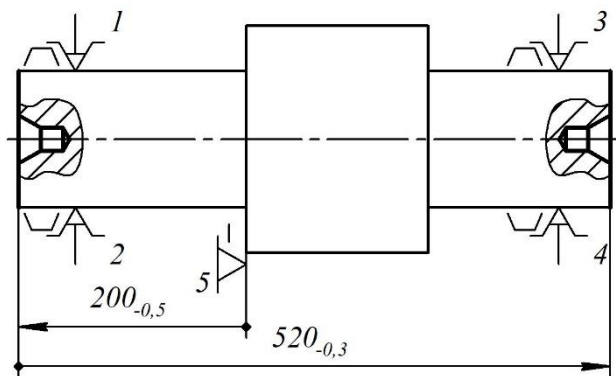
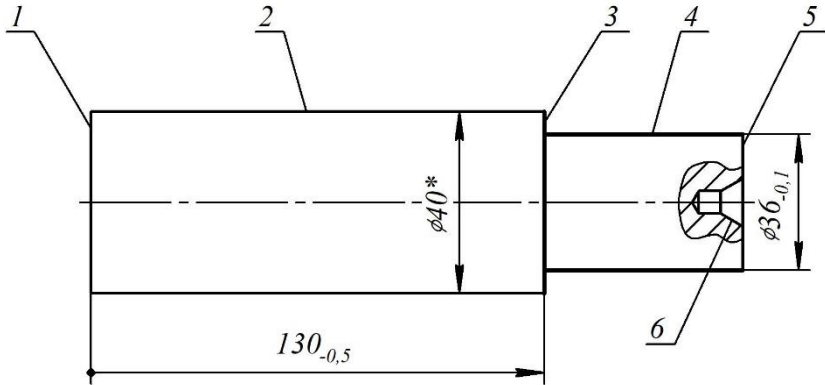


Рисунок 1.6 – Схема базування вала в призмах з упором у торці (операція фрезерно-центрувальна)

Головна база вала – центральна вісь може бути реалізована поєднанням поверхні 2 й центрального отвору 6 – опорно-

центрувальної бази. Поверхня 1 реалізує односторонній зв'язок – спирається на торець патрона. З іншого боку, цей зв'язок замикається поверхнею 6. Три кулачки патрона, затискаючи лівий кінець вала, взаємодіють із поверхнею 2 як із подвійною опорною базою.



*\*Розмір для довідок.*

Рисунок 1.7 – Ескіз вала з позначенням оброблюваних на токарній операції поверхонь

Прив'яжемо до заготовки систему координат (рис. 1.8), нанесемо умовні позначення технологічних баз (опорних точок) та заповнимо таблиці відповідності (табл. 1.15) та матриці зв'язків (табл. 1.16).

Таблиця 1.15 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування бази
1	I	Опорна
2, 3, 4, 5	II, III, V, VI	Подвійна опорна + опорно-центрувальна
–	IV	Вакансія

Таблиця 1.16 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування бази
<i>l</i>	1	0	0	Опорна
<i>α</i>	0	0	0	
<i>l</i>	0	1	1	Подвійна опорна+опорно-центрувальна
<i>α</i>	0	1	1	
<i>l</i>	0	0	0	Вакансія
<i>α</i>	0	0	0	

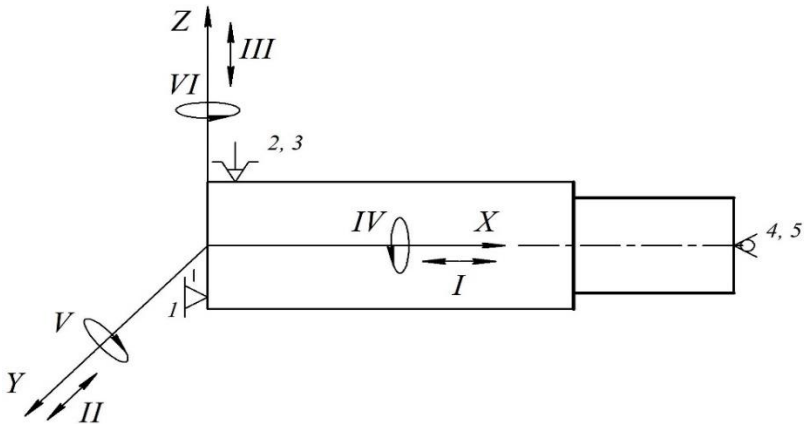
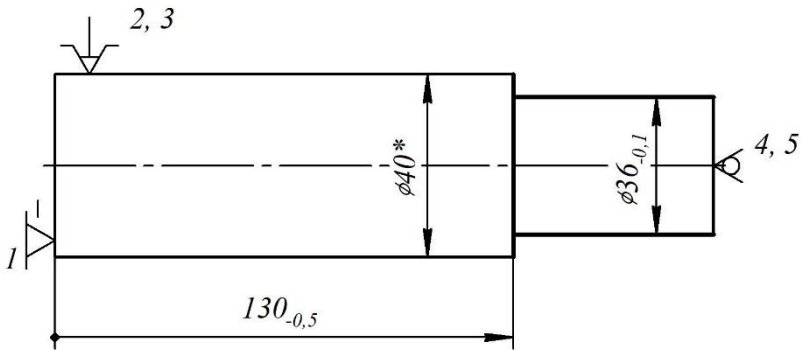


Рисунок 1.8 – Власна система координат заготовки (операція токарна)



На рисунку 1.9 презентований операційний ескіз із позначенням елементів базування та закріплення вала в токарному патроні та обертовому центрі.



*\*Розмір для довідок.*

Рисунок 1.9 – Схема базування вала в токарному патроні та обертовому центрі (операція токарна)

### 1.3. Завдання

Здійснити базування заготовки:

- паралелепіпеда, у тривимірній системі координат та в машинних лещатах;
- вала в тривимірній системі координат та в центрах;
- блоку шестерень у тривимірній системі координат та в токарному патроні.

У роботі використані скорочені позначення баз:

УТБ – установча (установлювальна) технологічна база;

НТБ – напрямна технологічна база;

ОКБ – основна конструкторська база;

ДКБ – допоміжна конструкторська база;

ВБ – вимірювальна база;

ПБ – прихована база;

НБ – неприхована база.

## 1.4. Обладнання, прилади, інструменти

1.4.1. Система координат OXYZ із комплектом змінних опор із 10 шт.		6 шт
1.4.2. Машинні лещата		1 шт
1.4.3. Токарний з ЧПК верстат 16Б16Т1		1 шт
1.4.4. Вертикально-фрезерний з ЧПК верстат 6Р13Ф3		1 шт
1.4.5. Заготовки:	алюміній	чавун
паралелепіпеда	6 шт.	1 шт
вала	6 шт.	1 шт
блока шестерень	6 шт.	1 шт
1.4.6. Інструменти:	ключ до токарного патрона; центри передньої та задньої бабок; руків'я до машинних лещат; планки до машинних лещат.	

## 1.5. Зміст роботи та порядок її виконання

1.5.1. Здійснити базування паралелепіпеда, змінюючи розміщення опор і положення паралелепіпеда щодо координатних площин. Переконатися в справедливості «правила шести точок». Установити, коли зв'язок усуває переміщення, а коли – повертання заготовки. Установити, як відстань між опорами впливає на точність орієнтації заготовки. Здійснити базування чавунної заготовки й паралелепіпеда в машинних лещатах, змінюючи орієнтацію заготовки та використовуючи різні підкладки.

1.5.2. Здійснити базування заготовки вала в тривимірній системі координат і в центрах токарного з ЧПК верстата 16Б16Т1.

1.5.3. Здійснити базування заготовки блока шестерень у тривимірній системі координат та в токарному патроні.

Виконання роботи потрібно розпочинати після вивчення методичних указівок. Викладач розділяє академічну групу на бригади з двох осіб. Кожна бригада виконує окремий варіант завдання (табл. 1.17).

Таблиця 1.17 – Варіанти індивідуальних завдань

№ з/п	Базування паралелепіеда		Базування вала		Базування блока шестерень	
	Система координат	Лещата	Система координат	Центри токарного верстата	Система координат	Токарний патрон
1	ВТБ//X0Y НТБ//X0Z	ВТБ//X0Z НТБ//X0Y	Вісь//X	Вісь//осі центрів	Вісь//Y	Вісь заготовки // осі верстата
2	ВТБ//Y0Z НТБ//X0Z	ВТБ//X0Z НТБ//Y0Z				
3	ВТБ//X0Y НТБ//Y0Z	ВТБ//Y0Z НТБ//X0Z	Вісь//Z			
4	ВТБ//Y0Z НТБ//X0Y	ВТБ//X0Y НТБ//X0Z				
5	ВТБ//X0Z НТБ//Y0Z	ВТБ//Y0Z НТБ//X0Y	Вісь//Y		Вісь//Z	
6	ВТБ//X0Z НТБ//X0Y	ВТБ//X0Y НТБ//Y0Z				

У звіті потрібно відобразити:

- усі 6 схем базування згідно з зазначеним варіантом індивідуального завдання;
- кожену схему необхідно супроводити таблицею відповідності та матрицею зв'язків;
- зробити висновок про кількість зв'язків та «ваканти» ступені вільності.

### 1.6. Питання для контролю

1. Що таке зв'язок?
2. Що таке ступінь вільності?
3. Як реалізують зв'язки в технологічній системі?
4. Назвіть «правило шести точок».
5. На які тіла поширюється правило шести точок?
6. За якими ознаками класифікують бази?

7. Чи може УТБ бути більшою за НТБ?
8. Як повинні бути розміщені опорні точки УТБ?
9. Як повинні бути розміщені опорні точки НТБ?
10. Чим відрізняється подвійна напямна база від подвійної опорної?
11. Як відрізнити ОКБ від ДКБ?
12. За якими ознаками розрізняють ПБ та НБ?
13. За якими ознаками визначають ВБ?
14. У яких випадках зв'язки є односторонніми?
15. Які чинники впливають на класифікацію баз за кількістю позбавлених ступенів вільності?

## 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ В МАШИННИХ ЛЕЩАТАХ І ТОКАРНОМУ ПАТРОНІ

Мета роботи – визначення похибки закріплення заготовки, одержання навичок експериментального дослідження розподілу випадкової величини, аналіз впливу похибки закріплення на точність оброблення.

### 2.1. Загальні відомості

Похибки, що виникають під час виконання технологічних операцій залежно від факторів, що їх викликають, можна розділити на три види: *систематичні постійні* – не змінюються під час виготовлення однієї деталі або деталей однієї партії; *систематичні змінні* похибки – впливають на точність оброблення безперервно чи періодично та зумовлені дією факторів, що змінюються за певним законом; *випадкові похибки* – виникають у результаті дії великої кількості не пов'язаних між собою факторів. Визначення їх значення заздалегідь кожної з деталей неможливо, проте можна встановити межі зміни цієї похибки з урахуванням експериментальних досліджень. Це дозволяє встановити фактори, що викликають виникнення похибки, та прогнозувати точність виконання технологічної операції.

*Похибка закріплення* – результат пружних та пластичних деформацій елементів пристрою та заготовки під дією сил затиску. Оскільки коливання сили закріплення сили закріплення мають випадковий характер, те й похибка закріплення – величина випадкова.

На прикладі закріплення заготовки в лещатах і трикулачковому патроні розглянемо причини виникнення похибки закріплення та її вплив на точність оброблення.

Під час закріплення заготовки в лещатах (рис. 2.1) зусилля закріплення створюється за рахунок передачі гвинт-гайка

переміщенням рухомої губки лещат по напрямних. Виникаюча при цьому сила реакції  $N$  створює перекидальний момент, що зумовлює зміщення та пружні деформації рухомої губки лещат у зоні контакту з напрямними. З'являється перекошення рухомої губки, сила закріплення  $P_1$  зміщується від нормалі відносно площини заготовки. У такий спосіб виникають дві складові сили закріплення  $Q$  та  $F$ . Вертикальна складова  $F$  викликає зміщення заготовки на величину  $S$ .

