

О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко,  
В. П. Пурдик, С. В. Репінський, Г. О. Черноволик

# **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко,  
В. П. Пурдик, С. В. Репінський, Г. О. Черноволик**

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ  
ТА СКЛАДАННЯ МАШИН**

Затверджено Вченою радою Вінницького національного технічного університету як лабораторний практикум для студентів напрямку підготовки 0902 – “Інженерна механіка”. Протокол № 11 від 25 травня 2006 р.

Вінниця ВНТУ 2006

УДК 621.002(076.5)

Т 33

Рецензенти:

***В. Ф. Анісімов***, доктор технічних наук, професор

***Р. Д. Іскович-Лотоцький***, доктор технічних наук, професор

***В. І. Савуляк***, доктор технічних наук, професор

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

**О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко, В. П. Пурдик,  
С. В. Репінський, Черноволик Г. О.**

Т 33 Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин Лабораторний практикум. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 118 с.

В лабораторний практикум увійшли 16 лабораторних робіт, які охоплюють основні розділи дисципліни “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин”. Він у повній мірі відповідає навчальній програмі цієї дисципліни.

Основна частина робіт присвячена питанням забезпечення якості деталей в процесі механічної обробки заготовок, застосуванню статистичних методів у машинобудуванні. В решті робіт розглядається технічне нормування операцій механічної обробки і забезпечення точності складання машин. Всі роботи передбачають виконання експериментів.

УДК 621.002(076.5)

© О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, О. М. Мироненко,  
В. П. Пурдик, С. В. Репінський, Г. О. Черноволик, 2006

## ПЕРЕДМОВА

В лабораторний практикум увійшли 16 лабораторних робіт, які охоплюють основні розділи дисципліни “Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин” (ТОТВДСМ). Більша частина робіт присвячена питанням забезпечення якості деталей в процесі механічної обробки заготовок і застосуванню статистичних методів у машинобудуванні. В решті робіт розглядається технічне нормування операцій механічної обробки і забезпечення точності складання машин. Всі роботи передбачають виконання експериментів.

Структурне розміщення лабораторних робіт у практикумі, в основному, відповідає черговості їх виконання під час вивчення дисципліни. В кожній лабораторній роботі вказується мета її виконання, наводяться основні теоретичні положення, які її стосуються, наводяться методика і порядок виконання роботи, перелік рекомендованих до використання приладів та обладнання, зміст звіту, питання для самоперевірки, рекомендована література.

Зміст кожної з лабораторних робіт супроводжується необхідними для її виконання нормативними й довідковими матеріалами.

Для теоретичних розрахунків та оброблення результатів експериментів в частині лабораторних робіт використовуються спеціальні комп’ютерні програми. На ці програми є посилання в текстах відповідних робіт.

Лабораторний практикум є узагальненням багаторічної роботи колективу кафедри “Технологія та автоматизація машинобудування” (ТАМ) Вінницького національного технічного університету.

Автори висловлюють щирі вдячність професору Савуляку В. І. та доценту Дівеєву Ю. М., які брали участь у постановці частини лабораторних робіт, а також завідувачу лабораторіями кафедри ТАМ Кубаю О. І. за активну й кваліфіковану роботу з упровадження лабораторних робіт у навчальний процес.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
<i>Лабораторна робота №1</i> Визначення показників геометричної точності вертикально-свердлильного верстата (О. В. Дерібо, С. В. Репінський).....	7
<i>Лабораторна робота №2</i> Дослідження базування заготовок у системі прямокутних координат (Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо).....	12
<i>Лабораторна робота №3</i> Дослідження похибки базування, що виникає під час установавання партії заготовок у призму (О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк).....	17
<i>Лабораторна робота №4</i> Статистичний аналіз точності механічної обробки за допомогою кривих розподілу (О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, Г. О. Черноволик).....	23
<i>Лабораторна робота №5</i> Визначення похибки закріплення заготовки в трикулачковому самоцентрувальному спірально-рейковому патроні (О. В. Дерібо, О. М. Мироненко, В. П. Пурдик).....	34
<i>Лабораторна робота №6</i> Визначення похибки закріплення, яка виникає з установаванням тонкостінного кільця в трикулачковий самоцентрувальний патрон (Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський).....	38
<i>Лабораторна робота №7</i> Визначення жорсткості вузлів токарного верстата (Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський).....	45
<i>Лабораторна робота №8</i> Дослідження похибки механічної обробки, що спричиняється деформаціями системи ВПД від дії сили різання (Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо, С. В. Репінський).....	54
<i>Лабораторна робота №9</i> Дослідження вібрацій у системі ВПД (О. В. Дерібо, В. П. Пурдик).....	60
<i>Лабораторна робота №10</i> Визначення статистичних характеристик точності технологічного переходу за допомогою методу точкових діаграм (О. В. Дерібо, Г. О. Черноволик).....	65

<i>Лабораторна робота № 11</i> Настроювання токарного верстата за допомогою способу пробних заготовок (О. В. Дерібо, О. М. Мироненко).....	71
<i>Лабораторна робота №12</i> Визначення похибки установлення інструмента на еталон, як складової похибки настроєння (О. В. Дерібо, О. М. Мироненко).....	75
<i>Лабораторна робота №13</i> Дослідження можливостей керування пружними зміщеннями в системі ВПД зміненням подачі (О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, Г. О.Черноволик).....	78
<i>Лабораторна робота №14</i> Дослідження впливу режимів різання на шорсткість проточеної поверхні (Ж.П. Дусанюк).....	83
<i>Лабораторна робота №15</i> Визначення норми часу операції механічної обробки у серійному виробництві (Ж. П. Дусанюк, О. В. Дерібо).....	89
<i>Лабораторна робота №16</i> Досягнення точності складання методами повної й неповної взаємозамінності (О. В. Дерібо, Г. О. Черноволик)....	94
Література.....	101
Додатки.....	103

## ВСТУП

Навчальна дисципліна ТОТВДСМ є однією з основних дисциплін напряму підготовки 0902 – “Інженерна механіка” і базовою дисципліною спеціальностей 7.090202 – “Технологія машинобудування” та 7.090203 – “Металорізальні верстати та системи”.

Предметом дисципліни є вивчення закономірностей, які діють в процесах механічної обробки заготовок та складання машин, і опанування практичними навиками застосування цих закономірностей для забезпечення проектної якості виробів, найменшої їх собівартості; запланованого обсягу випуску.

Таким чином, в ТОТВДСМ розглядаються загальні положення про зв'язки та закономірності виробничого процесу створення якісної й економічної машини. Викладається також суть технічних і техніко-економічних заходів, за допомогою яких забезпечується необхідні показники якості машини, продуктивності праці й собівартості.

Надзвичайно важливим є зв'язок дисципліни ТОТВДСМ з такими дисциплінами, як “Теоретична механіка”, “Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство”, “Теорія різання”, “Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання”, “Обладнання та транспорт металообробних цехів”. Вирішення технологічних питань без ґрунтовних знань з цих дисциплін взагалі неможливе.

Дисципліна ТОТВДСМ є однією з базових для вивчення таких спеціальних дисциплін, як “Технологія обробки типових деталей та складання машин”, “Технологічна оснастка”, “Основи автоматизації виробництва”, “Технологічні основи гнучкого автоматизованого виробництва”, “Проектування пристосувань”, “Програмування верстатів з ЧПК” та інших, а також для курсового й дипломного проектування.

Метою виконання лабораторних робіт є закріплення й поглиблення теоретичних знань з дисципліни, а також опанування основ проведення експериментів у технології машинобудування.

До виконання лабораторних робіт допускаються лише підготовлені студенти. Рівень підготовки визначається викладачем за допомогою попереднього опитування. Результатом опитування є оцінка, яка виставляється у відповідності з положенням про кредитно-модульну систему навчання з дисципліни.

Працювати в лабораторіях дозволяється лише тим студентам, які пройшли інструктаж з техніки безпеки, склали залік і розписались у відповідному журналі.

## *Лабораторна робота №1*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ТОЧНОСТІ ВЕРТИКАЛЬНО-СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТА**

**Мета роботи** – оволодіння методикою вимірювань і аналізу показників геометричної точності верстатів (на прикладі вертикально-свердлильного верстата).

#### **1.1. Загальні положення**

Точність верстата у ненавантаженому стані називають його геометричною точністю. Оскільки верстат виконує своє службове призначення за допомогою поверхонь, які називають **виконавчими**, то очевидно, що його геометрична точність визначається розмірами, точністю відносного розташування, точністю форми і показниками мікрогеометрії саме виконавчих поверхонь.

Виконавчими поверхнями вертикально-свердлильного верстата, є робоча площина столу і конічний отвір (конус Морзе) шпинделя.

Дійсні значення показників точності виконавчих поверхонь залежать від точності виготовлення деталей та вузлів і точності їх складання.

Показники геометричної точності верстатів безпосередньо впливають на точність механічної обробки. Тому норми точності та способи визначення дійсних значень її показників регламентуються державними стандартами. Відповідність нормам точності контролюється під час виготовлення верстатів і періодично – під час їх експлуатації.

Визначаючи кількісні значення показників геометричної точності верстата, спочатку слід виміряти показники макрогеометричних відхилень (відхилення від прямолінійності, площинності, циліндричності, круглості та ін.). Переконавшись, що ці показники знаходяться в допустимих межах, визначають кількісні значення показників точності відносного розташування (перпендикулярність, паралельність, співвісність та ін.).

#### **1.2. Обладнання, інструменти та пристрої**

1. Вертикально-свердлильний верстат.
2. Набір плоско-паралельних мір довжини.
3. Перевірна лінійка.
4. Індикатор годинникового типу (ціна поділки 0,001 мм), закріплений на магнітному стояку.
5. Спеціальна циліндрична оправка з конічним хвостовиком, який відповідає конічному отвору шпинделя.



### 1.3. Методика й порядок виконання роботи

1. Одержати пристрої та вимірювальні інструменти.
2. Переконались, що верстат **відімкнений** від електричної мережі.
3. Виміряти відхилення від площинності робочої поверхні столу.

Для цього у двох протилежних точках робочої поверхні 1 столу (рис. 1.1) встановити дві опори однакової висоти  $h_1$  (наприклад, два блоки плоско-паралельних мір довжини розміром 10 мм) і покласти на них робочою гранню перевірну лінійку 2. За допомогою ще одного блока 3 плоско-паралельних мір довжини  $h_2$  знайти найбільшу (якщо поверхня ввігнута) або найменшу (якщо поверхня опукла) відстань між лінійкою і поверхнею столу. Визначити відхилення від площинності робочої поверхні столу у даному напрямі за однією з формул:

$$\Delta h = h_1 - h_2 \text{ (якщо поверхня опукла), або}$$

$$\Delta h = h_1 - h_1 \text{ (якщо поверхня ввігнута).}$$

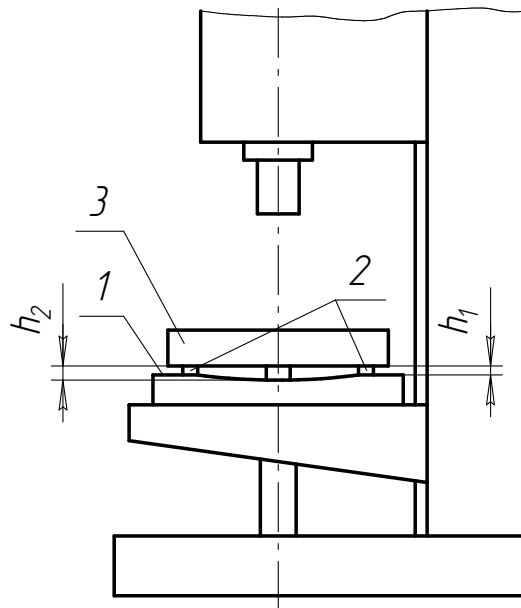


Рис. 1.1. Схема вимірювання відхилення від площинності робочої поверхні столу

Вимірювання повторити з розташуванням лінійки у декількох різних напрямках і знайти максимальне значення  $\Delta h_{\max}$  відхилення від площинності. Результати вимірювань занести у таблицю 1.1, зробити висновок з урахуванням того, що будь-яке відхилення робочої поверхні столу від площинності в сторону опуклості неприпустиме.