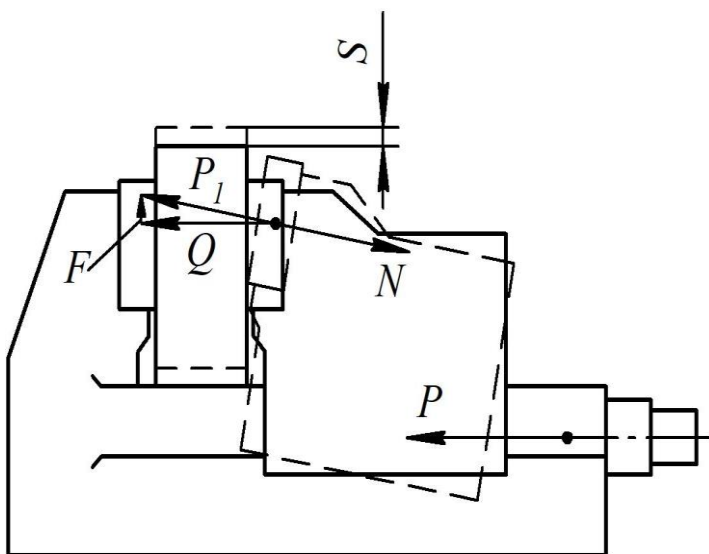


Рисунок 2.1 – Схема сил, що діють на заготовку під час її закріплення в лещатах

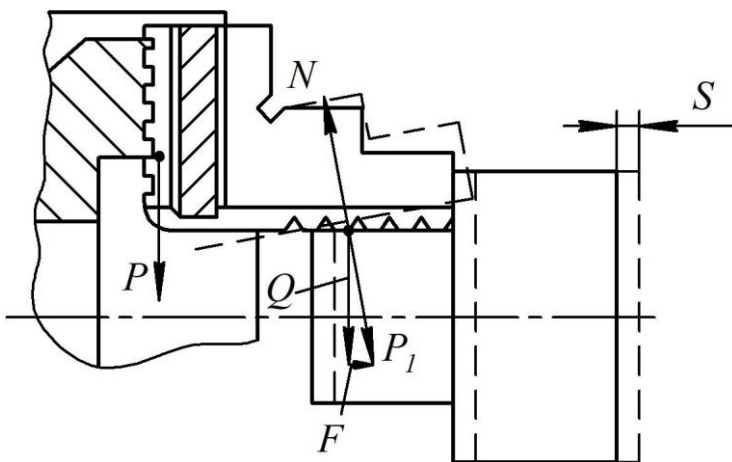


Рисунок 2.2 – Схема сил, що діють на заготовку під час її закріплення в токарному патроні

Аналогічно відбувається зміщення заготовки в осьовому напрямку, викликане перекошенням кулачків у напрямних та пружними деформаціями передньої стінки корпусу патрона (рис. 2.2). Зміщення заготовки залежить від стану конструкції пристосування та сили затискання. Похибка закріплення викликає розсіювання розмірів деталі (рис. 2.3) під час оброблення на налаштованих верстатах. Це зумовлено тим, що настроювальний розмір інструменту  $S$  постійний, а положення заготовки щодо опорної поверхні пристрою (настроювальної бази) може коливатися в межах, що визначаються зміщення  $S$ .

Межі зміни випадкової величини та, отже, можливе поле розсіювання розміру  $A$  встановлюють експериментально. Для цього багаторазово вимірюють (25÷50 разів) величину усунення заготовки під час її закріплення. Виявляють мінімальне та максимальне зміщення заготівлі під час її закріплення, які визначають поле розсіювання (розмах вибірки)

$$W = S_{max} - S_{min}$$

Поле розсіювання випадкової величини розбивають на інтервали, кількість яких визначають за формулою

$$f = 1 + 3,322 \cdot \text{tg}N,$$

де  $N < 100$  – об'єм вибірки (кількість вимірювань).

При  $N = 25 \div 40$   $f = 5 \div 7$ .

Ширину інтервалу, тобто різницю між максимальним і мінімальним значенням вимірюваної величини всередині інтервалу визначають за формулою

$$d = \frac{W}{f}$$

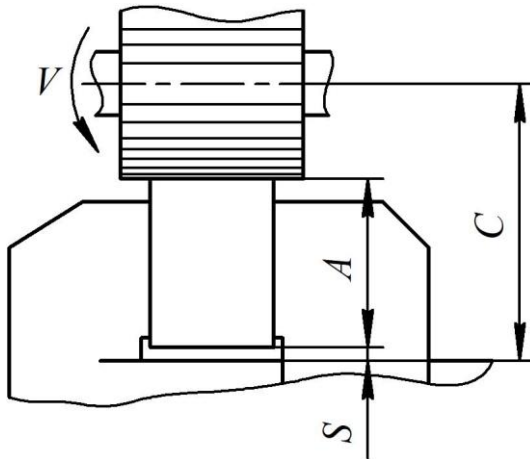


Рисунок 2.3 а – Приклад впливу похибки закріплення на точність розміру А під час циліндричного фрезерування



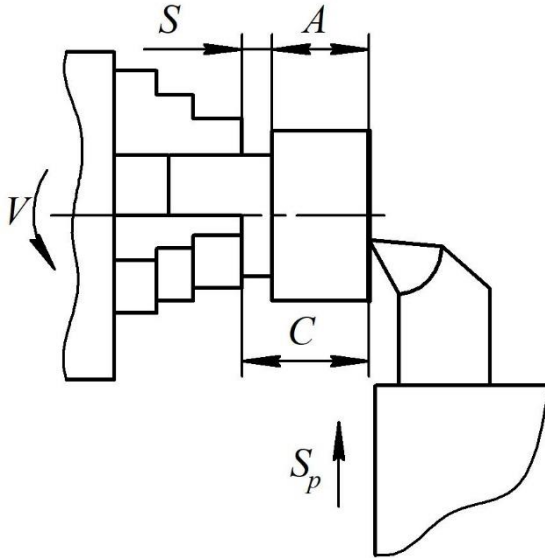


Рисунок 2.3 б – Приклад впливу похибки закріплення на точність розміру  $A$  під час точіння

Визначивши число та величину інтервалів, необхідно підрахувати частоти чи частоти кожного інтервалу. Необхідно усвідомити, що частота  $m_i$  – це кількість значень вимірюваної величини обсягу вибірки, що потрапили в цей інтервал. Частість  $m_i/N$  – відношення числа вимірів, що потрапили в цей інтервал, до загального числа вимірів (обсяг вибірки).

У таблиці 2.1 як приклад наведено розподіл величин зміщення заготовки під час закріплення в машинних лещатах.

Потрібно зазначити, що таку таблицю називають таблицею згрупованих даних. З її допомогою можна оцінити точність виконуваної операції, порівнюючи поле розсіювання величини зміщення з допуском на розмір, що виконується.

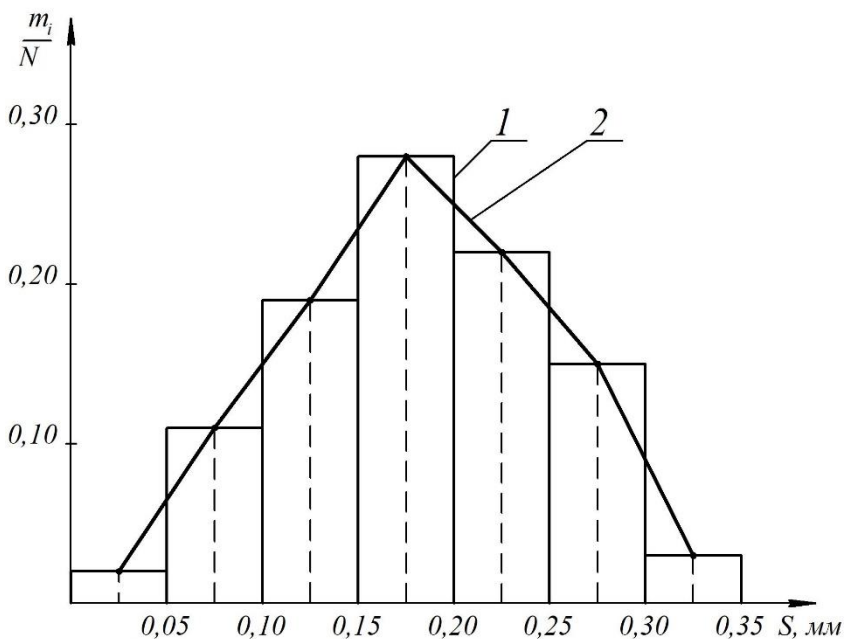


Рисунок 2.4 – Розподіл зміщення заготовки під час її закріплення в лещатах: 1 – гістограма розподілу; 2 – полігон розподілу

Експериментальні дані можуть бути презентовані у вигляді графіків розподілу (гістограма й полігон розподілу), поданих на рисунку 2.4. Гістограма розподілу виходить побудовою в кожному інтервалі прямокутника, висота якого дорівнює частоті чи частоті. Якщо точки, ординати яких дорівнюють частоті чи частоті, а абсциси – значенням середини інтервалів, з'єднати ламаною лінією, то вийде полігон розподілу.

Потрібно звернути увагу, що площа кожного прямокутника на гістограмі розподілу пропорційна частоті, а загальна площа гістограми – загальному числу спостережень, тобто обсягу вибірки. Якщо всю площу гістограми прийняти рівною 100 %, то площа кожного прямокутника буде відповідати величині  $(m_i/N) \cdot 100 \%$ . Експериментально визначивши можливе поле

розсіювання вимірюваної величини й зіставивши його з допустимим, що охоплює деякий інтервал від 0 до  $S_{max.дон}$ . можна визначити відсоток вимірювань, що знаходяться в межах допустимого зміщення заготовки. З огляду на це потрібно зробити висновки про надійність верстатного пристрою, необхідність його модернізації або реставрації.

## **2.2. Обладнання, прилади, інструменти**

1. Вертикально-фрезерний з ЧПК верстат 6P13Ф3.
2. Токарний з ЧПК верстат 16Б16Т1.
3. Лещата верстатні з ручним приводом із плоскими паралельними губками.
4. Лещата верстатні з ручним приводом із плоскими клиновими губками.
5. Патрон трикулачковий із ручним приводом.
6. Заготовка призматична 100 мм x 30 мм x 60 мм, ступінчастий валик із першим ступенем діаметром 40 мм, другим ступенем діаметром 40 мм, довжиною 20 мм.
7. Індикатор годинникового типу з ціною розподілу 0,01 мм, стійка індикатора.

## **2.3. Зміст роботи й порядок її виконання**

2.3.1. Визначення похибки закріплення заготовки в машинних лещатах:

– установити заготовку в лещатах із плоскими паралельними губками й рукою піджати її до нерухої губки лещат. У цьому положенні на поверхню заготовки, що буде вимірюватися, установити вимірювальний наконечник індикатора з натягом 1÷2 мм, стрілку індикатора встановити на «0» (схема вимірювання наведена на рис. 2.5 а);

– багаторазово ( $25 \div 30$  разів) закріпити й розкріпити заготовку, фіксуючи щоразу після закріплення показання індикатора;

– аналогічно ( $25 \div 30$  разів) закріпити заготовку в лещатах із клиновими губками, вимірюючи зміщення заготовки; обробити результати вимірів за викладеною методикою. Скласти таблиці згрупованих даних та графіки емпіричного розподілу.

2.3.2. Визначення похибки закріплення заготовки в трикулачковому патроні:

– установити встановити заготовку в патрон і притискаючи її буртиком до торцевої поверхні кулачків, злегка закріпити;

– у цьому положенні підвести супорт із закріпленим у різцетримачі індикатором (рис. 2.5 б) до заготовки. Його вимірювальний наконечник повинен торкатися торця заготовки по лінії центрів із натягом  $1 \div 2$  мм. Стрілку індикатора встановити на «0»;

–  $25 \div 30$  разів закріпити заготовку, вимірюючи величину її зміщення після закріплення;

– обробити результати вимірювань. Скласти таблицю згрупованих даних, побудувати графіки розподілу величини зміщення заготовки.

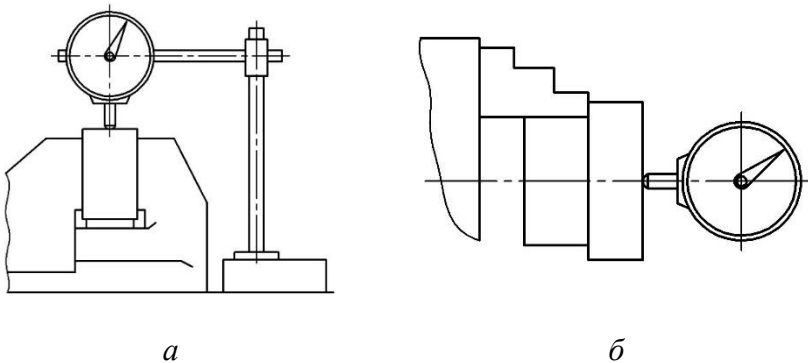


Рисунок 2.5 – Схеми вимірювання похибки закріплення заготовки: *a* – у лещатах, *б* – у трикулачковому патроні

## **2.4. Питання для контролю**

1. Види похибок, що виникають під час механічного оброблення заготовок.
2. Причини виникнення похибки закріплення.
3. Вплив похибки закріплення на точність розмірів, що виконуються.
4. Послідовність складання таблиці згрупованих даних. Як визначають число та величину інтервалів?

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЧАСУ РОБОТИ ТА ПЕРЕРВ НА ТЕМПЕРАТУРНУ ДЕФОРМАЦІЮ РІЗЦЯ

Мета роботи – дослідження впливу на температурну деформацію різця часу роботи та перерв на зміну заготовок та проведення вимірювань під час виконання оброблення заготовок на токарному верстаті.

#### 3.1. Дослідження температурних деформацій інструменту

Під час оброблення металів різанням у результаті витраченої роботи на подолання тертя по передній та задній поверхні різця виділяється теплота. При швидкостях різання менше 50 м/хв найбільший вплив на тепловиділення чинить робота на подолання пластичних деформацій. Під час роботи на високих швидкостях та в разі оброблення малопластичних металів робота щодо подолання тертя буде основним джерелом виникнення теплоти.

Кількість теплоти, що утворюється під час різання, визначають формулою (кал/хв)

$$Q = Pz \cdot \frac{V}{E}$$

де  $Pz$  – сила різання, Н;

$V$  – швидкість різання, м/хв

$E$  – механічний еквівалент теплоті, кГ м/кал.

Оскільки від місця утворення поширюється в різець, стружку, заготовку та навколишнє середовище, то загальну кількість теплоти, що утворюється під час різання, можна знайти за таким рівнянням теплового балансу (кал/хв):

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

де  $Q_1$  – кількість теплоти, що виділяється зі стружкою (50 ÷ 86 %)

$Q_2$  – кількість теплоти, що виділяється в різець (10 ÷ 40 %)

$Q_3$  – кількість теплоти, що виділяється в заготовку (3 ÷ 9 %)

$Q_4$  – кількість теплоти, що виділяється в навколишнє середовище (1 %).

З рівняння теплового балансу видно, що теплота, яка виділяється, впливає на процес різання, на стан поверхонь тертя й на появу температурних деформацій, що призводить до появи похибок оброблення.

Величина температурних деформацій різця змінюється залежно від тривалості роботи та перерв. На початку роботи деформації швидко зростають, а потім швидкість зростання зменшується й через деякий час виникає теплова рівновага, тобто температурні деформації залишаються постійними.

Температурні деформації різця під час точіння на токарному верстаті залежать від режимів різання, матеріалу заготовки та інструменту, вильоту різця та його геометрії.

Для розрахунку максимальної величини подовження різця, що відповідає встановленому тепловому стану різця запропонована така формула (мкм):

$$l_{max} = C \cdot \frac{L}{F} \cdot \sigma_B \cdot (t \cdot S)^{0,75} \cdot \sqrt{V},$$

де  $L$  – виліт різця, мм;

$V$  – швидкість різання, м/хв;

$F$  – площа перерізу зрізу, мм<sup>2</sup>;

$t$  – глибина різання, мм;

$\sigma_B$  – межа міцності оброблюваного матеріалу, кг/мм<sup>2</sup>;

$S$  – подача, мм/об;

$C$  – коефіцієнт (4÷4,5).

Визначення температурних деформацій різця визначається методом безпосереднього вимірювання зміни довжини різця.

Для виконання роботи необхідно 10÷20 зразків заготовок (сталь 45; Ø40÷60 мм; довжина оброблення 50 мм). Режими

оброблення заготовок:  $V = 100 \div 150$  м/хв;  $S = 0,1 \div 0,2$  мм/об;  
 $t = 0,1 \div 0,2$  мм.

Час оброблення заготовок та час перерв на зміну заготовок та на вимірювання довжини різця для всіх заготовок повинен бути однаковим.

За результатами вимірювань будують графік залежності величини температурної деформації від часу роботи та перерв (рис. 3.1). За віссю абсцис відкладаємо інтервали часу точіння кожного зразка й час перерв, але в осі ординат – температурні деформації різця. Час стабілізації температури та величину стабільного температурного подовження визначаємо за одержаним графіком.

### **3.2. Обладнання, прилади, інструменти**

1. Заготовки 10÷20 шт., ( $\varnothing 40 \div 60$  мм;  $l = 80 \div 100$  мм)
2. Токарний з ЧПК верстат 16Б16Т1.
3. Хомути 10÷20 шт.
4. Прохідний різець
5. Спеціальна вимірювальна стійка, індикаторна головка з ціною поділки 0,01 мм, штангенциркуль, секундомір.

### **3.3. Зміст роботи та порядок її виконання**

1. Установити та закріпити різець у різцетримачі.
2. Налаштувати вимірювальну стійку для вимірювання. Для цього закріпити в неї індикатор та встановити його на різцетримач, як показано на рисунку 3.2, та забезпечити натяг 0,5 мм. Установити шкалу індикатора на нуль.
3. Установити заготовку в патроні та задньому центрі.
4. Виміряти виліт різця та переріз державки.
5. Здійснити обточування заготовки на вказаних режимах на довжині 50 мм. Виміряти час оброблення.



6. Вимкнути верстат, засікти час, за допомогою вимірювальної стійки заміряти індикатором величину видовження різця.

7. Замінити заготовку на нову. Здійснити повторне вимірювання величини подовження різця, включити верстат і засікти час закінчення перерви й початку нового оброблення. Подальший час точіння кожної заготовки та час перерв на зупинку верстата, замір, заміну заготовки, повторний вимір подовження різця повинні бути однаковими.

8. Повторити пункти 1÷6 кожної наступної заготовки.

9. За результатами вимірювання побудувати графік залежності величини температурної деформації від часу роботи та перерв.

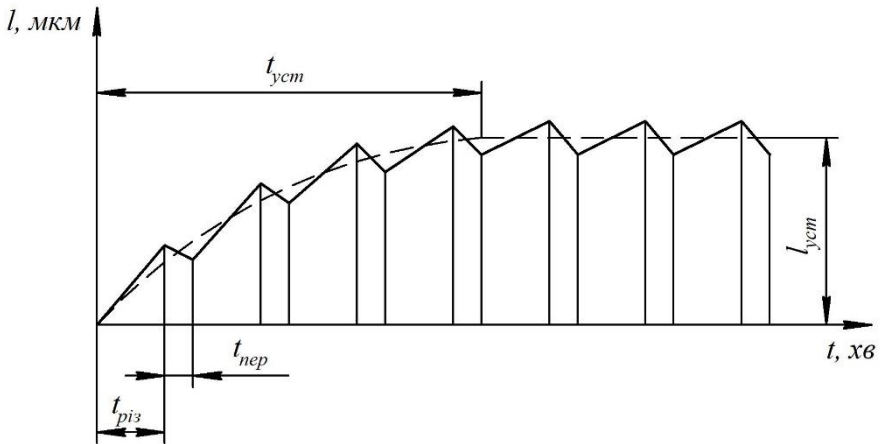


Рисунок 3.1 – Графік залежності температурної деформації різця від часу роботи та перерв

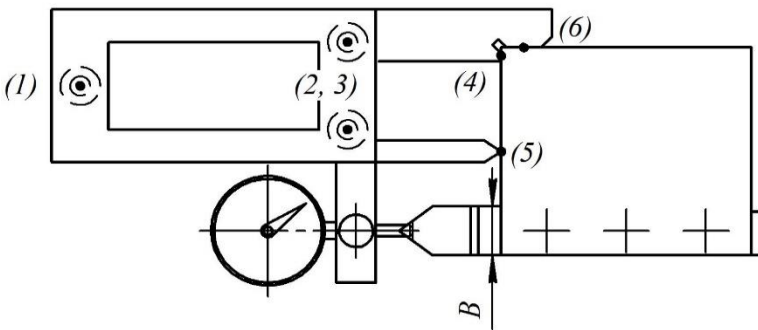
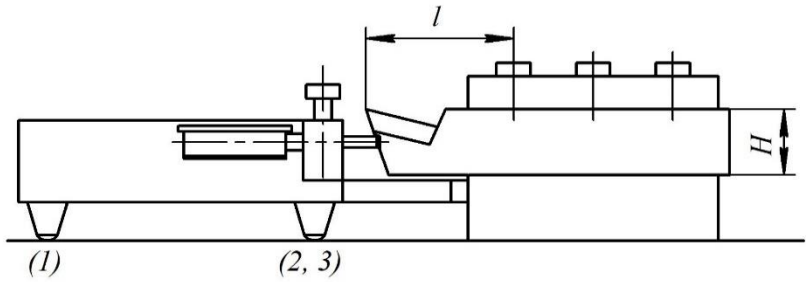


Рисунок 3.2 – Схема вимірювання температурної деформації різця

### 3.4 Питання для контролю

1. Перерахувати причини виділення теплоти під час різання металів.
2. Від чого залежить кількість теплоти, що виділяється при точенні металу?
3. Розкажіть про тепловий баланс.
4. Що таке теплова рівновага?
5. Від чого залежить максимальна величина подовження різця під час гостріння?
6. Як визначити час стабілізації температури?
7. Як визначити величину стабільного температурного подовження різця під час точіння на токарному верстаті?

## **4 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ НА ТОЧНІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ЗАГОТОВОК, ОБРОБЛЮВАНИХ ТОЧІННЯМ**

Мета роботи – визначення жорсткості технологічної системи статичним та виробничим методами, набуття навичок експериментального визначення жорсткості технологічної системи, а також встановлення залежності точності оброблення від жорсткості технологічної системи.

### **4.1. Зміст роботи й порядок її виконання**

4.1.1. Вивчити методику статичного визначення жорсткості технологічної системи.

4.1.2. Вивчити схему навантаження технологічної системи токарного верстата та вимірювання її пружних переміщень.

4.1.3. Виміряти пружні переміщення передньої та задньої бабок і супорта токарного верстата.

4.1.4. Обробити експериментальні дані, визначити жорсткість елементів технологічної системи та сумарну жорсткість верстата.

4.1.5. Вивчити методику визначення жорсткості виробничим методом.

4.1.6. Розрахувати величину жорсткості верстата за виробничим методом та порівняти її зі статичною жорсткістю.

4.1.7. Скласти звіт.

### **4.2. Методика визначення статичної жорсткості технологічної системи**

Під жорсткістю технологічної системи розуміють здатність цієї системи чинити опір дії деформувальної її сили. Кількісно

жорсткість системи  $j$  виражається відношенням сили  $P$  до переміщення  $y$ , викликаного дією цієї сили

$$j = \frac{P}{y}, \frac{\text{Н}}{\text{мм}}, \frac{\text{кН}}{\text{мм}}$$

Іноді використовують поняття податливості, яка чисельно дорівнює величині, зворотної жорсткості.

$$\omega = \frac{1}{j} = \frac{y}{P}$$

Жорсткість однієї з ланок технологічної системи або всієї системи визначають експериментальним шляхом. Існує два основних методи експериментального визначення жорсткості: **статичний** – випробування при непрацюючому верстаті; **виробничий** – випробування при обробленні заготовки. Дані, одержані під час статичного визначення жорсткості верстатів, недостатньо точні й під час технологічних розрахунків дають занижені результати похибки оброблення. Це пояснюється тим, що під час визначення жорсткості на непрацюючому верстаті не враховують динамічні навантаження, які насправді збільшують деформацію системи та знижують її жорсткість.

Виробничий метод визначення жорсткості верстата дає точніший результат, що дозволяє прогнозувати вплив цього фактору на точність оброблення, але не дає можливості визначити жорсткість окремих вузлів верстата. Тому обидва методи використовуються як такі, що доповнюють один одного.

У цій роботі спочатку розглядають статичний метод визначення жорсткості, сутність якого полягає в тому, що вузли верстата навантажуються силою, що імітує дію складової  $P_y$  сили різання, і одночасно вимірюються переміщення окремих вузлів верстата. За результатами вимірювань під час навантаження та розвантаження технологічної системи будуються графіки залежності  $y = f(P_y)$  для деформації передньої бабки, задньої

бабки та супорта верстата. Для побудови графіків за віссю ординат відкладають значення навантаження  $P_y$ , а за віссю абсцис – значення переміщень  $y$ , виміряні в напрямі дії сили (рис. 4.1). Зазвичай розвантажувальна гілка графіка не збігається з навантажувальною, утворюючи петлю. Площа петлі графіка характеризує роботу з подолання сил тертя за повний цикл навантаження та розвантаження. Відрізок  $Y_0$  характеризує залишкову деформацію, обумовлену контактними змінаннями та зміщеннями у вузлах системи.