4. Виміряти радіальне биття осі конічного отвору шпинделя відносно осі обертання шпинделя.

Для цього в конічний отвір шпинделя щільно вставити хвостовик циліндричної оправки 1 (рис. 1.2), а стояк індикатора 2 встановити на столі 3 й налагодити так, щоб його вимірювальний штифт торкався поверхні оправки на відстані 100 мм від торця шпинделя. Далі, плавно і повільно обертаючи шпандель (**вручну!**), визначити радіальне биття і записати його значення у таблицю результатів вимірювань. Порівнявши отримане значення радіального биття з нормативним, зробити висновок.

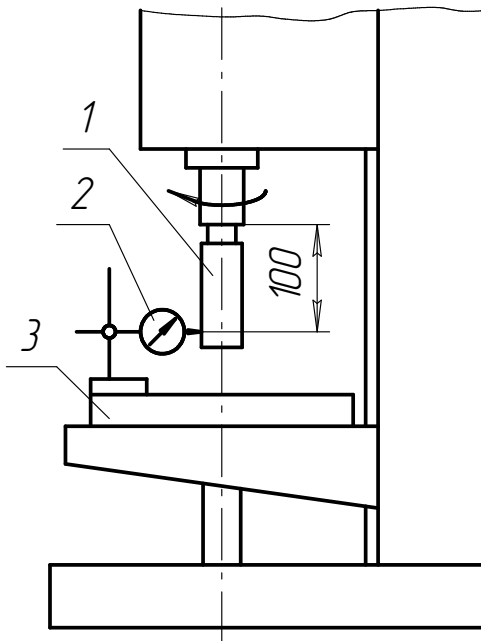


Рис. 1.2. Схема вимірювання радіального биття осі конічного отвору шпинделя відносно осі обертання шпинделя

5. Виміряти відхилення від перпендикулярності осі обертання шпинделя до робочої площини столу.

Для цього встановити у двох протилежних точках робочої поверхні 1 столу (рис.1.3) в поздовжній площині верстата два блоки плоскопаралельних мір однакової висоти і покласти на них робочою гранню перевірну лінійку 2. В конічний отвір шпинделя щільно вставити хвостовик оправки 3, на якій закріпити державку з індикатором 2 таким чином, щоб його вимірювальний штифт знаходився на відстані 150 мм від осі оправки 3. Потім опустити піноль верстата до доторкання вимірювального наконечника індикатора верхньої грані лінійки й зафіксувати показ індикатора. Далі з незмінним положенням пінолі повернути шпиндель на  $180^\circ$  і знову зафіксувати показ індикатора. Визначити шукане відхилення як різницю показів індикатора в точках  $a$  і  $a_1$ . Після цього аналогічні вимірювання ви-

конати у поздовжній площині (точки  $b$  і  $b_1$ ). Отримані значення записати в таблицю результатів вимірювань, зробити висновки.

6. Виміряти відхилення від паралельності осі обертання шпинделя й

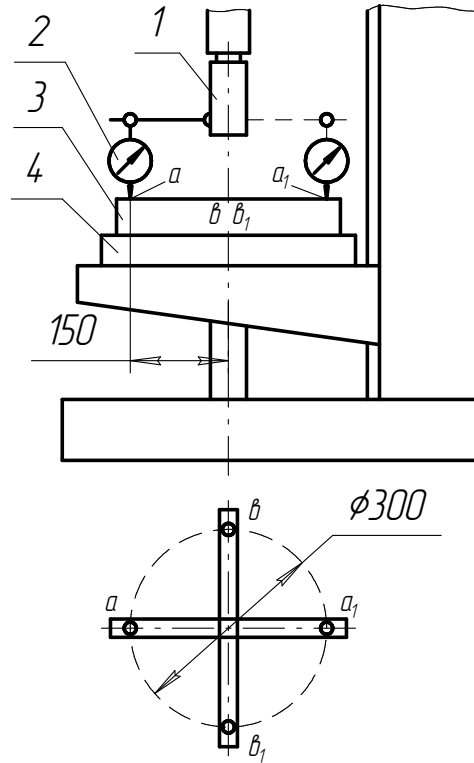


Рис. 1.3. Схема вимірювання відхилення від перпендикулярності осі обертання шпинделя до робочої площини столу

напрямку переміщення гільзи.

Для цього в конічний отвір шпинделя щільно вставити хвостовик оправки 1 (рис. 1.4). Магнітний стояк з індикатором 2 установити так, щоб його вимірювальний штифт торкався твірної оправки, що лежить у поздовжній площині верстата у верхній її (оправки) частині. Плавню обертаючи шпиндель з оправкою, знайти одне з максимальних відхилень показів індикатора і встановити його стрілку на “0” (т.  $A_1$ ). Плавню повернути шпиндель верстата на  $180^\circ$  (т.  $A_2$ ), записати показ індикатора. Повернути шпиндель у вихідне положення і підняти гільзу на 100 мм (т.  $B_1$ ) і записати показ індикатора. Повернути шпиндель на  $180^\circ$  і записати показ індикатора (т.  $B_2$ ). Знайти шукане відхилення на довжині 100 мм за формулою

$$\Delta = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{b_1 + b_2}{2},$$

де  $a_1, a_2, b_1, b_2$  – покази індикатора відповідно в точках  $A_1, A_2, B_1, B_2$ .

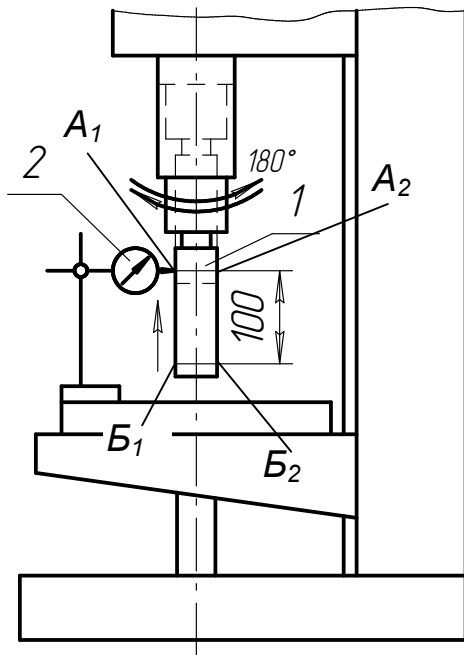


Рис. 1.4. Схема вимірювання відхилення від паралельності осі обертання шпинделя й напрямку переміщення гільзи

Аналогічні вимірювання виконати у поперечній площині. Результати вимірювань записати в таблицю 1.1 і зробити висновок.

Таблиця 1.1

Вимірюваний показник точності	Норми точності згідно з ГОСТ 370-81, мм	Результати вимірювань	Висновок
Площинність робочої поверхні столу	0,02/250		
Радіальне биття конічної поверхні шпинделя	0,016		
Перпендикулярність осі обертання шпинделя до робочої поверхні столу	0,025/300		
Паралельність осі обертання шпинделя до напрямку переміщення гільзи	0,03/100		

## 1.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Тип і найменування верстата.
3. Найменування і ціна поділки вимірювальних інструментів.
4. Заповнена таблиця результатів вимірювань.
5. Загальні висновки про стан досліджуваного верстата.

## 1.5. Питання для самоперевірки

1. Що таке службове призначення машини?
2. Що таке виконавча поверхня машини?
3. Якими показниками характеризується точність машини?
4. Яким нормативним документом регламентується точність металообробального верстата?
5. Назвіть виконавчі поверхні фрезерного верстата, круглошліфувального верстата, токарного верстата.
6. Зміст і послідовність експериментів у цій лабораторній роботі.
7. Запропонуйте спосіб перевірки перпендикулярності напрямку переміщення пінолі вертикально-свердлильного верстата до площини столу.
8. Запропонуйте спосіб перевірки паралельності осі обертання шпинделя токарного верстата до напрямку переміщення супорта.

**Рекомендована література:** [1, 4, 5, 6].

## *Лабораторна робота № 2*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ БАЗУВАННЯ ЗАГОТОВОК У СИСТЕМІ ПРЯМОКУТНИХ КООРДИНАТ**

**Мета роботи** – набуття практичних навичок вибору й дослідження впливу розташування та кількості опор на стійкість і визначеність базування.

#### **2.1. Загальні положення**

У відповідності з [3] в машинобудуванні прийняті такі терміни та означення основних понять базування, що використовуються під час проектування технологічних процесів та конструювання машин.

**Базування** – надання заготовці чи виробу необхідного положення відносно вибраної системи координат.

**База** – поверхня чи сукупність поверхонь, вісь, точка, що належать заготовці чи виробу і використовуються для базування.

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

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

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

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

**Похибка базування** – відхилення фактично досягнутого положення заготовки чи виробу під час базування від потрібного.

**Закріплення** – прикладання сил чи пар сил до заготовки або виробу для забезпечення постійності їх положення, досягнутого під час базування.

**Установлення** – процес базування й закріплення заготовки чи виробу.

**Похибка установлення** – відхилення фактично досягнутого положення заготовки чи виробу під час установлення від необхідного.

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

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

**Допоміжна база** – конструкторська база, що належить деталі чи складальній одиниці та використовується для визначення положення приєднуваного до них виробу.

**Технологічна база** – база, що використовується для визначення положення заготовки чи виробу в процесі виготовлення або ремонту.

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

**Установна база** – база, яка позбавляє заготовку чи виріб трьох ступенів вільності – переміщення вздовж однієї координатної осі та обертання навколо двох інших осей.

**Напрямна база** – база, що позбавляє заготовку чи виріб двох ступенів вільності – переміщення вздовж однієї координатної осі та обертання навколо іншої осі.

**Опорна база** – база, що позбавляє заготовку чи виріб одного ступеня вільності – переміщення вздовж координатної осі або обертання навколо осі.

**Подвійна напрямна база** – база, що позбавляє заготовку чи виріб чотирьох ступенів вільності – переміщення вздовж двох координатних осей та обертання навколо цих же осей.

**Подвійна опорна база** – база, що позбавляє заготовку чи виріб двох ступенів вільності – переміщення уздовж двох координатних осей.

Вибираючи схему базування деталі або складальної одиниці під час конструювання машини чи розробляючи технологічний процес механічної обробки слід враховувати таке [1].

Для повної орієнтації заготовки, деталі або складальної одиниці під час базування кількість опор та їх розташування має бути таким, щоб за умови невідривності баз від опор заготовка не могла зміщуватися й повертатися відносно координатних осей. У цьому випадку виконується правило “шести точок”, згідно з яким для повного визначення положення твердого тіла, тобто позбавлення всіх шести ступенів вільності, його необхідно й достатньо підперти в шести незалежних точках, розташованих на трьох різних площинах координатного кута. Правило “шести точок” обов'язкове для виконання під час вибору схем базування.

Якщо кількість опорних точок менша шести, то визначеність положення не забезпечується, оскільки у заготовки, деталі або складальної одиниці може залишитись один або декілька ступенів вільності (в залежності від того, скільки опорних точок не вистачає до шести).

Якщо кількість опорних точок більша шести, то базування також буде невизначеним. Це неминуче призведе до втрати точності обробки. Щоб цього уникнути, “зайві” опорні точки конструктивно реалізують у вигляді підвідних або самоустановних опор. Такі конструкції застосовують тоді, коли нежорстку заготовку необхідно додатково підперти, щоб уникнути надто великих її деформацій від впливу сил різання або сил затискання.

Заготовка в пристрої або деталь у складальній одиниці матиме найстійкіше положення тоді, коли відстань між опорами найбільша з можливих. Для цього необхідно за установну базу вибрати поверхню найбільшої площі, за напрямну базу – поверхню найбільшої довжини, за опорну базу – будь-яку іншу поверхню. За подвійну напрямну базу вибирають довгу циліндричну поверхню, а за подвійну опорну – будь-яку іншу циліндричну поверхню.

Для базування заготовки або деталі, що має форму тіла обертання незначної довжини ( $l \leq 0,5D$ ), за бази використовують одну з циліндричних поверхонь (подвійна опорна база) та один із торців (установна база).

Якщо базують заготовку або деталь, що має форму тіла обертання значної довжини, то за базу використовують одну з циліндричних поверхонь або центрові отвори (подвійна напрямна база) та один із торців (опорна база). Затискання позбавляє заготовку або деталь шостого ступеня вільності.

Шостого ступеня вільності заготовку у верстатному пристрої найчастіше позбавляють за допомогою затискних елементів, а деталь у складальній одиниці – за допомогою гвинтових з'єднань (болтів, гвинтів, шпильок тощо).

Вибираючи поверхні для базування заготовки необхідно використовувати принцип суміщення баз, тобто так вибирати технологічні бази, щоб вони збігалися з вимірювальними.

Під час виконання лабораторної роботи за пристрій для реалізації схеми базування використовується макет координатного кута (рис. 2.1).

На трьох робочих площинах макета зроблена сітка отворів, в які встановлюються опори.

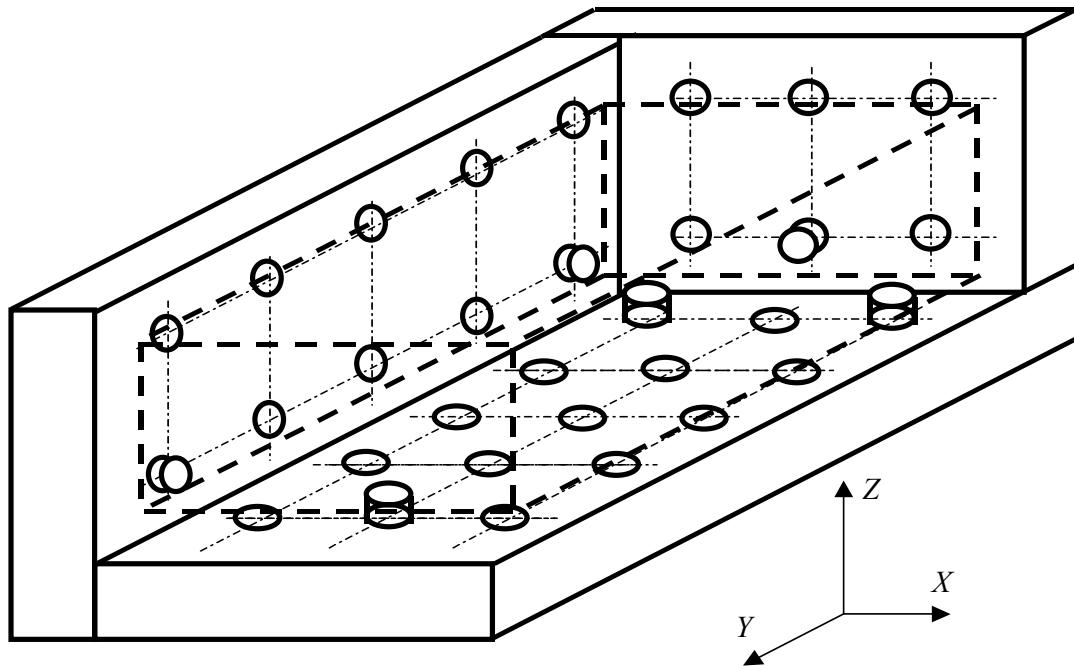


Рис.2.1. Макет координатного кута

## 2.2. Прилади та пристрої

1. Макет координатного кута.
2. Комплект опор.
3. Заготовка.

## 2.3. Методика і порядок виконання роботи

1. Одержати макет координатного кута з комплектом опор та заготовку.
2. Накреслити ескіз заготовки і проставити на ньому розміри, що утворюються на операції механічної обробки, зміст якої задається викладачем.
3. Розробити схему базування.
4. Зобразити схему базування заготовки з дотриманням таких правил:



- усі опорні точки на схемі базування зображують умовними позначками та нумерують, починаючи з бази, на якій розміщується найбільша кількість опорних точок;

- якщо проекція певної опорної точки збігається з проекцією іншої опорної точки, то зображається одна точка і біля неї проставляються номери точок, проекції яких збіглися;

- кількість проекцій заготовки чи виробу на схемі базування має бути достатньою для чіткого уявлення про розміщення опорних точок.

5. Проаналізувати наявність похибок базування на всі розміри, що утворюються на операції. За наявності похибки базування знайти її величину, і, якщо необхідно, запропонувати іншу схему базування, що виключає або зводить до мінімуму похибки базування.

6. Дати повні найменування всім базам.

7. Реалізувати розроблену схему базування на макеті координатного кута і переконатись в стійкості заготовки після її встановлення на опори.

8. Зробити висновки.

9. Оформити звіт.

#### **2.4. Зміст звіту**

1. Найменування роботи і мета її виконання.
2. Ескіз заготовки зі схемою базування.
3. Результати аналізу похибок базування.
4. Висновки.

#### **2.5. Питання для самоперевірки**

1. Визначення бази.
2. Правило шести точок.
3. Класифікація баз.
4. Правила вибору баз.
5. Правила зображення схем базування.
6. Типові схеми базування.
7. Поняття похибки базування.
8. Механізм виникнення похибки базування.
9. Принцип суміщення баз.
10. Випадки, коли похибка базування відсутня.
11. Визначення величини похибки базування.

**Рекомендована література:** [1, 3, 12, 22].

### Лабораторна робота №3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ БАЗУВАННЯ, ЩО ВИНИКАЄ ПІД ЧАС УСТАНОВЛЕННЯ ПАРТІЇ ЗАГОТОВОК У ПРИЗМУ

**Мета роботи** – поглиблення практичних навиків визначення похибок базування, що виникають під час установлення партії заготовок у верстатні пристрої.

### 3.1. Загальні положення й методика виконання роботи

Верстатні пристрої з опорними елементами у вигляді коротких або довгих призм широко використовуються в машинобудуванні для механічної обробки заготовок деталей типу “ступінчастий вал”, “фланець”, “важіль” та інших деталей. Ці заготовки встановлюють у пристрій з використанням за одну з технологічних баз зовнішньої циліндричної чи радіусної поверхні (або поверхонь). Найчастіше такі пристрої використовують на операціях механічної обробки головних отворів в деталях типу “важіль” а також місцевих елементів (лисок, дрібних отворів, шпонкових пазів) в заготовках типу “ступінчастий вал” або “фланець”.

У цій лабораторній роботі розглядається операція фрезерування лиски на заготовці, яка має форму тіла обертання. Припускається, що заготовки встановлюються на зовнішню циліндричну поверхню у верстатний пристрій з опорним елементом у вигляді призми (рис. 3.1). Розмір, який визначає розташування лиски, найчастіше задається одним із трьох способів (відповідно, розміри  $A_1$ ,  $A_2$  та  $A_3$ ).

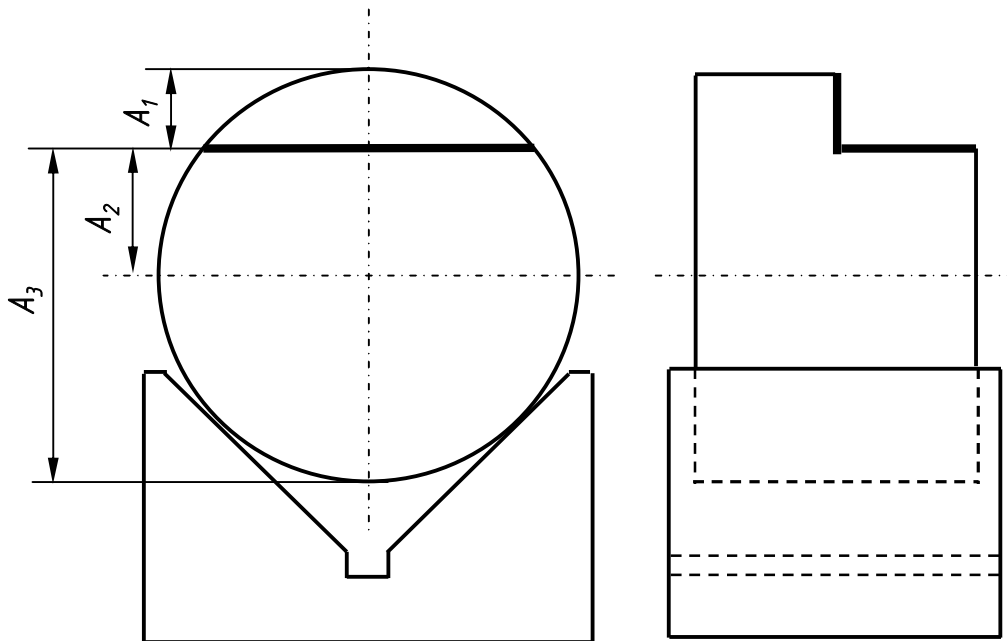


Рис. 3.1. Способи задання розмірів, які визначають розташування лиски

В роботі пропонується спочатку визначити похибку базування на ці три розміри розрахунковим шляхом, потім визначити її експериментально тільки на розміри  $A_1$  та  $A_3$ , оскільки вимірювальна база розміру  $A_2$  є уявною базою і тому експериментально визначити її зміщення неможливо. Потім, зіставивши результати, зробити висновки.

Під час розрахунків та експерименту оцінюється вплив на величину похибки базування способу задання розміру та величини кута між робочими площинами призми.