Через наявність  $y$  у вузлах системи зазорів, змінання контактних поверхонь і сил тертя гілки графіка не є прямою лінією. Для визначення середньої жорсткості системи навантажувальну гілку графіків апроксимують лінійною залежністю

$$P_y = a + by, \quad (4.1)$$

де  $a$  і  $b$  – постійні коефіцієнти, що визначаються методом найменших квадратів. За виконання цієї роботи допустиме спрощене усереднення гілки навантаження.

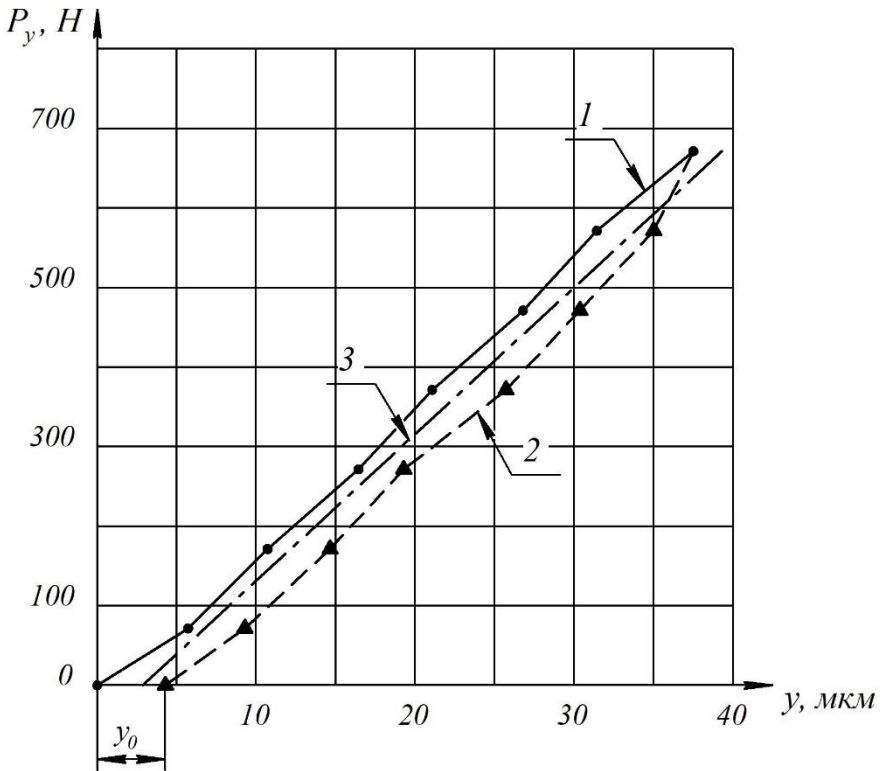


Рисунок 4.1 – Графічна залежність пружної деформації  $y$  елемента технологічної оброблювальної системи точіння від зовнішнього навантаження  $P$ : 1 – навантажувальна гілка; 2 – розвантажувальна гілка; 3 – середня навантажувальна гілка

Одержавши значення жорсткості окремих вузлів технологічної системи, визначають сумарно її жорсткість з огляду на схему сил, що діють на вузли верстата.

Розглянемо схему навантаження технологічної системи токарного верстата під час оброблення вала в центрах (рис. 4.2).

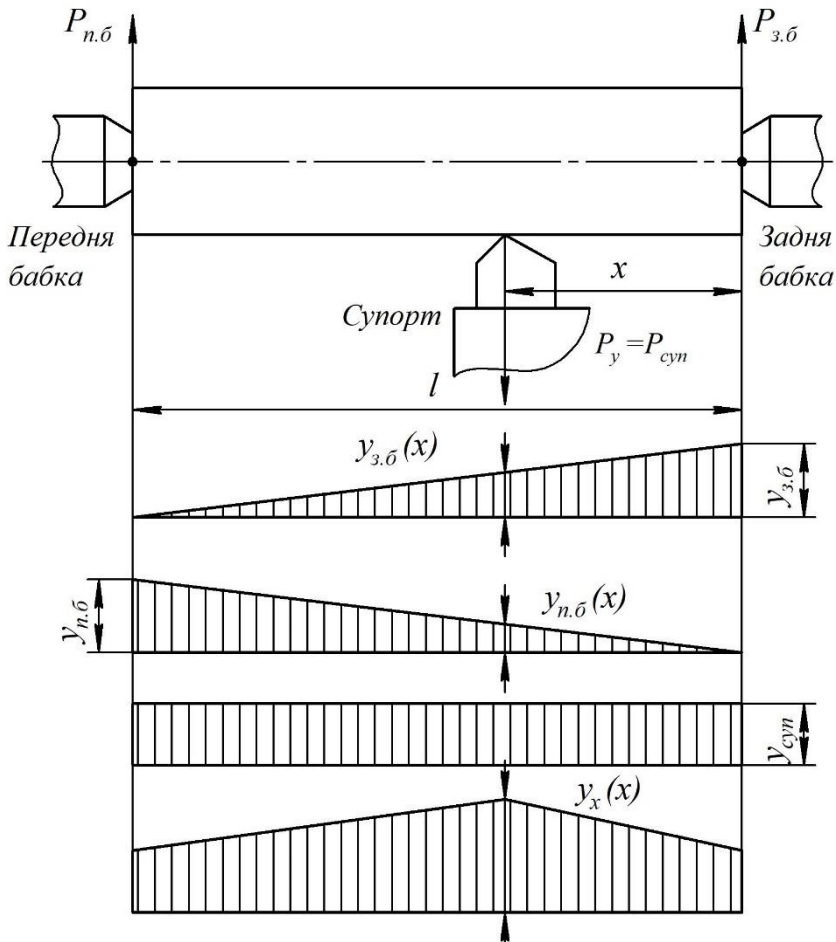


Рисунок 4.2 – Схема навантаження й пружних переміщень вузлів токарного верстата

Зі схеми навантаження одержимо формулу переміщень вузлів верстата в будь-якій координаті по довжині деталі

$$y(x) = P_y \cdot \omega_{cуп} + P_y \cdot \omega_{з.б.} \left( \frac{(l-x)^2}{l^2} \right) - P_y \cdot \omega_{n.б.} \cdot \frac{x^2}{l^2} \quad (4.2)$$

Розділивши праву та ліву частини рівняння на силу  $P_y$ , одержимо рівняння для визначення податливості верстата

$$\omega_{\text{вер}} = \omega_{\text{суп}} + \omega_{\text{з.б.}} \cdot \frac{(l-x)^2}{l^2} + \omega_{\text{п.б.}} \cdot \frac{x^2}{l^2}. \quad (4.3)$$

За даної схеми навантаження токарного верстата найбільше переміщення, найбільша піддатливість у разі застосування сили в точці з координатою  $x = l/2$ , тобто всередині оброблюваної деталі

$$\omega_{\text{вер}} = \omega_{\text{суп}} + \frac{(\omega_{\text{п.б.}} + \omega_{\text{з.б.}})}{4}. \quad (4.4)$$

Отже, для визначення сумарної піддатливості верстата необхідно насамперед знайти піддатливість кожного його вузла.

На рисунку 4.3 наведено схему експериментального визначення статичної піддатливості (жорсткості) токарного верстата.

### **4.3. Методика визначення жорсткості технологічної системи виробничим методом**

Під час оброблення пружні переміщення (відтискання) заготовки та різального інструменту порушують початкову, встановлену налагодженням верстата, закономірність їх відносного переміщення. Додержаний на цій операції розмір має приріст, величина та знак якого залежать від конструкції верстата, ступеня зношування його вузлів, величини та напрямку вектора сили різання, місця застосування навантаження.

Розрахунковим шляхом важко визначити величину відносного переміщення інструменту та заготовки під дією сили різання. Тому на практиці часто користуються експериментальними методами, серед яких більш точним є виробничий метод. У ньому величину пружних переміщень визначають безпосередньо під час оброблення. Умови навантаження технологічної системи можуть відповідати виробничим. Цим методом обробляють заготовку зі змінним



припуском, що змінюється східчасто (рис. 4.4), і безпосередньо вимірюється збільшення розміру на оброблюваній деталі. Заготовку обробляють зі змінною глибиною різання. Глибина різання викликає відповідно зміну сили різання  $a$ , отже, величини сумарної деформації технологічної системи. На обробленій поверхні формується уступ, висота якого  $\Delta u = y_2 - y_1$  дорівнює різниці деформацій технологічної системи під час оброблення з глибиною різання  $t_2$  і  $t_1$ .

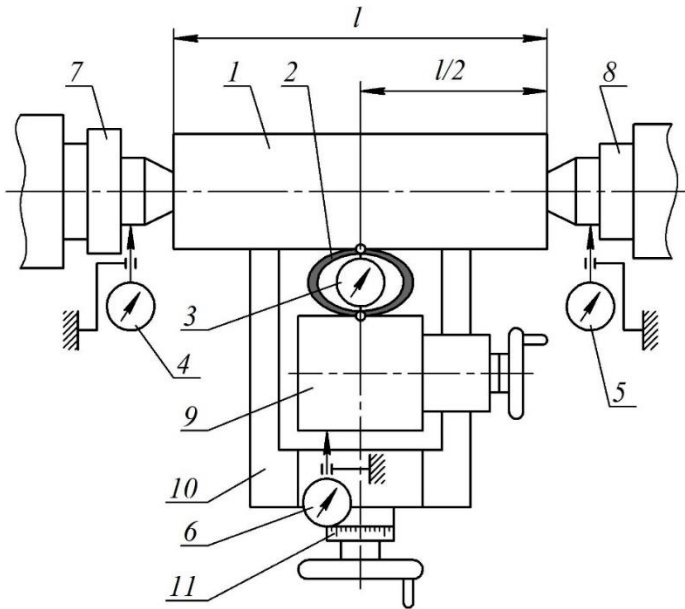


Рисунок 4.3 – Схема налагодження токарного верстата для визначення статичної жорсткості:

- 1 – вал-оправка; 2 – пружний динамометр; 3 – індикатор динамометра; 4 – індикатор переміщення передньої бабки; 5 – індикатор переміщення задньої бабки; 6 – індикатор переміщення супорта; 7 – передня бабка; 8 – задня бабка; 9 – різцеутримувач; 10 – поперечний супорт; 11 – лімб поперечного супорта

У процесі оброблення сили різання  $P_{y1}$  і  $P_{y2}$  визначають за допомогою кільцевого динамометра або можуть бути розраховані за формулою 4.5.

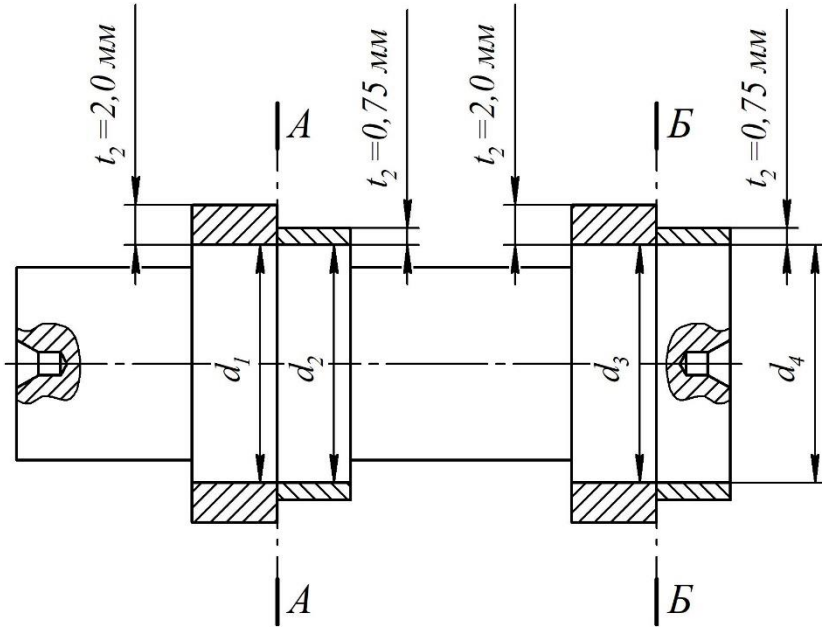


Рисунок 4.4 – Ескіз заготовки

$$P_y = 243 \cdot t^{0,9} \cdot S_o^{0,6} \cdot V^{-0,3} \cdot K_p, \quad (4.5)$$

де  $t$  – глибина різання, мм;

$S_o$  – подача, мм/об;

$V$  – швидкість різання, м/хв;

$K_p$  – поправочний коефіцієнт, що враховує конкретні умови різання.