Розрахувати похибку базування можна за допомогою технологічних розмірних ланцюгів, у яких ланками замикання є розміри  $A_1$ ,  $A_2$  та  $A_3$ . Для кожного з розмірів шукатимемо похибку базування як поле розсіювання ланки замикання.

Знайдемо похибку базування на розмір  $A_1$ .

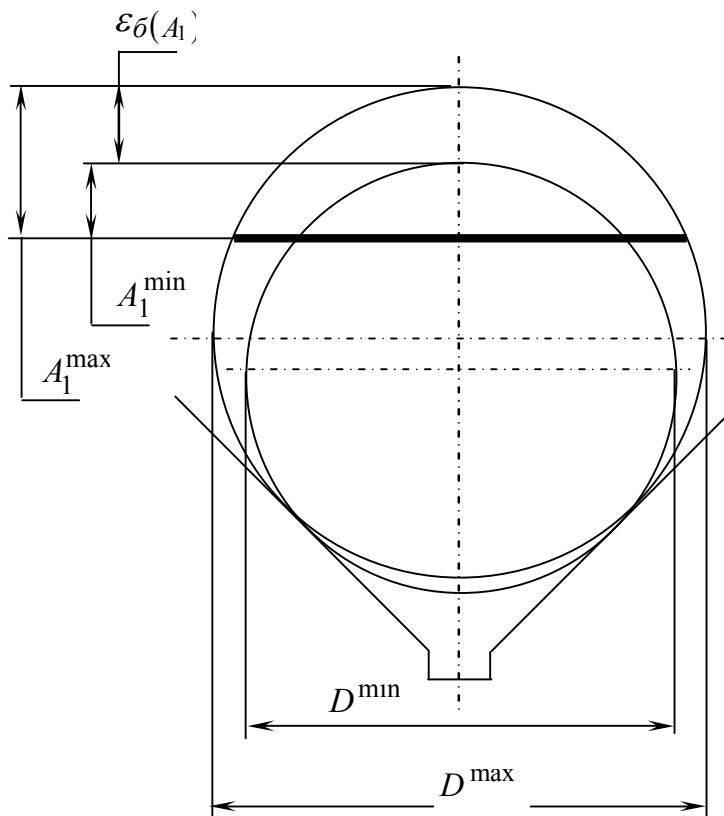


Рис. 3.2. Схема, що пояснює механізм виникнення похибки базування

Якщо розглядати базування в призму партії заготовок з діаметром  $D_{-T}$  зовнішньої поверхні, де  $T$  – допуск на цей діаметр, то похибку базування можна знайти як

$$\varepsilon_{\delta}(A_1) = A_1^{\max} - A_1^{\min} . \quad (3.1)$$

З рис. 3.2 випливає, що розміри  $A_1^{\max}$  і  $A_1^{\min}$  отримуються фрезеруванням заготовок з, відповідно, максимальним і мінімальним діаметром зовнішньої циліндричної поверхні.

У відповідності з рис. 3.3, рівняння розмірного ланцюга, ланкою замикання якого є розмір  $A_1$ , таке

$$A_1 = L_{PM} + D - C, \quad (3.2)$$

де  $L_{PM}$  – довжина відрізка  $PM$ ,  $C$  – розмір настроєння інструмента.

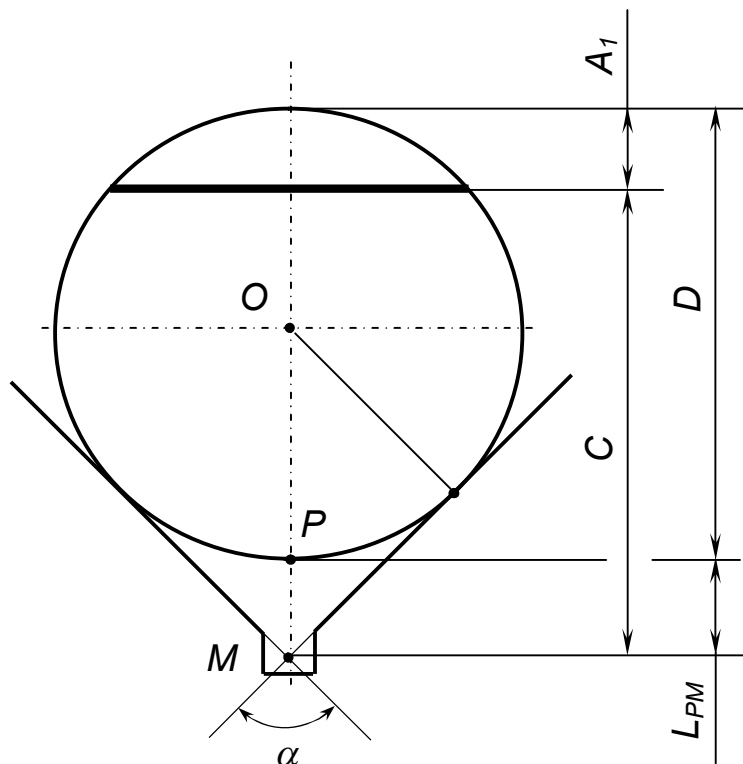


Рис. 3.3. Розрахункова схема для визначення похибки базування

Довжина відрізка  $PM$  складає

$$L_{PM} = L_{OM} - \frac{D}{2} = \frac{L_{OK}}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{D}{2}.$$

Оскільки  $L_{OK} = \frac{D}{2}$ , то після нескладних перетворень остаточно отримаємо

$$L_{PM} = \frac{D}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right). \quad (3.3)$$

Вважаючи, що розмір  $C$  під час обробки партії деталей не змінюється, у відповідності з рис. 3.3 запишемо

$$A_1^{\max} = L_{PM}^{\max} + D^{\max} - C; \quad (3.4)$$

$$A_1^{\min} = L_{PM}^{\min} + D^{\min} - C, \quad (3.5)$$

$$\text{де } L_{PM}^{\max} = \frac{D^{\max}}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right), \quad L_{PM}^{\min} = \frac{D^{\min}}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right).$$

Підставивши співвідношення (3.4) і (3.5) в (3.1), отримаємо

$$\varepsilon_6(A_1) = \frac{D^{\max} - D^{\min}}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) + (D^{\max} - D^{\min}). \quad (3.6)$$

Враховуючи, що  $D^{\max} - D^{\min} = T(D)$ , з (3.6) отримаємо

$$\varepsilon_6(A_1) = \frac{T(D)}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right) + T(D). \quad (3.7)$$

Спростивши, остаточно отримаємо

$$\varepsilon_6(A_1) = \frac{T(D)}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} + 1 \right). \quad (3.8)$$

Аналогічно можна знайти співвідношення для визначення похибок базування на розміри  $A_2$  і  $A_3$

$$\varepsilon_6(A_2) = \frac{T(D)}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right); \quad (3.9)$$

$$\varepsilon_6(A_3) = \frac{T(D)}{2} \left( \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - 1 \right). \quad (3.10)$$

### 3.2. Порядок виконання роботи

1. За допомогою мікрометра виміряти дійсні значення діаметральних розмірів циліндричних поверхонь всіх заготовок (валиків) партії.
2. Знайти поле розсіювання цих розмірів за формулою

$$\delta(D) = D^{\max} - D^{\min}.$$

3. Вважаючи, що поле допуску діаметрального розміру  $T(D)$  дорівнює полю розсіювання  $\delta(D)$ , визначити похибки базування на розміри  $A_1$ ,  $A_2$  та  $A_3$  за формулами (3.8 – 3.10). Розрахунки провести для випадків базування валика на призми з кутами  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  та  $120^\circ$ .

4. Користуючись вимірювальним пристроєм, схема якого зображена на рис. 3.4, визначити експериментально похибку базування на розміри  $A_1$  та  $A_3$  як різницю між граничними положеннями вимірювальних баз цих розмірів. Дослідження провести для випадків базування валика на призми з кутами  $60^\circ$ ;  $90^\circ$  та  $120^\circ$ .

5. Результати розрахунків і вимірювань занести в таблицю 3.1.

6. Проаналізувати результати досліджень та експерименту і зробити висновки про вплив способу задання положення лиски, а також величини кута призми на величину похибки базування.

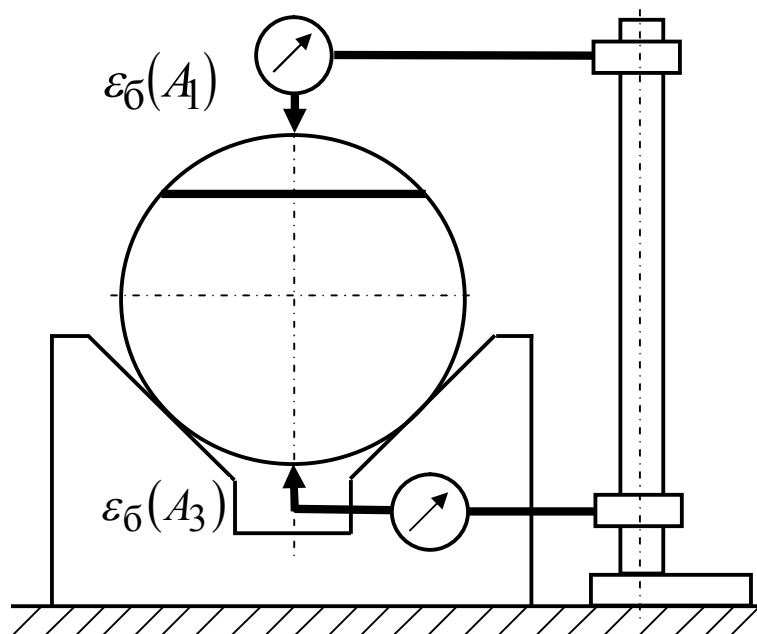


Рис. 3.4. Схема вимірювального пристрою для експериментального визначення похибки базування

Таблиця 3.1

Розмір, на який визначається похибка базування	Похибка базування					
	$\alpha = 60^\circ$		$\alpha = 90^\circ$		$\alpha = 120^\circ$	
	Розрахунок	Експеримент	Розрахунок	Експеримент	Розрахунок	Експеримент
$A_1$						
$A_2$		–		–		–
$A_3$						

### 3.3. Пристрої та прилади

1. Мікрометр (ціна поділки 0,01 мм).
2. Вимірювальний пристрій з індикаторами годинникового типу (ціна поділки 0,01 мм).
3. Опорні призми з кутами  $60^\circ$ ;  $90^\circ$  та  $120^\circ$ .

### 3.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Результати вимірювань дійсних розмірів валиків.
3. Заповнена таблиця з результатами розрахунків і вимірювань.
4. Висновки.

### 3.5. Питання для самоперевірки

1. Поняття похибки базування. Як визначається ця похибка?
2. Як впливає кут призми на величину похибки базування?
3. Вивести формули для розрахунку похибки базування для розмірів  $A_1$ ,  $A_2$ , та  $A_3$ .
4. Запропонувати схеми базування, які забезпечують відсутність похибки базування на розміри  $A_1$ ,  $A_2$ , та  $A_3$ .

**Рекомендована література:** [10, 22, 23].

## СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ КРИВИХ РОЗПОДІЛУ

**Мета роботи** – оволодіти методикою побудови теоретичних і емпіричних кривих розподілу випадкових безперервних величин і основами їх застосування для аналізу точності механічної обробки.

### 4.1. Загальні положення і методика виконання роботи

У машинобудуванні статистичні методи широко використовуються для оцінювання точності обробки деталей, настроювання металорізальних верстатів на розмір обробки, оцінювання стабільності технологічних процесів, прогнозування браку, контролю якості продукції і розв'язання інших технологічних задач серійного і масового виробництва.

У математичній статистиці використовуються специфічні поняття, серед яких основними є: випробовування, подія, випадкова величина, розподіл випадкової величини, генеральна сукупність, вибірка, об'єм вибірки.

**Випробуванням** називають практичне виконання певного комплексу дій і умов (наприклад, однократне виконання деякого технологічного переходу механічної обробки).

**Подією** називають явище, що відбувається внаслідок випробування (наприклад, отримання певного дійсного значення технологічного розміру внаслідок однократного виконання технологічного переходу механічної обробки).

Події, що відбуваються під час багаторазового повторення випробувань, називають **масовими**.

Якщо в результаті кожного випробування неодмінно відбувається певна подія  $A$ , то таку подію називають достовірною. Якщо в умовах даного випробування деяка подія  $B$  ніколи не може відбутись, то її називають **неможливою**. Якщо ж під час випробування подія  $C$  може відбутись, а може і не відбутись, то таку подію називають **можливою** або **випадковою**.

Якщо результатом масових випробувань є сукупність випадкових подій, які можна охарактеризувати кількісно, то цю кількісну характеристику (лінійний розмір, показник шорсткості, твердість матеріалу тощо) називають **випадковою величиною**. Наприклад, випадковою величиною може бути діаметр шийки валика як результат механічної обробки партії таких валиків на одному з технологічних переходів.

Розрізняють дискретні і безперервні випадкові величини.

**Дискретна випадкова величина** може приймати лише певні, найчастіше цілочислові значення. Наприклад, кількість бракованих деталей в партії може бути тільки цілим додатним числом.

**Безперервна випадкова величини** може приймати будь-які кількісні



значення з безперервного ряду її можливих значень в межах певного інтервалу. Наприклад, розміри деталей, які утворюються в результаті механічної обробки, є безперервними випадковими величинами.

Під час випробувань деяка випадкова подія може відбуватися декілька разів. Нехай, наприклад, під час проведених  $N$  випробувань подія  $A$  відбулася  $f$  разів. Число  $f$  має назву **частоти** події. Відношення частоти події  $f$  до загальної кількості випробувань  $N$  називають **частістю**  $m_A$  події.

Таким чином,

$$m_A = \frac{f}{N} . \quad (4.1)$$

Якщо кількість випробувань досить велика, то частість подій приблизно дорівнює імовірності появи цих подій в майбутньому (звичайно, за тих же умов).

Сукупність значень випадкової величини, отриманих під час масових випробувань, розташованих у висхідному порядку із зазначенням їх імовірності або частоти, називають **розподілом випадкової величини**.

Однією з основних задач математичної статистики є розробка методів вивчення масових явищ або процесів на основі порівняно невеликої кількості випробувань. Ці методи мають своє наукове обґрунтування, яке називають теорією вибірок.

У відповідності з цією теорією групу предметів, об'єднаних деякою спільною ознакою або властивістю кількісного чи якісного характеру, називають **статистичною сукупністю**. Наприклад, партію деталей, оброблену зі сталими технологічними умовами на певній операції, можна розглядати як статистичну сукупність. Спільною ознакою може бути досліджуваний розмір поверхні або розмір між поверхнями.

Для обстеження великих сукупностей використовують вибірки з них. Таким чином, **вибіркою** називають частину членів сукупності, відібраних із неї для отримання інформації про всю сукупність. У цьому випадку сукупність, що її представляє вибірка, називають **генеральною сукупністю**.

Кількість членів вибірки складає її **об'єм**.

Для того, щоб за даними аналізу вибірки можна було робити висновки про певну ознаку генеральної сукупності, необхідно, щоб члени вибірки правильно її представляли, тобто вибірка має бути **репрезентативною**.

Під час статистичних досліджень технологічних переходів механічної обробки для забезпечення репрезентативності вибірки оброблених заготовок повинні виконуватись такі умови:

- всі заготовки мають оброблятися безперервно, на одному верстаті, одним інструментом, з однаковими режимами різання;

- верстат має працювати з приблизно однаковими зупинками для установлення й знімання заготовок, без тривалих перерв;
- всі заготовки мають бути виготовлені з одного й того ж матеріалу;
- під час оброблення заготовок вибірки різальний інструмент не повинен зніматися, переточуватися, правитися й піднастроюватися.

Всі заготовки вибірки після механічної обробки вимірюються за допомогою універсальних вимірювальних інструментів з ціною поділки, яка не перевищує  $\frac{T}{10}$ , де  $T$  – допуск вимірюваного розміру.

В цій лабораторній роботі розглядається методика статистичного аналізу точності обробки за допомогою побудови та аналізу кривих розподілу.

Розглянемо методику виконання такого аналізу на прикладі обробки партії заготовок на токарному напівавтоматі. Припустимо, що верстат настроєний на обробку отвору в розмір  $\varnothing 40H9^{(+0,062)}$  мм.

Для спрощення припустимо, що під час обробки на технологічний процес впливали лише випадкові похибки (коливання розміру заготовок; твердості їх поверхонь тощо), які призвели до розсіювання розмірів деталей в партії.

Для аналізу відібрана вибірка послідовно оброблених деталей об'ємом 50 штук з такими розмірами (таблиця 4.1). Дійсні розміри отворів, записані в таблицю в послідовності обробки заготовок.

Таблиця 4.1

40,037	40,000	40,035	40,029	40,041
40,023	40,012	40,036	40,028	40,042
40,030	40,032	40,036	40,030	40,043
40,024	40,014	40,027	40,037	40,018
40,052	40,046	40,022	40,033	40,045
40,025	40,017	40,063	40,031	40,015
40,026	40,044	40,048	40,032	40,047
40,036	40,019	40,039	40,013	40,038
40,028	40,039	40,020	40,031	40,024
40,036	40,024	40,038	40,034	40,031

В результаті аналізу отриманої сукупності дійсних розмірів отворів має бути побудована крива їх розподілу. Цю криву будують у такій послідовності.

Після проведення вимірювань досліджуваного розміру  $x$  визначають емпіричне поле розсіювання  $\delta_e$ , під яким розуміють інтервал, у якому

знаходяться дійсні значення  $x$ . Його знаходять як різницю найбільшого і найменшого значень  $x$ , тобто

$$\delta_e = x_{\max} - x_{\min} . \quad (4.2)$$

У розглядуваному випадку  $\delta_e = 40,063 - 40,000 = 0,063$  мм.

Далі поле розсіювання розбивають на певну кількість інтервалів  $k$  (найчастіше  $k = 7 \dots 11$ ) і визначають ширину інтервалу  $\Delta$  за формулою

$$\Delta = \frac{\delta}{k} . \quad (4.3)$$

Прийнявши  $k = 7$ , отримаємо  $\Delta = 0,063/7 = 0,009$  мм.

Результат обчислення  $\Delta$  допускається дещо округляти в більшу сторону.

Подальші результати аналізу сукупності дійсних розмірів можна оформити у вигляді таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

№ інтервалу	Границі інтервалу, мм	Підрахунок частот	Частота, $f$	Частість, $m$	Емпірична щільність розподілу, $y_e$
1	2	3	4	5	6
1	Від 40,000 до 40,009	//	2	0,04	4,4
2	Поверх 40,009 до 40,018	////	5	0,10	11,1
3	Поверх 40,018 до 40,027	//// //	9	0,18	20,0
4	Поверх 40,027 до 40,036	//// //// //// ////	19	0,38	42,2
5	Поверх 40,036 до 40,045	//// ////	10	0,20	22,0
6	Поверх 40,045 до 40,054	////	4	0,08	8,9
7	Поверх 40,054 до 40,063	/	1	0,02	2,2

Емпіричний розподіл випадкової величини можна показати графічно (рис 4.1) у вигляді *полігона розподілу* (ламана лінія) або *гістограми розподілу* (ступінчаста лінія).

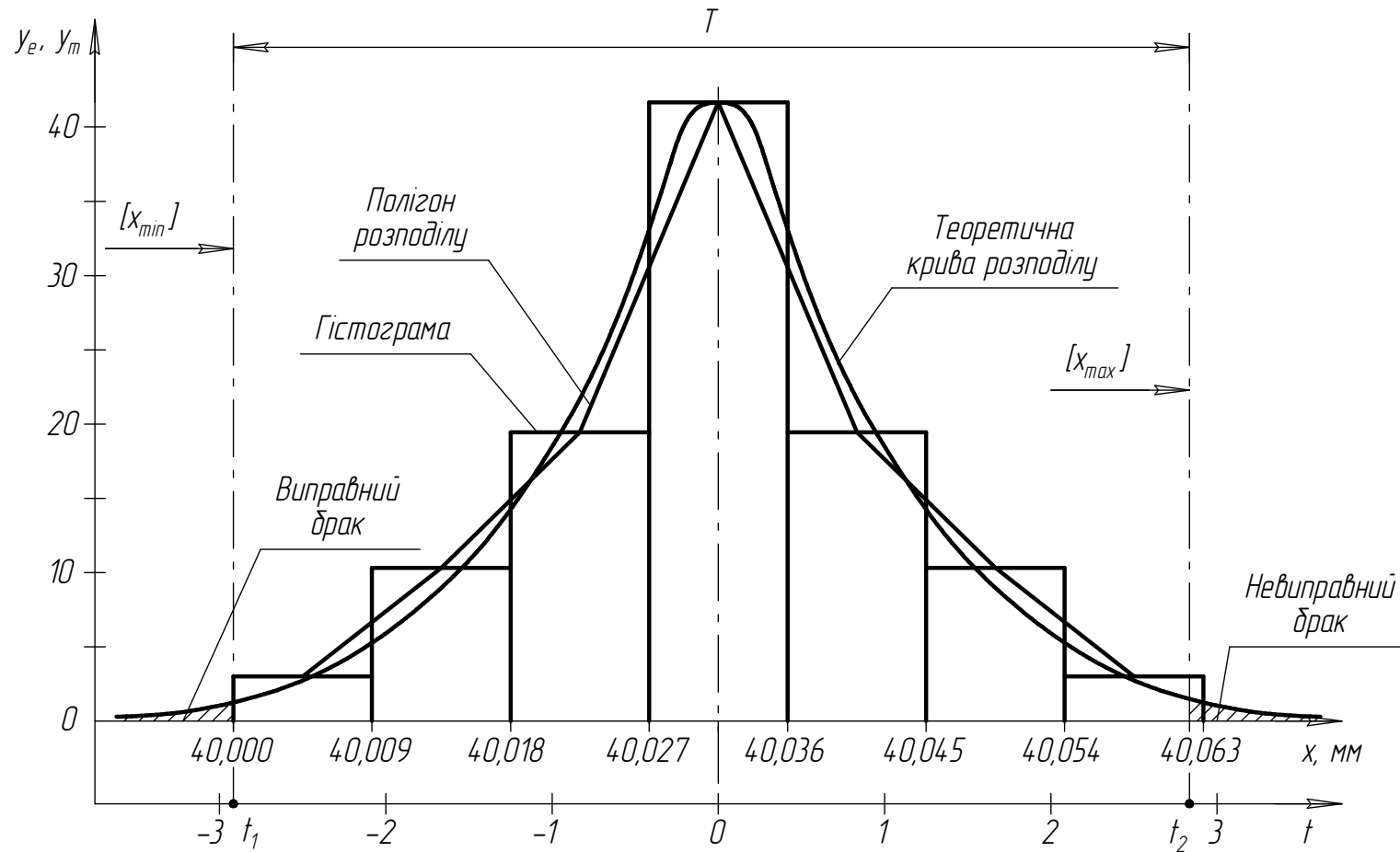


Рис. 4.1. Графіки емпіричної і теоретичної характеристик розподілу безперервної випадкової величин (розміру  $x$ )

Очевидно, що значення частотей  $m_i$  будуть залежати від ширини вибраного інтервалу. Щоб позбутися цього, розглядають емпіричну щільність розподілу випадкової величини, розуміючи під останньою відношення частоти до величини інтервалу

$$y_{e_i} = \frac{m_i}{\Delta_i}, \quad (4.4)$$

де  $i$  – порядковий номер інтервалу.