Примітка. Поправочний коефіцієнт  $K_p$  визначають за формулою

$$K_p = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (4.6)$$

де  $K_1$  – поправочний коефіцієнт на оброблюваний матеріал;  
 $K_2$  – поправочний коефіцієнт на матеріал різальної частини інструмента;

$K_3$  – поправочний коефіцієнт на геометрію різця.

Значення поправочних коефіцієнтів для умов даної роботи наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Поправочні коефіцієнти

Коефіцієнти	Значення коефіцієнта				
$K_1$	0,35				
$K_2$	1				
$K_3$	Головний кут в плані $\varphi^\circ$				
	30	45	60	75	90
	1,08	1	0,98	1,03	1,08

Визначивши сили  $P_{y1}$ , і  $P_{y2}$  та їх різницю  $\Delta P_y = P_{y2} - P_{y1}$ , можна розрахувати величину коефіцієнта жорсткості  $j$  (Н/мм)

$$j = \frac{(P_{y2} - P_{y1})}{y_2 - y_1} = \frac{\Delta P_y}{\Delta y} \quad (4.7)$$

Але для технолога важливим є не визначення коефіцієнта жорсткості, а точність оброблення залежно від зміни жорсткості технологічної системи.

Для вирішення цього питання розмір меншого уступу заготовки (рис. 4.4) виконується рівним найменшому, а розмір більшого уступу – найбільшому граничному розміру заготовки в тій партії, на оброблення якої налаштований верстат. Отже, під час оброблення меншого уступу знімається найменший припуск  $t_1$ , а під час оброблення більшого уступу – найбільший припуск

$t_2$ . Величина зміни припуску на діаметр ( $2 \cdot \Delta t = 2(t_2 - t_1)$ ) дорівнює допуску на розмір заготовки, тобто імітується оброблення дух заготовок із партії (найбільшої та найменшої). Якщо потрібно врахувати коливання твердості оброблюваного матеріалу, то висоту уступу  $\Delta t$  необхідно збільшити на 20÷30 %.

Висоти уступів на обробленій поверхні в місці стрибка припуску (розрізу I-I  $\frac{d_2-d_1}{2}$  і  $\frac{d_4-d_3}{2}$  розріз II-II) відповідають величині поля розсіювання розмірів, яке виникає через нерівномірність деформацій у технологічній системі під час оброблення партії заготовок зі змінним припуском і твердістю в передній та задній бабках.

Відомо, що жорсткість передньої та задньої бабок верстата н однакові. Тому під час зняття однакового припуску на правому й лівому кінцях заготовки (за один установ) зміна розмірів обробленої поверхні буде різною. За відмінності розмірів на кінцях заготовки можна міркувати про очікувану величину конусоподібності оброблених деталей.

Найменшу конусоподібність матиме деталь із мінімальним припуском. При цьому необхідно для кожної заготовки прийняти величину припуску вздовж постійної осі. Одержану конусоподібність можна частково усунути за рахунок зсуву задньої бабки. У цьому разі конусоподібність деталі з найбільшим припуском дещо зменшиться.

#### 4.4. Обладнання, прилади, інструменти

1. Верстат токарний моделі 16Б16Т.
2. Різець правий прохідний Т15К6 із розмірами 16 x 25 x 200: геометричні параметри різця:  $\gamma = 0^\circ$ ;  $\alpha = 10^\circ$ ;  $\lambda = 0^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;  $\varphi_l = 10^\circ$ ;  $r_\epsilon = 1$  мм.
3. Планшайба повідкова, передній та задній центри.
4. Оправка з кільцями для обточування – 2 шт або ступінчаста заготовка.
5. Кільцевий динамометр.

6. Контрольна оправка для перевірки співвісності центрів верстата; вимірвальний інструмент – важільна скоба або мікрометр.

#### **4.5. Зміст роботи й порядок її виконання**

##### **А. Статичний метод**

4.5.1 Установити у центрах верстата оправку.

4.5.2 Установити між оправкою та різцетримачем кільцевий динамометр так, щоб навантаження, яке передається, збігалось за напрямком із дією радіальної складової сили різання та прикладалося всередині оправки.

4.5.3 Установити стійки з індикаторами на станині та повздовжньому супорті для вимірювання переміщення передньої, задньої бабок і поперечного супорта.

4.5.4 Попередньо навантажити технологічну систему до граничного навантаження та зняти навантаження  $1 \div 2$  рази.

4.5.5 Ступінчасто навантажувати систему до граничного навантаження, знімаючи при цьому показання індикаторів. Показання індикаторів заносити в таблицю 4.2.

4.5.6 У зворотній послідовності ступінчасто здійснити повне розвантаження, заносючи показники індикаторів у таблицю 4.2.

4.5.7 Справжні переміщення супорта визначати як різницю показань індикатора супорта та лімба супорта.

4.5.8 Побудувати графіки «сила–переміщення» під час навантаження та розвантаження для передньої, задньої бабок і супорта.

4.5.9 Опрацювати експериментальні дані методом найменших квадратів, визначивши залежність виду (4.1) для досліджуваних вузлів верстата. Визначити жорсткість  $j$  і піддатливість  $\omega$  вузлів верстата.

4.5.10 За формулою (4.4) визначити піддатливість, а потім жорсткість токарного верстата.

Таблиця 4.2 – Експериментальні дані одержані статичним методом

№ з/п	Динамометр		Уп.б., мм	Уз.б., мм	Усуп., мм
	Показники індикатора	Сила, Н			
Навантаження					
1.					
2.					
Розвантаження					
1.					
2.					

### Б. Виробничий метод

4.5.11 За контрольною оправкою та індикатором перевірити співвісність центрів верстата.

4.5.12 Установити та закріпити заготовку (рис. 4.4) на верстаті моделі 1А616.

4.5.13 Налаштувати верстат на режим оброблення:  $V = 80 \div 140$  м/хв;  $S_o = 0,1 \div 0,3$  мм/об.

4.5.14 Підрахувати величину складової сили різання  $P_y$  за формулою (4.5) під час оброблення з глибиною різання  $t_1 = 0,75$  мм і  $t_2 = 2$  мм відповідно.

4.5.15 Здійснити навантаження біля передньої та задньої бабок верстата з відповідними зусиллями та визначити величини їх супротиву цим навантаженням (дані взяти під час визначення жорсткості вузлів верстата методом статичного навантаження).

4.5.16 Визначити коефіцієнти жорсткості передньої та задньої бабок верстата за формулами

$$j_{п.б.} = \frac{P_y}{y_{п.б.}}; \quad j_{з.б.} = \frac{P_y}{y_{з.б.}}$$

4.5.17 Визначити очікувану величину збільшення розміру біля передньої та задньої бабок під час оброблення заготовки зі ступінчастою зміною глибини різання від  $t_1 = 0,75$  мм до  $t_2 = 2$  мм за формулами

$$\Delta d_{\text{п.б.}} = \frac{2(P_{y2} - P_{y0,75})}{j_{\text{п.б.}}}; \quad \Delta d_{\text{з.б.}} = \frac{2(P_{y2} - P_{y0,75})}{j_{\text{з.б.}}}$$

Підрахувати очікувану величину конусоподібності

$$K_{\min} = 2P_{y0,75} \left( \frac{1}{j_{\text{з.б.}}} - \frac{1}{j_{\text{п.б.}}} \right); \quad K_{\max} = 2P_{y2} \left( \frac{1}{j_{\text{з.б.}}} - \frac{1}{j_{\text{п.б.}}} \right).$$

4.5.18 Обточити дві заготовки зі ступеневим зростанням припуску. Під час оброблення меншого уступу глибина різання  $t = 0,75$  мм, більшого – 2 мм.

4.5.19 Заміряти величини прирощень діаметрів на обох кінцях заготовки.

4.5.20 Порівняти результати, отримані в пункті 4.5.17 і 4.5.19, і пояснити їх розбіжність.

4.5.21 Скласти звіт про виконану роботу, порівнявши визначення жорсткості верстата статичним та виробничим методами, зробивши відповідні висновки.

## 4.6 Питання для контролю

1. Перерахувати причини виділення теплоти під час різання металів.

2. Від чого залежить кількість теплоти, що виділяється під час точіння металу?

3. Розкажіть про тепловий баланс.

4. Що таке теплова рівновага?

5. Від чого залежить максимальна величина подовження різця під час гостріння?

6. Як визначити час стабілізації температури?

7. Як визначити величину стабільного температурного подовження різця під час точіння на токарному верстаті?

## 5. СТАТИСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБЛЕННЯ ЗАГОТОВОК НА ПОПЕРЕДНЬО НАЛАГОДЖЕНОМУ ВЕРСТАТІ

Мета роботи – освоєння методики статистичного аналізу точності механічного оброблення заготовок на налагодженому верстаті.

### 5.1. Загальні відомості

Похибки, що виникають під час механічного оброблення, можна класифікувати так:

- 1) *систематичні* (постійні та закономірно змінюються);
- 2) *випадкові* (дискретні та безперервні).

Систематичні постійні похибки є зазвичай наслідками неточності виготовлення верстата, пристроїв, інструментів і характерні для кожної оброблюваної заготовки як однієї, так і декількох партій. Систематичні закономірно-змінні похибки впливають на точність оброблення заготовок безперервно або періодично та пов'язані, наприклад, із розмірним зношуванням інструменту або його температурними деформаціями.

Випадкові похибки викликаються дією ряду не пов'язаних між собою факторів. Вони можуть викликатися нестабільністю сил різання, коливанням припуску та твердості заготовки.

Існують **два основні методи оцінювання точності оброблення** заготовок.

- 1) дослідно-статистичний (на основі кривих розсіювання та точкових діаграм);
- 2) розрахунково-аналітичний.

Для аналізу та виявлення закономірностей розподілення розмірів заготовок та похибок їх форми зручно використовувати методи математичної статистики.

Випадкові похибки переважно описані законом нормального розподілення (Гауса). Водночас досить часто трапляються й інші закони розподілення похибок. Наприклад, закону Релея



підпорядковано розподілення ексцентриситету осей або биття оброблюваних поверхонь. Розподіл таких похибок, як овальність, конусність, підкоряється законам Пуассона, Максвелла тощо.

## 5.2. Обладнання, прилади, інструменти

1. Токарний з ЧПК верстат моделі 16Б16Т1.
2. Різальний інструмент – прохідний різець.
3. Заготовка – пруток зі сталі 20 діаметром  $\text{Ø } 40 \div 50$  мм.
4. Вимірювальний інструмент – мікрометр із межами вимірювання  $25 \div 50$  мм і ціною розподілу  $0,01$  мм.

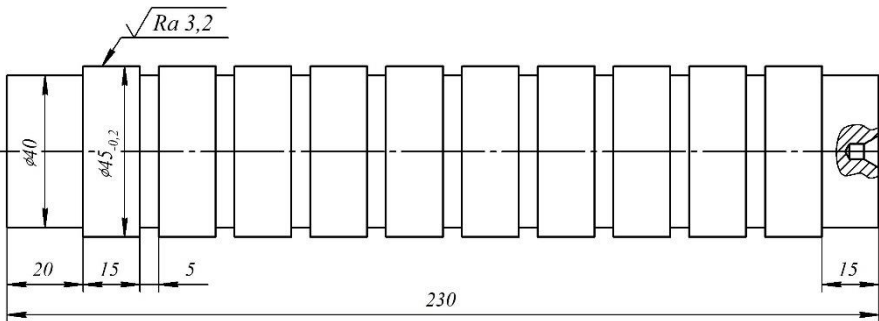


Рисунок 5.1 – Ескіз заготовки

## 5.3 Зміст роботи й порядок її виконання

1. Ознайомитися з ескізом заготовки (рис. 5.1).
  2. Налаштувати верстат на оброблення партії заготовок.
  3. Обробити  $4 \div 5$  заготовок, що мають по  $10$  поверхонь, що імітує виготовлення  $40 \div 50$  деталей.
  4. Провести замір оброблених заготовок.
  5. Побудувати емпіричну криву розподілу розмірів оброблених заготовок.
- 5.1. Визначити розмах розсіювання розмірів, як різницю між найбільшим та найменшим дійсними розмірами.

5.2. Розбити поле розсіювання на  $7 \div 11$  інтервалів із таким розрахунком, щоб крок інтервалу  $h$  перевищував ціну поділки мікрометра мінімум у  $2 \div 3$  рази.