В цьому випадку вид графіка не залежить від величини інтервалу  $\Delta$ . Цей інтервал навіть можна вибирати різним на різних ділянках графіка. Зі збільшенням кількості деталей в партії, підвищенням точності їх вимірювання і наближенням  $\Delta$  до нуля, графік емпіричної щільності розподілу наближається до гладкої кривої, яку називають **емпіричною диференціальною кривою розподілу** або розподілом випадкової величини.

Для того, щоб за знайденим розподілом розмірів вибірки спрогнозувати результати оброблення заготовок, які складають генеральну сукупність, потрібно знайдений (емпіричний) закон розподілу замінити теоретичним законом, який за формою був би близьким до емпіричного.

Встановлено, що емпіричний розподіл розмірів заготовок, оброблених на настроєному верстаті, найчастіше близький до **закону нормального розподілу** (закону Гаусса).

Диференціальна функція розподілу безперервної випадкової величини, що підпорядковується закону нормального розподілу, визначається виразом

$$y(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.5)$$

де  $y$  – теоретична щільність розподілу,  $\bar{x}$  – середнє значення розміру  $x$ ,  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення випадкової величини (розміру  $x$ ).

В статистичному аналізі використовується також інтегральна функція нормального розподілу

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (4.6)$$

Значення  $\bar{x}$  та  $\sigma$  можна знайти за формулами

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x_i f_i; \quad (4.7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - \bar{x})^2 f_i} , \quad (4.8)$$

де  $n$  – кількість заготовок у вибірці (об'єм вибірки);  $x_i$  – середній розмір  $i$ -го інтервалу;  $f_i$  – частота  $i$ -го інтервалу.

Для прикладу, що розглядається,

$$\begin{aligned} \bar{x} = & \frac{1}{50} (40,0045 \times 2 + 40,0135 \times 5 + 40,0225 \times 9 + 40,0315 \times 19 + \\ & + 40,0405 \times 10 + 40,0495 \times 4 + 40,0585 \times 1) = 40,031 \text{ мм;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma = & \sqrt{\frac{1}{50} (40,0045 - 40,031)^2 \times 2 + (40,0135 - 40,031)^2 \times 5 + (40,0225 - 40,031)^2 \times 9 + \\ & + (40,0315 - 40,031)^2 \times 19 + (40,0405 - 40,031)^2 \times 10 + (40,0495 - 40,031)^2 \times 4 + \\ & + (40,0585 - 40,031)^2 \times 1} = 0,011 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Подальший аналіз результатів вимірювань здійснюється за допомогою таблиць унормованих законів розподілу. Для можливості використання таких таблиць розмірну незалежну змінну  $x$  замінюють безрозмірною незалежною змінною  $t$ , яка зв'язана з  $x$  таким співвідношенням

$$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} . \quad (4.9)$$

З урахуванням (4.9), рівняння (4.5) можна записати у вигляді

$$y(t) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2} . \quad (4.10)$$

Важливою особливістю виразу (4.9) є те, що в інтервалі  $\pm 3\sigma$  із серединою в точці, що відповідає значенню  $\bar{x}$ , знаходиться 99,7% усієї площі під кривою розподілу, тобто теоретичне поле розсіювання складає приблизно  $6\sigma$ . Крім того, крива Гаусса є симетричною відносно середнього розміру  $\bar{x}$ , і тому

$$y(-t) = y(t).$$

Виразу (4.6) відповідає інтегральний закону розподілу (нормована функція Лапласа)

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{1}{2}t^2} dt. \quad (4.11)$$

Функція (4.11) є непарною і тому

$$\Phi(-t) = -\Phi(t),$$

тобто для від'ємних значень  $t$  табличні значення цієї функції беруться зі знаком мінус.

Замінивши емпіричний розподіл теоретичною кривою розподілу, потрібно оцінити справедливість цієї заміни. Це можна зробити з використанням критерію згоди Колмогорова. Суть критерію полягає у порівнянні емпіричного інтегрального розподілу з теоретичним інтегральним розподілом.

Значення емпіричного інтегрального розподілу, яке відповідає  $j$ -му інтервалу, можна знайти за формулою

$$F_j^e(x_j) = \sum_{i=1}^j m_i. \quad (4.12)$$

Значення теоретичного інтегрального розподілу, яке відповідає верхній границі  $j$ -того інтервалу становить

$$F_j^r(x_j^{\max}) = \frac{1}{2} + \Phi(t_j^{\max}), \quad (4.13)$$

де  $t_j^{\max} = \frac{x_j^{\max} - \bar{x}}{\sigma}$  – значення безрозмірної змінної, яке відповідає верхній границі  $j$ -того інтервалу.

Для прикладу, що розглядається, значення емпіричного і теоретичного інтегрального розподілу, розраховані відповідно за формулами (4.11) і (4.12), показані в таблиці 4.3.

Критерій згоди Колмогорова визначається за формулою

$$\lambda = \left| F_j^e - F_j^r \right|_{\max} \sqrt{n}. \quad (4.14)$$

Для прикладу, що розглядається, величина  $\left| F_j^e - F_j^r \right|_{\max}$  відповідає четвертому інтервалу і складає 0,093. Величина  $\lambda$ , розрахована за форму-

лою (4.14), складає 0,658. За додатком В визначимо, що імовірність  $P(\lambda)$  відповідності емпіричного розподілу закону нормального розподілу складає 0,79.

Таблиця 4.3

№ інтервалу	Емпіричний інтегральний розподіл, $F_j^e$	Верхня границя інтервалу, $\bar{x}_j$	Значення безрозмірної змінної, яке відповідає верхній границі інтервалу, $t_j^{\max}$	Теоретичний інтегральний розподіл, $F_j^r$	Різниця між емпіричним і теоретичним інтегральним розподілом, $F_j^e - F_j^r$
1	0,04	40,009	-2,0	0,023	0,017
2	0,14	40,018	-1,18	0,119	0,021
3	0,32	40,027	-0,36	0,360	0,040
4	0,70	40,036	0,27	0,607	0,093
5	0,90	40,045	1,09	0,861	0,039
6	0,98	40,054	1,91	0,972	0,008
7	1,00	40,063	2,72	0,997	0,003

Вважається [3, 4 та ін.], що розбіжність між емпіричним розподілом і нормальним є несуттєвою, якщо  $P(\lambda) \geq 0,05$ . Тому можна вважати, що в даному випадку емпіричний розподіл близький до нормального.

Далі, показавши на осі  $x$  (див. рис. 4.1) поле допуску досліджуваного технологічного розміру, можна визначити відсоток імовірного браку (виправного та невиправного).

Відсоток виправного браку для отвору (для вала – невиправного) складе

$$m_{\text{бр}}^e = [0,5 - \Phi(t_1)]100\%, \quad (4.15)$$

де  $t_1 = \frac{[x_{\min}] - \bar{x}}{\sigma}$  – координата по осі  $t$  нижньої границі поля допуску (див. рис.4.1),  $[x_{\min}]$  – найменше допустиме значення технологічного розміру.

Величини  $\Phi(t_1)$  та  $\Phi(t_2)$  визначаються за таблицею функції Лапласа (додаток А).

Відповідно відсоток невиправного браку для отвору (для вала – виправного)

$$m_{\text{бр}}^b = [0,5 - \Phi(t_2)]100\%, \quad (4.16)$$



де  $t_2 = \frac{[x_{\max}] - \bar{x}}{\sigma}$  – координата по осі  $t$  нижньої границі поля допуску,  $[x_{\max}]$

– найбільше допустиме значення технологічного розміру.

Аналіз точності технологічного переходу можна виконати також за допомогою коефіцієнта  $K_T$  точності виконання і коефіцієнта  $E$  зміщення настроєння.

Коефіцієнт точності виконання

$$K_T = \frac{6\sigma}{T}, \quad (4.17)$$

де  $T$  – допуск досліджуваного технологічного розміру.

Коефіцієнт зміщення настроєння

$$E = \frac{|\bar{x} - [\bar{x}]|}{T}, \quad (4.18)$$

де  $[\bar{x}] = \frac{[x_{\max}] + [x_{\min}]}{2}$  – середнє значення заданого технологічного розміру.

Визначений за формулою (4.18) фактичний коефіцієнт зміщення настроєння порівнюється з допустимим

$$E_{\text{доп}} = \frac{T - 6\sigma}{2T}. \quad (4.19)$$

Слід зазначити, що зміщення середини кривої розподілу відносно середини поля допуску може передбачатись для компенсації систематичних похибок, що закономірно змінюються (наприклад, похибки, що спричиняється розмірним зносом різального інструмента), тільки за умови, якщо  $T > 6\sigma$ . Якщо ж  $T \leq 6\sigma$ , то таке зміщення призводить до збільшення браку і тому недоцільне.

Таким чином, робота без браку забезпечується, якщо виконуються умови

$$K_T \leq 1; \quad (4.20)$$

$$E \leq E_{\text{доп}}. \quad (4.21)$$

## 4.2. Прилади та матеріали

1. Мікрометр (ціна поділки 0,01 мм).
2. Вибірка оброблених деталей об'ємом 50 шт.

### 4.3. Порядок виконання роботи

1. В деталях вибірки виміряти один з розмірів (за вказанням викладача), серед значень розмірів вибрати мінімальний та максимальний, знайти поле розсіювання і розбити його на непарну кількість інтервалів (рекомендована кількість – 7).

2. Для кожного з інтервалів визначити частоту, частість, емпіричну щільність розподілу і записати в таблицю, яку оформити у формі таблиці 4.2.

3. За даними таблиці побудувати емпіричний диференціальний розподіл (див. рис. 4.1), у вигляді гістограми та полігона розподілу. На графіку показати також поле допуску (задається викладачем).

4. Визначити середнє значення розміру  $\bar{x}$  і середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  за формулами (4.7) і (4.8).

5. На графік емпіричного розподілу (див. рис. 4.1) нанести теоретичну криву розподілу (криву Гаусса).

$$y(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2} = \frac{z}{\sigma}$$

Значення функції  $z = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2}$  можна взяти з додатка Б. Для даного випадку достатньо взяти точки  $t = 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$ , а другу половину кривої побудувати симетрично.

6. Для кожного з інтервалів визначити значення емпіричного і теоретичного інтегрального розподілу за формулами, відповідно, (4.12) і (4.13). Результати оформити у формі таблиці 4.3.

7. За критерієм згоди Колмогорова оцінити міру наближення емпіричного закону розподілу до нормального.

8. Визначити відсоток виправного і невиправного браку за формулами (4.15) і (4.16).

9. Визначити коефіцієнт точності виконання і коефіцієнт зміщення настроєння за формулами (4.17) і (4.18), допустимий коефіцієнт зміщення настроєння за формулою (4.19) і перевірити виконання умов (4.20) і (4.21).

10. Зробити висновки і, за необхідністю, запропонувати заходи щодо підвищення точності механічної обробки на досліджуваному технологічному переході.

### 4.4. Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.
2. Ескіз деталі із вказаним досліджуваним розміром.
3. Результати вимірювань розміру  $x$  (у формі таблиці 4.1).

4. Результати статистичної обробки вимірювань (таблиця 4.2).
5. Гістограма, полігон і теоретична крива розподілу (рис. 4.1).
6. Визначення емпіричного і теоретичного інтегрального розподілу (у формі таблиці 4.3). Визначення критерію згоди Колмогорова і висновок щодо близькості емпіричного розподілу до нормального закону розподілу.
7. Визначення імовірного браку, коефіцієнта точності виконання і коефіцієнта зміщення настроєння.
6. Висновки і пропозиції.

#### 4.5. Питання для самоперевірки

1. Суть методу статистичного аналізу точності механічною обробки за допомогою кривих розподілу.
3. Які вимоги мають задовольняти заготовки, що підлягають аналізу точності за допомогою кривих розподілу.
4. Основні статистичні характеристики розподілу безперервних випадкових величин.
5. Які статистичні характеристики точності технологічного переходу можна визначити за допомогою побудови і аналізу кривих розподілу?
6. Як визначається імовірний відсоток браку?

**Рекомендована література:** [8, 9, 13, 23].

#### *Лабораторна робота №5*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ, ЯКА ВИНИКАЄ ПІД ЧАС УСТАНОВЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ У ТРИКУЛАЧКОВИЙ САМОЦЕНТРУВАЛЬНИЙ ПАТРОН**

**Мета роботи** – набуття навиків експериментального дослідження похибки закріплення, яка виникає під час установлення партії заготовок у верстатний пристрій.

#### **5.1. Загальні положення**

Похибка закріплення виникає в процесі встановлення заготовок у верстатний пристрій. Ця похибка є наслідком нестабільності деформацій елементів технологічної системи, спричинених силами закріплення. Таким чином, похибка закріплення – це поле розсіювання положень вимірювальної бази заготовок партії у напрямку отриманого розміру.

Під час закріплення заготовки в трикулачковому самоцентрувальному патроні передня стінка його корпусу пружно деформується. Ця деформація може спричинити похибку закріплення, яка впливатиме на точність осьових розмірів заготовки.

Розглянемо механізм виникнення похибки закріплення під час встановлення заготовки в трикулачковий самоцентрувальний спіральнорейковий патрон.

З обертанням спірального диска патрона (рис. 5.1), кулачок 2 переміщується у напрямі до осі заготовки. Після затискання заготовки зі сторони кожного з трьох кулачків на неї діє сила затискання  $Q$ .

Зі сторони заготовки 3 на кожний з кулачків діє сила реакції  $Q_1$  і, відповідно, момент  $M_1$ , який намагається повернути кулачки у напрямі, показаному стрілкою. Цьому повороту перешкоджають напрямні корпуса 1 патрона, однак момент  $M_1$  спричиняє пружну деформацію напрямних разом зі всією передньою стінкою корпуса патрона і, відповідно, пружне зміщення кулачків разом із заготовкою.

Оскільки зусилля на рукоятці ключа, які прикладаються робітником під час закріплення різних заготовок партії, неоднакові, то, як наслідок, і величина зміщення  $y$  вимірювальної бази (у даному випадку – поверхні  $A$ ) заготовки через пружні деформації згаданих елементів конструкції патрона має певне поле розсіювання. Це поле розсіювання і є похибкою закріплення

$$\varepsilon_3 = y_{\max} - y_{\min} \quad (5.1)$$

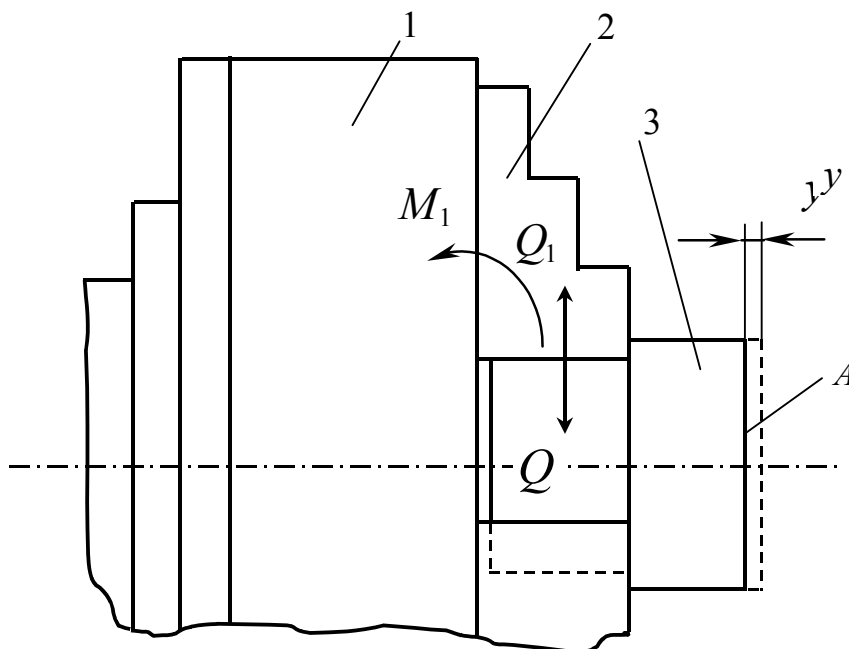


Рис. 5.1. Схема, що пояснює виникнення похибки закріплення під час встановлення заготовки в трикулачковому патроні

## 5.2. Прилади та обладнання

1. Заготовка.
2. Токарний верстат.
3. Трикулачковий самоцентрувальний патрон.
4. Вимірювальний пристрій: індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, закріплений на магнітному стояку.

## 5.3. Методика й порядок виконання роботи

1. Встановити на супорт верстата стояк 4 з індикатором (рис 5.2).

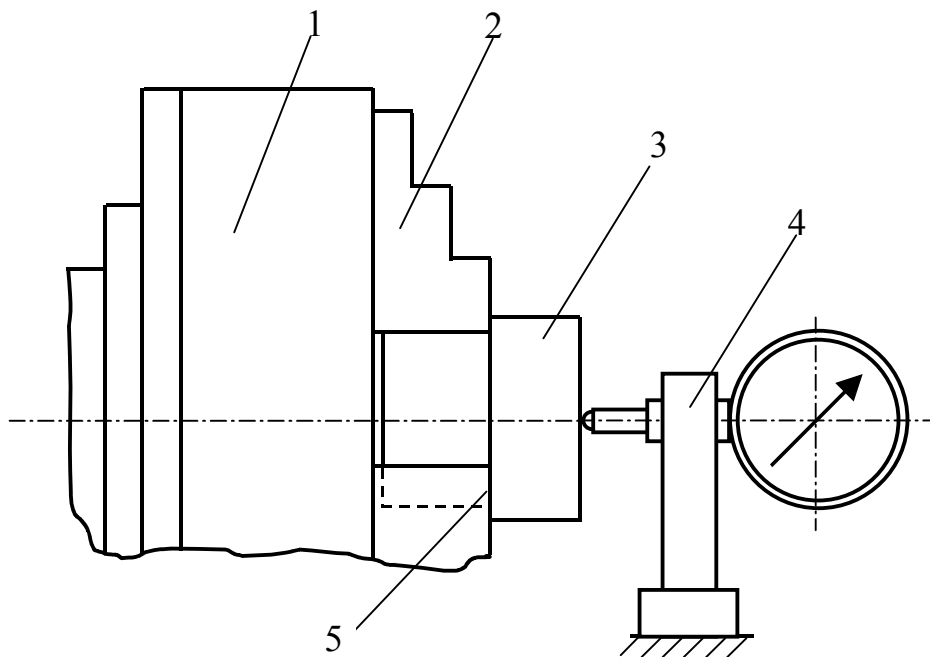


Рис. 5.2. Схема вимірювання пружних зміщень заготовки, закріпленої в трикулачковому патроні

2. Встановити заготовку 3 в патроні 1, підвести кулачки 2 до доторкання з базовою циліндричною поверхнею і, не затискаючи заготовку, щільно притиснути площину 5 буртика до торцевих поверхонь кулачків. Зафіксувати досягнуте положення заготовки, приклавши до рукоятки ключа невелике зусилля.

3. Вручну підвести супорт зі стояком 4 до доторкання з незначним підтисканням (1...2 мм) вимірювального штифта індикатора з торцем заготовки і встановити шкалу індикатора на нульову позначку.

4. Затиснути заготовку з робочим зусиллям і записати показання індикатора, тобто визначити дійсну величину зміщення вимірювальної бази.

5 Розкріпити заготовку.

6. Дії, передбачені пунктами 2...5, послідовно повторити 25...30 раз, щоразу записуючи покази індикатора.

7. За формулою (5.1) знайти похибку закріплення.

8. Побудувати гістограму розподілу дійсних зміщень вимірювальної бази (методика побудови гістограми розподілу описана у лабораторній роботі № 4). Зробити висновок про можливий закон розподілу цієї величини

#### **5.4. Зміст звіту**

1. Назва роботи.
2. Дані при вимірювальні засоби: назва, ціна поділки.
3. Операційний ескіз механічної обробки.
4. Результати вимірювань і розрахунку.
5. Графік гістограми розподілу зміщення вимірювальної бази.
6. Висновки (у т.ч. щодо закону розподілу, якому відповідає отримана гістограма).

#### **5.5. Питання для самоперевірки**

1. Від чого залежить похибка закріплення, яка виникає під час закріплення заготовки у трикулачковому самоцентрувальному патроні? На точність яких розмірів впливає ця похибка?
2. Який характер виявлення має похибка закріплення?
3. Яка точність осьових розмірів може бути досягнута під час механічної обробки заготовок з установленням їх в трикулачковий самоцентрувальний патрон?
4. Шляхи зменшення осьових похибок закріплення.

**Рекомендована література:** [10, 23].

## Лабораторна робота №6

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ ЗАКРІПЛЕННЯ, ЯКА ВИНИКАЄ ПІД ЧАС УСТАНОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННОГО КІЛЬЦЯ У ТРИКУЛАЧКОВИЙ САМОЦЕНТРУВАЛЬНИЙ ПАТРОН

**Мета роботи** – вивчення механізму виникнення похибки закріплення, що спричиняється пружним деформуванням тонкостінних заготовок під час закріплення їх у верстатному пристрої.