5.3. Установити межі вимірювання інтервалів та їх середні значення  $X_i$ .

5.4. Визначити частоту  $m_i$ , з якою розміри трапляються в кожному інтервалі  $n_i$  ( $n$  – число інтервалів).

Для зручності обчислень складають таблицю типу 5.1.

Таблиця 5.1

Інтервали		$X_i$	$m_i$
від	до (вкл.)		
28,36	28,40	28,38	2
28,40	28,44	28,42	4
28,44	28,48	28,46	8
28,48	28,52	28,50	10
28,52	28,56	28,54	7
28,56	28,60	28,58	2
28,60	28,64	28,62	2
			35

5.5. За значеннями  $X_i$  та  $m_i$  будується полігон розсіювання розмірів оброблених заготовок (рис. 5.2), ламана лінія I.

6. Побудувати теоретичну криву розподілення розмірів оброблюваних заготовок:

6.1. Визначити статистичні параметри емпіричного закону розподілу: математичне очікування  $\bar{X}$  та середньоквадратичне відхилення  $\sigma$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot m_i}{N}, \quad (5.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot m_i}{N}}. \quad (5.2)$$

Під час оброблення заготовок на налагодженому верстаті та досить великих значеннях вибірок ( $N > 25$ ) розподіл одержаних розмірів підпорядковується нормальному закону Гауса, диференціальна функція якого має вигляд

$$\varphi(X_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(X_i - \bar{X})^2}{2 \cdot \sigma^2}} \quad (5.3)$$

Тобто зазначений закон двопараметричний ( $\bar{X}$  та  $\sigma$ ), отже  $r = 2$ . Для зручності обчислень скористаємося формою таблиці 5.2.

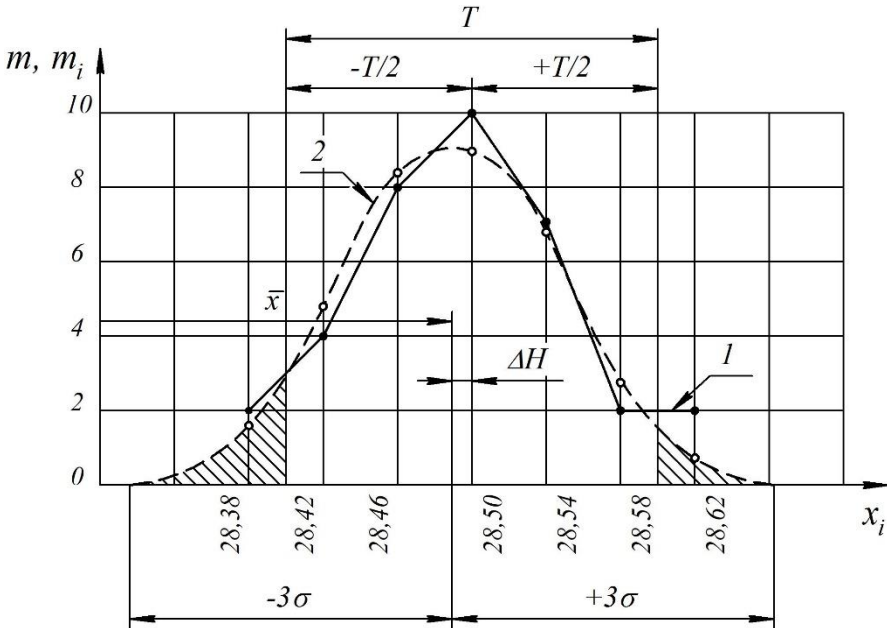


Рисунок 5.2 – Криві розсіювання розмірів

Таблиця 5.2

$X_i$	$m_i$	$X_i m_i$	$X_i - \bar{X}$	$\frac{(X_i - \bar{X})^2}{m_i}$	$t$	$\varphi(t)$	$\frac{h}{\sigma} \varphi(t)$	$m'_i$
28,38	2	56,76	-0,11	0,0242	-1,88	0,0681	0,0466	1,63
28,42	4	113,68	-0,07	0,0196	-1,20	0,1942	0,1330	4,66
28,46	8	227,68	-0,03	0,0072	-0,51	0,3503	0,2399	8,40
28,50	10	285,00	0,01	0,0010	0,17	0,3932	0,2693	9,43
28,54	7	199,78	0,05	0,0175	0,86	0,2756	0,1888	6,61
28,58	2	57,16	0,09	0,0162	1,54	0,1219	0,0835	2,92
28,62	2	57,24	0,13	0,0338	2,23	0,0332	0,0227	0,79
$\Sigma$	35	997,3		0,1195				

Тоді за формулами 5.1 та 5.2 одержимо

$$\bar{X} = \frac{997,3}{35} = 28,49 \text{ мм}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{0,1195}{35}} = 0,0584.$$

6.2. Визначимо теоретичні частоти  $m'_i$ .

Оскільки емпірична крива на вигляд наближається до теоретичної, можна вважати, що

$$\varphi(X_i) \approx \frac{m_i}{Nh}. \quad (5.4)$$

Під час заміни  $\frac{(X_i - \bar{X})}{\sigma} = t$

(5.5)

із рівнянь (5.3) та (5.4) одержимо

$$m'_i = \frac{N \cdot h}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad \text{або} \quad m'_i = N \cdot \frac{h}{\sigma} \cdot \varphi(t),$$

де  $\varphi(t)$  – нормована функція,

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}},$$

значення якої презентовані в додатку 3. У послідовності таблиці 5.2 визначимо значення частот теоретичної кривої  $m'_i$ .

6.3. За значеннями  $m'_i$  та  $X_i$  побудувати теоретичну криву розсіювання розмірів оброблених заготовок (рис. 5.2 крива 2). Порівняти емпіричні та теоретичні функції розподілу частот за критеріями узгодженості.

З метою перевірки відповідності досліджуваної емпіричної кривої обраному теоретичному закону можна використати критерій узгодженості Пірсона  $\chi^2$ . Зазвичай вважають, що криві узгоджуються, якщо ймовірність узгодженості більше 0,05. Якщо умова не виконується, то розбіжність вважають істотною й необхідно підібрати іншу теоретичну криву. Послідовність обчислення критерію Пірсона наведено в таблиці 5.3. Водночас необхідно об'єднати частоти, що трапляються менше 5 разів.

Таблиця 5.3

$m_i$	$m'_i$	$[m_i - m'_i]$	$[m_i - m'_i]^2$	$\frac{[m_i - m'_i]^2}{m'_i}$
2 } 4 } 6	1,63 } 4,66 } 6,29	0,29	0,0841	0,0134
8	8,400	0,40	0,1600	0,0190
10	9,43	0,57	0,3249	0,0345
7 } 2 } 2 } 11	6,61 } 2,92 } 0,79 } 10,32	0,68	0,4624	0,0230
				$\Sigma 0,1117$

Тоді

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{[m_i - m'_i]^2}{m'_i} = 0,1117.$$

Після знаходження  $\chi^2$  визначимо число ступенів свободи

$$K = n_{yz} - r = 1$$

де  $n_{yz}$  число узагальнених інтервалів,  $r$  – число параметрів теоретичної функції розподілу. Тоді  $K = 4 - 2 - 1 = 1$ .

З додатка В знаходимо, що при  $\chi^2=0,1117$  та  $K=1$   $P\chi^2=0,75$ , що значно більше прийнятого рівня  $0,05$ , тобто криві узгоджуються.

8. Визначити похибку налагодження верстата на заданий розмір.

8.1. Відкласти на графіку теоретичної функції розподілу (рис. 5.2) межі поля допуску  $\pm T/2$  та його середину.

8.2. Визначити похибку налагодження, як

$$\Delta H = \bar{X} - \frac{(D_{max} + D_{min})}{2} = 28,49 - 28,50 = -0,01 \text{ мм},$$

де  $D_{max}$ ,  $D_{min}$  – максимальний і мінімальний допустимі розміри оброблення.

9. Визначити відсоток браку.

Якщо випадкова величина  $X_i$  підпорядковується нормальному закону розподілу, то достовірно, що вона може набувати будь-яких чисельних значень у межах  $\pm\infty$ .

Імовірність достовірної події  $P(-\infty < X_i < \infty) = 1$ , однак ми можемо з більшою точністю обмежитися зоною, у меж якої ймовірність близька до одиниці:  $P(-3\sigma < X_i < 3\sigma) = 0,9997$ . Тому вважатимемо, що всі дійсні розміри заготовок з імовірністю  $0,9997$  знаходяться в межах  $6\sigma$ .

Відомо, що ймовірність являє собою площу під диференціальною кривою розподілу (5.3). Звідси очевидно, що ймовірність значень у будь-якому інтервалі  $X_A - X_B$  менше одиниці й дорівнює

$$P(X_A \leq X_i \leq X_B) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{X_A}^{X_B} e^{-\frac{(X_i - \bar{X})^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Для зручності обчислень таких інтегралів роблять заміну змінною  $X_i$  на  $t$ .

Тоді

$$P(D_{min} \leq X_i \leq D_{max}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (5.6)$$

де

$$t_1 = \frac{D_{min} - \bar{X}}{\sigma}; \quad t_2 = \frac{D_{max} - \bar{X}}{\sigma}.$$

Інтеграл у рівнянні (5.6) є нормованою функцією Лапласа, значення якої наведено в додатку 5. Тоді для верхньої межі поля допуску  $t_2$  відсоток браку дорівнює:

$$P_2 = [0,5 - \Phi(t_2)] \cdot 100 \%;$$

$$P_2 = 3,0 \%.$$

Це виправний брак.

Для нижньої межі  $t_1$ :

$$P_1 = [0,5 - \Phi(t_1)] \cdot 100 \%;$$

$$P_1 = 6,1 \%.$$

Брак невиправний.

10. Дати оцінку точності розглянутого способу виготовлення заготовок.

Для оцінювання точності процесу необхідно порівняти розкид розмірів  $6\sigma$  з допуском на ці розміри  $T$ . Точність процесу вважають достатньою або надмірною, якщо

$$6\sigma < T.$$

У прикладі  $6\sigma = 0,35$ , що більше  $T = 0,2$  мм, тобто точність процесу недостатня. Однак на практиці можливий брак навіть у разі надмірної точності процесу, якщо налагодження верстата було виконано з похибкою, величина якої перевищувала допустиме значення

$$\Delta H_g = T - 6G.$$

У цьому прикладі  $\Delta H_g = 0,2 - 0,35 = -0,15$  мм.

Від'ємне значення  $\Delta H_g$  підтверджує недостатню точність процесу.

Для порівняльної оцінки точності аналогічних операцій необхідно знати й коефіцієнт точності  $K_m$

$$K_m = \frac{6\sigma}{T} = \frac{0,35}{0,2} = 1,75.$$

У разі  $K_m \leq 1$  точність процесу достатня, а за умови  $K_m > 1$  – недостатня, що й спостерігається в прикладі.

11. За результатами проведених досліджень зробити висновки щодо точності оброблення заготовок на налагодженому верстаті.

#### **5.4. Питання для контролю**

1. Класифікація похибок, що виникають під час механічного оброблення.
2. Методи оцінювання точності оброблення заготовок.
3. Переваги та недоліки статистичних методів оцінки точності за кривими розсіювання та точковими діаграмами.
4. Закони розподілення випадкових похибок.
5. Інтегральна та диференційна функції закону Гауса.
6. Нормування функції Лапласа.
7. Критерій узгодженості Пірсона.
8. Методи визначення відсотка браку.
9. Визначення похибки налагодження.
10. Показники оцінювання точності механічного оброблення заготовок.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2232-93 Базування та бази в машинобудуванні. Терміни та визначення.
2. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М. Технологічні основи машинобудування : підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2020. 379 с.
3. Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. Основи технології машинобудування : навч. посіб. Вінниц. нац. техн. ун-т. Вінниця : ВНТУ, [2015]. Частина 2 : Практикум, 2015. 115 с.

# ДОДАТОК А

Терміни та визначення згідно з ДСТУ 2232-93

## 1. Загальні поняття

*Базування* – надання заготовці або виробу потрібного положення відносно вибраної системи координат.

*База (базувальна поверхня)* – поверхня (рис. А.1 а, б) або поєднання поверхонь (рис. А.2 а, б), вісь, точка, яка належить заготовці або виробу та використовується для базування.

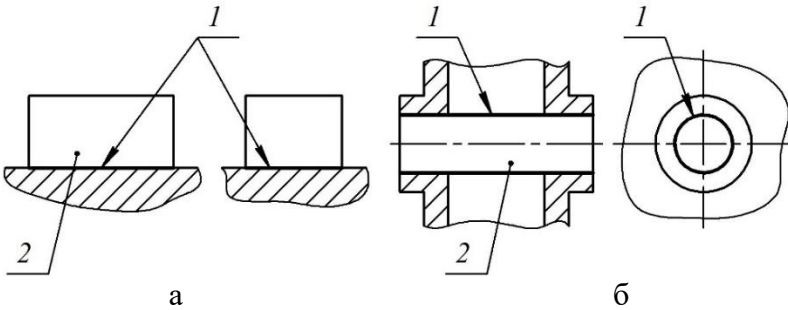


Рисунок А.1 – База: 1 – базувальна поверхня, 2 – деталь

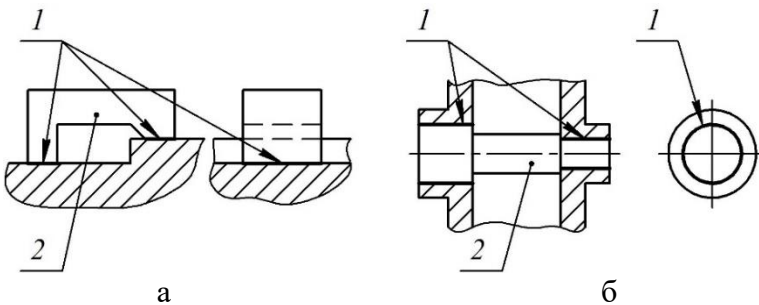


Рисунок А.2 – База (поєднання поверхонь):

1 – базувальна поверхня, 2 – деталь

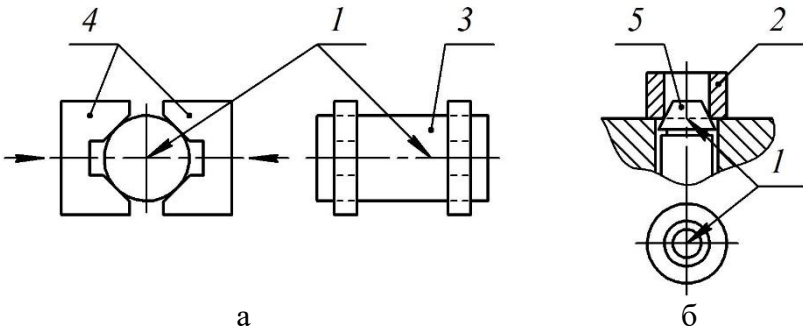


Рисунок А.3 – База (вісь і точка): 1 – базувальна поверхня, 2 – деталь, 3 – заготовка, 4 – губки самоцентрівних лещат, 5 – центрівний конус приладу

*Комплект баз* – сукупність трьох баз, які утворюють систему координат заготовки чи виробу (рис. А.4).

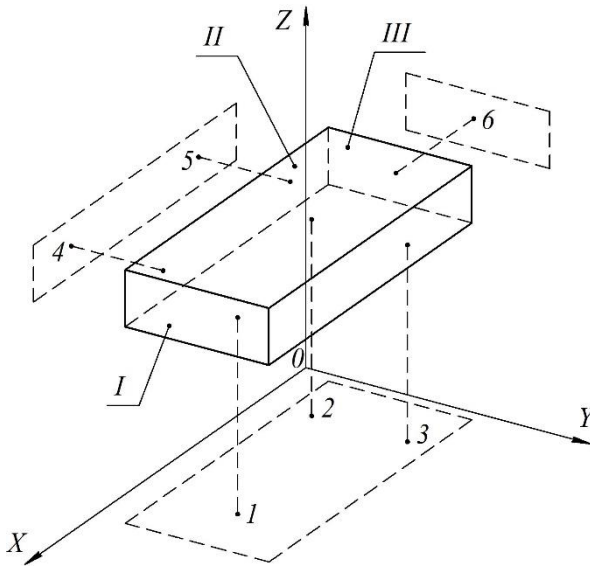


Рисунок А.4 – Комплект баз призматичної деталі: I, II, III – бази деталі

Опорна точка – точка, що символізує один із зв'язків заготовки чи виробу з вибраною системою координат (рис. А.5).

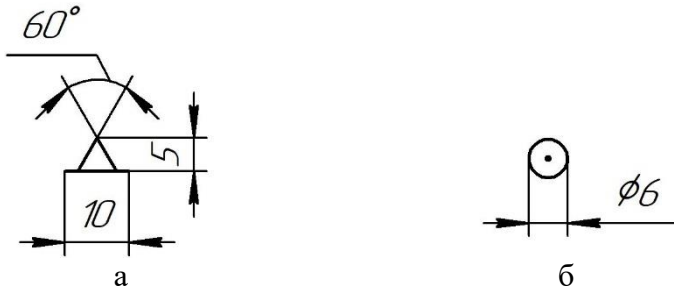


Рисунок А.5 – Умовне зображення опорних точок:  
*a* – на вигляді спереду і збоку, *б* – на вигляді зверху

Схема базування – схема розташування опорних точок на базах (рис. А.6).

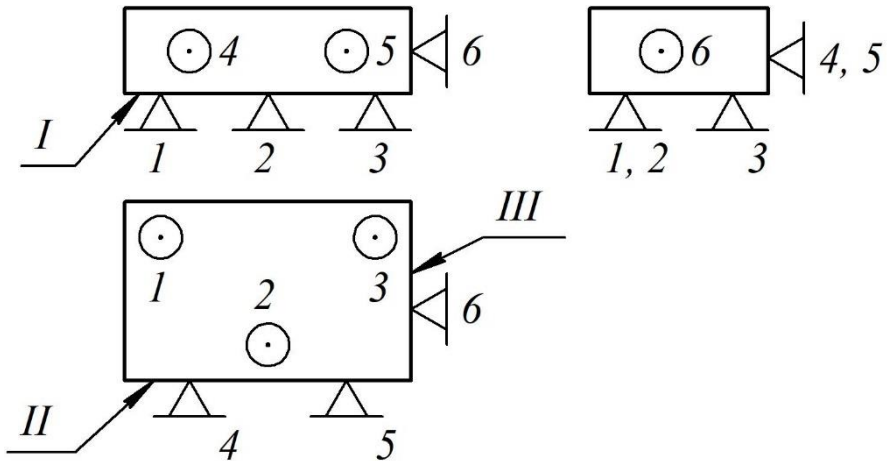


Рисунок А.6 – Схема базування призматичної деталі:  
*I, II, III* – бази деталі, *1–6* – опорні точки

*Зміна баз* – заміна одних баз іншими зі збереженням їх належності до конструкторських, технологічних чи вимірювальних баз.

*Похибка базування* – відхилення фактично досягнутого положення заготовки чи виробу в процесі базування від потрібного.

*Закріплення* – прикладення сил та пар сил до заготовки чи виробу для забезпечення сталості їх положення, досягнутого в процесі базування.

*Установлення* – базування та закріплення заготовки чи виробу.

*Похибка установлення* – відхилення фактично досягнутого положення заготовки чи виробу в процесі установлення від потрібного.

## **2 Види баз**

### **2.1 За призначенням**

*Конструкторська база (складальна база)* – база, яку використовують для визначення положення деталі чи складальної одиниці у виробі.

*Основна база* – конструкторська база даної деталі чи складальної одиниці, що використовують для визначення їх положення у виробі (рис. А.7, А.8, А.9).

*Допоміжна база* – конструкторська база даної деталі чи складальної одиниці, яку використовують для визначення положення приєднуваного до них виробу (рис. А.10).

*Технологічна база (установча база)* – база, яку використовують для визначення положення заготовки чи виробу в процесі виготовлення або ремонту.

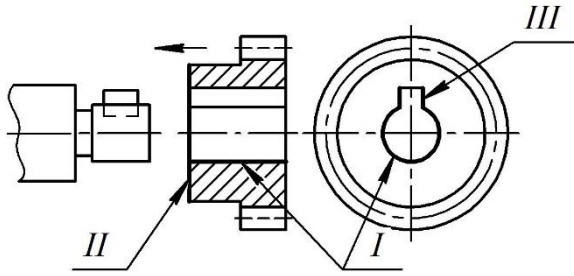


Рисунок А.7 – Комплект основних баз шестерні: *I, II, III*

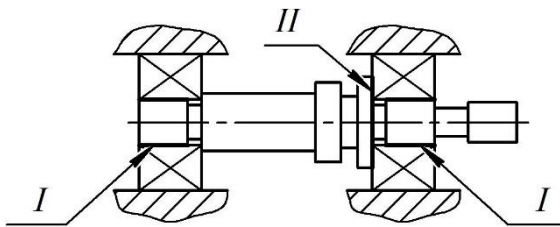


Рисунок А.8 – Основні бази вала: *I, II*

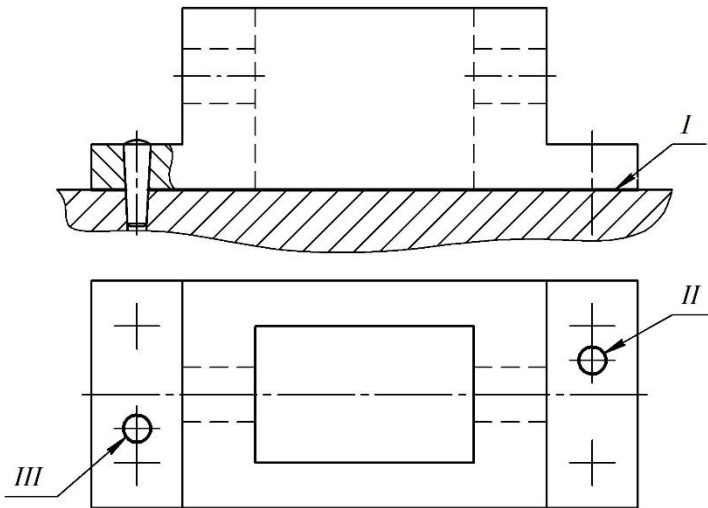


Рисунок А.9 – Комплект основних баз корпусної деталі: *I, II, III*

*Вимірювальна база (контрольна база)* – база, яку використовують для визначення відносного положення заготовки чи виробу та засобів вимірювання.

## **2.2 За позбавленням ступенів вільності**

*Установча база* – база, що використовують для накладення на заготовку чи виріб зв'язків, які позбавляють їх трьох ступенів вільності – переміщення уздовж однієї координатної осі та повертання навколо двох інших осей.

*Напрямна база* – база, яку використовують для накладення на заготовку чи виріб зв'язків, що позбавляють їх двох ступенів вільності – переміщення уздовж однієї координатної осі та повертання навколо іншої осі.

*Опорна база* – база, що використовують для накладення на заготовку чи виріб зв'язків, які позбавляють їх одного ступеня вільності – переміщення уздовж однієї координатної осі або повертання навколо осі.

*Подвійна напрямна база* – база, яку використовують для накладення на заготовку чи виріб зв'язків, що позбавляють їх чотирьох ступенів вільності – переміщень уздовж двох координатних осей та повертання навколо цих осей.

*Подвійна опорна база* – база, що використовують для накладення на заготовку чи виріб зв'язків, які позбавляють їх двох ступенів вільності – переміщень уздовж двох координатних осей.

## **2.3 За характером проявлення**

*Прихована база* – база у вигляді уявної площини, осі чи точки.

*Неприхована база* – база у вигляді реальної поверхні, розмічувальної риски чи точки перетину ризок.

# Класифікація баз

## А. За призначенням

Конструкторська:

основна

допоміжна

Технологічна

Вимірювальна

## Б. За позбавленням ступенів вільності

Установна

Напрямна

Опорна

Подвійна

напрямна

Подвійна

опорна

## В. За характером проявлення

Прихована

Неприхована

Рисунок А.1 – Класифікація баз



## ДОДАТОК Б

Таблица значений  $\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}$

<i>t</i>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>
<b>0,0</b>	0,3989	0,3989	0,3986	0,3982	0,3977
<b>0,2</b>	0,3910	0,3894	0,3867	0,3856	0,3836
<b>0,4</b>	0,3683	0,3653	0,3621	0,3589	0,3555
<b>0,6</b>	0,3332	0,3292	0,3251	0,3209	0,3166
<b>0,7</b>	0,3123	0,3079	0,3034	0,2989	0,2943
<b>0,8</b>	0,2897	0,2850	0,2803	0,2755	0,2709
<b>0,9</b>	0,2661	0,2613	0,2565	0,2565	0,2468
<b>1,0</b>	0,2420	0,2372	0,2323	0,2275	0,2227
<b>1,1</b>	0,2179	0,2131	0,2083	0,2036	0,1989
<b>1,2</b>	0,1942	0,1895	0,1849	0,1804	0,1758
<b>1,3</b>	0,1714	0,1669	0,1624	0,1582	0,1539
<b>1,4</b>	0,1497	0,1456	0,1415	0,1374	0,1334
<b>1,5</b>	0,1295	0,1257	0,1219	0,1182	0,1145
<b>1,6</b>	0,1109	0,1074	0,1040	0,1006	0,0973
<b>1,7</b>	0,0940	0,0909	0,0878	0,0848	0,0818
<b>1,8</b>	0,0790	0,0761	0,0734	0,0707	0,0681
<b>1,9</b>	0,9656	0,0632	0,0608	0,0584	0,0562
<b>2,0</b>	0,0540	0,0569	0,0498	0,0478	0,0459
<b>2,1</b>	0,0440	0,0422	0,0404	0,0387	0,0371
<b>2,2</b>	0,0355	0,0339	0,0325	0,0310	0,0297
<b>2,3</b>	0,0289	0,0270	0,0268	0,0246	0,0235
<b>2,4</b>	0,0224	0,0213	0,0203	0,0194	0,0184
<b>2,5</b>	0,0175	0,0167	0,0158	0,0151	0,0143
<b>2,6</b>	0,0136	0,0129	0,0122	0,0116	0,0110
<b>2,7</b>	0,0104	0,0099	0,0093	0,0088	0,0084
<b>2,8</b>	0,0078	0,0075	0,0071	0,0067	0,0063
<b>2,9</b>	0,0060	0,0056	0,0053	0,0050	0,0047
<b>3,0</b>	0,0044	0,0042	0,0039	0,0037	0,0035
<b>3,1</b>	0,0033	0,0031	0,0029	0,0027	0,0025
<b>3,2</b>	0,0024	0,0022	0,0021	0,0020	0,0018
<b>3,3</b>	0,0017	0,0016	0,0015	0,0014	0,0013
<b>3,4</b>	0,0012	0,0012	0,0011	0,0010	0,0009
<b>3,5</b>	0,0009	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007
<b>3,6</b>	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005
<b>3,7</b>	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003
<b>3,8</b>	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002
<b>3,9</b>	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001

## ДОДАТОК В

Таблиця ймовірностей  $P$  для критерію  $\chi^2$

$x$	$\Phi(x)$	$x$	$\Phi(x)$	$x$	$\Phi(x)$	$x$	$\Phi(x)$	$x$	$\Phi(x)$	$x$	$\Phi(x)$
<b>0,00</b>	0,0000	<b>0,50</b>	0,1915	<b>1,00</b>	0,3413	<b>1,50</b>	0,4332	<b>2,00</b>	0,4772	<b>3,00</b>	0,49865
<b>0,01</b>	0,0040	<b>0,51</b>	0,1950	<b>1,01</b>	0,3438	<b>1,51</b>	0,4345	<b>2,01</b>	0,4783	<b>3,01</b>	0,49931
<b>0,02</b>	0,0080	<b>0,52</b>	0,1985	<b>1,02</b>	0,3461	<b>1,52</b>	0,4357	<b>2,02</b>	0,4793	<b>3,02</b>	0,49966
<b>0,03</b>	0,0120	<b>0,53</b>	0,2019	<b>1,03</b>	0,3485	<b>1,53</b>	0,4370	<b>2,03</b>	0,4803	<b>3,03</b>	0,499841
<b>0,04</b>	0,0160	<b>0,54</b>	0,2054	<b>1,04</b>	0,3508	<b>1,54</b>	0,4382	<b>2,04</b>	0,4812	<b>3,04</b>	0,499928
<b>0,05</b>	0,0199	<b>0,55</b>	0,2088	<b>1,05</b>	0,3531	<b>1,55</b>	0,4394	<b>2,05</b>	0,4821	<b>3,05</b>	0,499968
<b>0,06</b>	0,0239	<b>0,56</b>	0,2123	<b>1,06</b>	0,3554	<b>1,56</b>	0,4406	<b>2,06</b>	0,4830	<b>3,06</b>	0,499997
<b>0,07</b>	0,0279	<b>0,57</b>	0,2157	<b>1,07</b>	0,3577	<b>1,57</b>	0,4418	<b>2,07</b>	0,4838	<b>3,07</b>	0,499997
<b>0,08</b>	0,0319	<b>0,58</b>	0,2190	<b>1,08</b>	0,3599	<b>1,58</b>	0,4429	<b>2,08</b>	0,4846		
<b>0,09</b>	0,0359	<b>0,59</b>	0,2224	<b>1,09</b>	0,3621	<b>1,59</b>	0,4441	<b>2,09</b>	0,4854		
<b>0,10</b>	0,0398	<b>0,60</b>	0,2257	<b>1,10</b>	0,3643	<b>1,60</b>	0,4452	<b>2,10</b>	0,4861		
<b>0,11</b>	0,0438	<b>0,61</b>	0,2291	<b>1,11</b>	0,3665	<b>1,61</b>	0,4463	<b>2,11</b>	0,4868		
<b>0,12</b>	0,0478	<b>0,62</b>	0,2324	<b>1,12</b>	0,3686	<b>1,62</b>	0,4474	<b>2,12</b>	0,4875		
<b>0,13</b>	0,0517	<b>0,63</b>	0,2357	<b>1,13</b>	0,3708	<b>1,63</b>	0,4484	<b>2,13</b>	0,4881		
<b>0,14</b>	0,0557	<b>0,64</b>	0,2389	<b>1,14</b>	0,3729	<b>1,64</b>	0,4495	<b>2,14</b>	0,4887		
<b>0,15</b>	0,0596	<b>0,65</b>	0,2422	<b>1,15</b>	0,3749	<b>1,65</b>	0,4505	<b>2,15</b>	0,4893		
<b>0,16</b>	0,0636	<b>0,66</b>	0,2454	<b>1,16</b>	0,3770	<b>1,66</b>	0,4515	<b>2,16</b>	0,4898		
<b>0,17</b>	0,0675	<b>0,67</b>	0,2486	<b>1,17</b>	0,3790	<b>1,67</b>	0,4525	<b>2,17</b>	0,4904		
<b>0,18</b>	0,0714	<b>0,68</b>	0,2517	<b>1,18</b>	0,3810	<b>1,68</b>	0,4535	<b>2,18</b>	0,4909		
<b>0,19</b>	0,0753	<b>0,69</b>	0,2549	<b>1,19</b>	0,3830	<b>1,69</b>	0,4545	<b>2,19</b>	0,4913		
<b>0,20</b>	0,0793	<b>0,70</b>	0,2580	<b>1,20</b>	0,3849	<b>1,70</b>	0,4554	<b>2,20</b>	0,4918		
<b>0,21</b>	0,0832	<b>0,71</b>	0,2611	<b>1,21</b>	0,3869	<b>1,71</b>	0,4564	<b>2,21</b>	0,4922		

## ДОДАТОК Г

Значення функції Лапласа  $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t}{2}} dx$

<b>x</b>	<b>Φ(x)</b>	<b>x</b>	<b>Φ(x)</b>	<b>x</b>	<b>Φ(x)</b>	<b>x</b>	<b>Φ(x)</b>	<b>x</b>	<b>Φ(x)</b>	<b>x</b>	<b>Φ(x)</b>
<b>0,00</b>	0,0000	<b>0,50</b>	0,1915	<b>1,00</b>	0,3413	<b>1,50</b>	0,4332	<b>2,00</b>	0,4772	<b>3,00</b>	0,49865
<b>0,01</b>	0,0040	<b>0,51</b>	0,1950	<b>1,01</b>	0,3438	<b>1,51</b>	0,4345	<b>2,02</b>	0,4783	<b>3,20</b>	0,49931
<b>0,02</b>	0,0080	<b>0,52</b>	0,1985	<b>1,02</b>	0,3461	<b>1,52</b>	0,4357	<b>2,04</b>	0,4793	<b>3,40</b>	0,49966
<b>0,03</b>	0,0120	<b>0,53</b>	0,2019	<b>1,03</b>	0,3485	<b>1,53</b>	0,4370	<b>2,06</b>	0,4803	<b>3,60</b>	0,499841
<b>0,04</b>	0,0160	<b>0,54</b>	0,2054	<b>1,04</b>	0,3508	<b>1,54</b>	0,4382	<b>2,08</b>	0,4812	<b>3,80</b>	0,499928
<b>0,05</b>	0,0199	<b>0,55</b>	0,2088	<b>1,05</b>	0,3531	<b>1,55</b>	0,4394	<b>2,10</b>	0,4821	<b>4,00</b>	0,499968
<b>0,06</b>	0,0239	<b>0,56</b>	0,2123	<b>1,06</b>	0,3554	<b>1,56</b>	0,4406	<b>2,12</b>	0,4830	<b>4,50</b>	0,499997
<b>0,07</b>	0,0279	<b>0,57</b>	0,2157	<b>1,07</b>	0,3577	<b>1,57</b>	0,4418	<b>2,14</b>	0,4838	<b>5,00</b>	0,499997
<b>0,08</b>	0,0319	<b>0,58</b>	0,2190	<b>1,08</b>	0,3599	<b>1,58</b>	0,4429	<b>2,16</b>	0,4846		
<b>0,09</b>	0,0359	<b>0,59</b>	0,2224	<b>1,09</b>	0,3621	<b>1,59</b>	0,4441	<b>2,18</b>	0,4854		
<b>0,10</b>	0,0398	<b>0,60</b>	0,2257	<b>1,10</b>	0,3643	<b>1,60</b>	0,4452	<b>2,20</b>	0,4861		
<b>0,11</b>	0,0438	<b>0,61</b>	0,2291	<b>1,11</b>	0,3665	<b>1,61</b>	0,4463	<b>2,22</b>	0,4868		
<b>0,12</b>	0,0478	<b>0,62</b>	0,2324	<b>1,12</b>	0,3686	<b>1,62</b>	0,4474	<b>2,24</b>	0,4875		
<b>0,13</b>	0,0517	<b>0,63</b>	0,2357	<b>1,13</b>	0,3708	<b>1,63</b>	0,4484	<b>2,26</b>	0,4881		
<b>0,14</b>	0,0557	<b>0,64</b>	0,2389	<b>1,14</b>	0,3729	<b>1,64</b>	0,4495	<b>2,28</b>	0,4887		
<b>0,15</b>	0,0596	<b>0,65</b>	0,2422	<b>1,15</b>	0,3749	<b>1,65</b>	0,4505	<b>2,30</b>	0,4893		
<b>0,16</b>	0,0636	<b>0,66</b>	0,2454	<b>1,16</b>	0,3770	<b>1,66</b>	0,4515	<b>2,32</b>	0,4898		
<b>0,17</b>	0,0675	<b>0,67</b>	0,2486	<b>1,17</b>	0,3790	<b>1,67</b>	0,4525	<b>2,34</b>	0,4904		
<b>0,18</b>	0,0714	<b>0,68</b>	0,2517	<b>1,18</b>	0,3810	<b>1,68</b>	0,4535	<b>2,36</b>	0,4909		
<b>0,19</b>	0,0753	<b>0,69</b>	0,2549	<b>1,19</b>	0,3830	<b>1,69</b>	0,4545	<b>2,38</b>	0,4913		
<b>0,20</b>	0,0793	<b>0,70</b>	0,2580	<b>1,20</b>	0,3849	<b>1,70</b>	0,4554	<b>2,40</b>	0,4918		
<b>0,21</b>	0,0832	<b>0,71</b>	0,2611	<b>1,21</b>	0,3869	<b>1,71</b>	0,4564	<b>2,42</b>	0,4922		

Електронне навчальне видання

**6036 Методичні вказівки**  
до виконання лабораторних робіт  
із дисципліни  
**«Теоретичні основи технології виробництва деталей  
та складання машин»**  
для здобувачів спеціальності 131 *«Прикладна механіка»*  
(ОПП «Технології машинобудування»)  
усіх форм здобуття вищої освіти

Відповідальна за випуск В. О. Іванов  
Редакторка О. Ф. Дубровіна  
Комп'ютерне верстання А. О. Нешта

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 3,95. Обл.-вид. арк. 3,58.

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Харківська, 116, м. Суми, 40007  
Свідоцтво про внесення суб'єкта господарювання до Державного реєстру видавців,  
виготовлювачів та розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 8193 від 15.10.2024.