#### 6.1. Загальні положення

Деталі, які мають форму тіла обертання з центральним отвором (кільця, втулки, стакани та інші), дуже поширені у машинобудуванні. Найчастіше технічні вимоги до цих деталей передбачають високу точність тих циліндричних поверхонь, які є конструкторськими базами. Наявні способи чистового та фінішного оброблення таких поверхонь (чистове і тонке точіння, розвертування, протягування, шліфування, хонінгування, розкочування) надійно забезпечують ці вимоги точності за умови достатньої жорсткості елементів системи верстат – пристрій – інструмент – деталь (ВПД) та врахування інших факторів, які впливають на точність оброблення.

Пружні зміщення в нежорстких елементах системи ВПД можуть спричинитися силами закріплення, які діють на заготовку зі сторони затискних елементів пристрою. Якщо напрямком певного пружного зміщення збігається у просторі з напрямком одного з технологічних розмірів, і якщо ці зміщення неоднакові в різних місцях однієї і тієї ж заготовки або неоднакові у різних заготовок партії, то виникає похибка оброблення за цим розміром.

У цій роботі пропонується дослідити вплив пружного деформування тонкостінного кільця під дією сил закріплення на відхилення від круглості обробленої циліндричної поверхні кільця.

Тонкостінними називають кільця, втулки, стакани та інші деталі зі співвідношенням товщини стінки і середнього радіуса

$$h/r \leq 0,2 . \quad (6.1)$$

Схема виникнення похибки закріплення (як відхилення від круглості) через пружну деформацію тонкостінного кільця під час установлення його в трикулачковий самоцентрувальний патрон, показана на рис. 6.1.

На рис.6.1, а показане кільце після прикладання сил закріплення  $Q$ . Ці сили деформують кільце і спричиняють відхилення від круглості його циліндричних поверхонь.

На рис. 6.1, б показане кільце в процесі точіння його зовнішньої поверхні, яка отримує круглу форму.

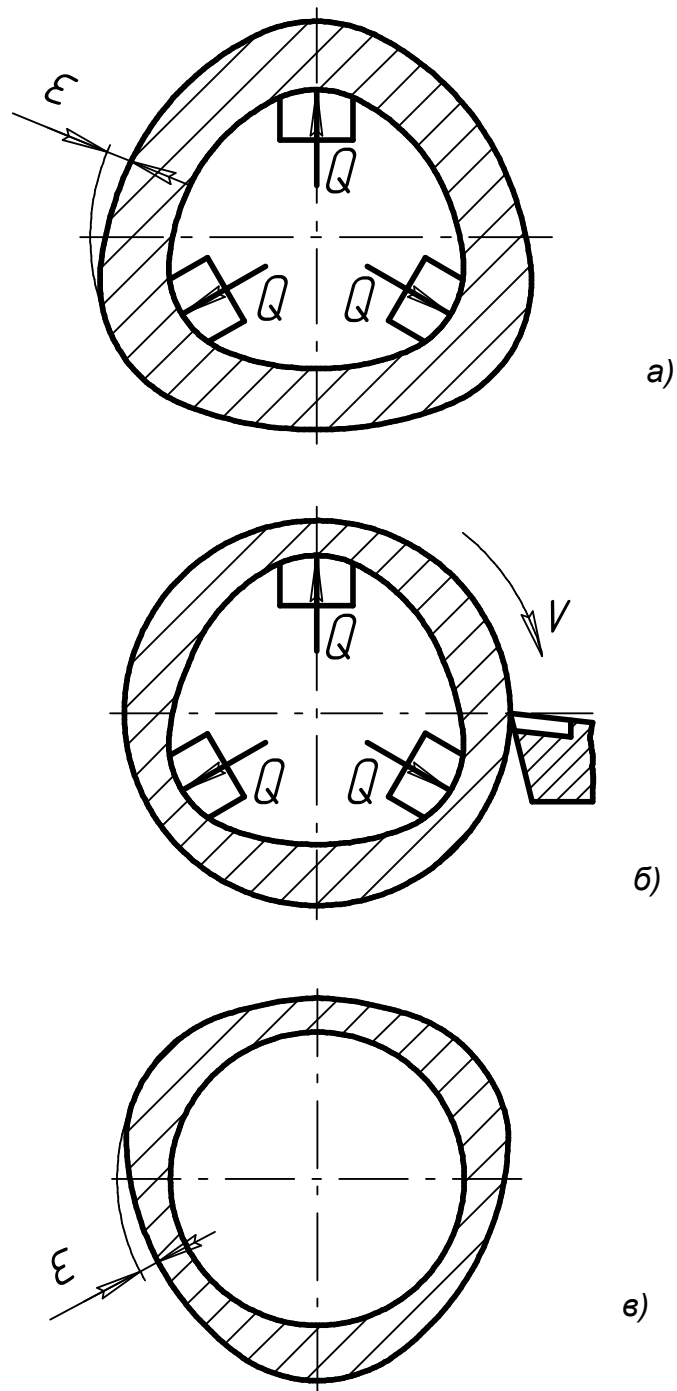


Рис. 6.1. Схема виникнення похибки закріплення, що спричиняється пружним деформуванням тонкостінного кільця під час установлення в трикулачковий самоцентрувальний патрон



Оброблене і зняте з пристрою кільце пружно відновлюється (рис. 6.1, в). Оброблена поверхня матиме форму з відхиленням від круглості  $\varepsilon_1$ , а внутрішня поверхня прийме таку ж форму, яку вона мала перед закріпленням кільця у патроні.

Відхилення кільця від круглості  $\varepsilon$  (див. рис. 6.1, а) під дією сил закріплення можна знайти за формулою [26]:

$$\varepsilon = \frac{C \cdot Q \cdot r^3}{E \cdot I_x}, \quad (6.2)$$

де  $C$  – коефіцієнт, який залежить від кількості кулачків (табл. 6.1);  $Q$  – сила закріплення, яка діє зі сторони кулачка на стінку кільця, Н;  $r$  – середній радіус кільця, мм;  $E$  – модуль пружності матеріалу кільця (для сталі  $E = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>);  $I_x$  – момент інерції поперечного перерізу.

Таблиця 6.1

Кількість кулачків	2	3	4	6	8	10	12
Значення коефіцієнта $C$	0,14	0,03	0,01	0,003	0,0013	0,0007	0,0004

Для кільця зі стінкою, що має прямокутний поперечний переріз:

$$I_x = \frac{bh^3}{12}, \quad (6.3)$$

де  $b$  і  $h$  – відповідно, ширина кільця і товщина стінки кільця.

Формула (6.2) справедлива для напрямку сил закріплення як до центра, так і від центра кільця.

Силу закріплення  $Q$  можна знайти за формулою:

$$Q = aM_k, \quad (6.4)$$

де  $M_k$  – крутний момент на ключі, Н·м,  $a$  – коефіцієнт, який залежить від передатного відношення кінематичного ланцюга між ключем і кулачком.

Для стандартних (ГОСТ 2675-80) трикулачкових самоцентрувальних патронів Ø250...325 мм зі спіральньо-рейковим механізмом можна прийняти  $a = 135$  м<sup>-1</sup>.

Оскільки величини сил закріплення вибирають такими, щоб матеріал заготовки після її затискання у верстатному пристрої працював у зоні

пружних деформацій (тобто без пластичного деформування), то вважати-  
мемо, що відхилення поверхні кільця від круглості  $\varepsilon$  після прикладання  
сил закріплення і відхилення від круглості після знімання кільця з при-  
строю  $\varepsilon_l$  однакові, тобто виконується співвідношення

$$\varepsilon = \varepsilon_l . \quad (6.5)$$

У цій роботі пропонується для певної сили закріплення  $Q$  знайти  
теоретичне (розрахункове) відхилення кільця від круглості, а потім, прові-  
вши експеримент, знайти фактичне відхилення від круглості і, порівнявши  
ці відхилення, зробити висновок про можливість використання формули  
(6.2) в розрахунках точності механічної обробки.

## 6.2. Прилади та обладнання

1. Токарний або токарно-гвинторізний верстат з трикулачковим са-  
моцентрувальним патроном.
2. Динамометричний ключ.
3. Індикатор годинникового типу (ціна поділки 0,01 мм) з магніт-  
ним стояком.
4. Прохідний різець з головним кутом у плані  $\varphi = 45^\circ$ .
5. Заготовка – тонкостінне кільце, розміри якого відповідають умові  
(6.1).

## 6.3. Методика й порядок виконання роботи

1. Виміряти розміри досліджуваного кільця, що входять до формули  
(6.2).
2. Для прийнятого за узгодженням з викладачем значення сили за-  
кріплення  $Q$  за формулою (6.2) розрахувати відхилення кільця від кругло-  
сті.
3. Збазувати заготовку в патроні у і закріпити її з використанням  
динамометричного ключа, приклавши силу закріплення  $Q$  такого ж зна-  
чення, що і у п. 2. Крутний момент на динамометричному ключі при цьому  
має становити

$$M_k = Q/a .$$

4. Проточити заготовку на зовнішній поверхні за два робочих ходи  
з глибинами різання відповідно  $t_1 = 0,1$  мм;  $t_2 = 0,05$  мм. Інші режими рі-  
зання можна прийняти такими:  $v = 100 \dots 120$  м/хв;  $s = 0,08 \dots 0,15$  мм/об.
5. Відімкнути верстат від електромережі.
6. Встановити стояк з індикатором так, щоб його вимірювальний  
штифт торкався проточеної поверхні з незначним підтисканням і переви-

рити биття цієї поверхні відносно осі обертання шпинделя. Воно має бути в межах  $\pm 0,01$  мм. Відвести стояк з індикатором від кільця.

7. За допомогою ключа розкрити кільце. Не знімаючи кільце з кулачків, зафіксувати його положення відносно патрона, підтискаючи кулачки до внутрішньої поверхні кільця без його деформування, але виключивши можливість проковзування відносно кулачків.

8. Підвести індикатор до кільця і встановити його згідно з п. 5. Плавно обертаючи патрон (від руки!), знайти точку з мінімальною відстанню від осі обертання шпинделя. В цій точці встановити стрілку індикатора на "0". Послідовно визначити покази індикатора у 12 точках досліджуваної поверхні, рівномірно (через  $30^\circ$ ) розташованих по колу. Дані записати в таблицю 6.2 (рядок 2).

9. Знайти відхилення від круглості проточеної поверхні графічним способом. Для цього потрібно в полярній системі координат (рис. 6.2) побудувати графік, що відображає форму реальної поверхні (круглограму). На цьому графіку початок системи координат суміщений з віссю обертання шпинделя (точка O). З точки O проведені 12 променів з порядковими номерами, які відповідають номерам контрольних точок. Для побудови круглограми необхідно знайти ціну поділки  $\delta_k$  її шкали за формулою:

$$\delta_k = \Delta_{\max} / k ,$$

де  $\Delta_{\max}$  – максимальне відхилення індикатора, мм;  $k$  – кількість поділок на шкалі.

Для зручності побудови прийнявши  $k = 10$ , отримаємо:

$$\delta_k = 0,1 \cdot \Delta_{\max} .$$

За формулою

$$\Delta'_i = \frac{\Delta_i}{\delta_k} ,$$

де  $\Delta_i$  – показ індикатора в  $i$  - тій точці, знайти координати всіх дванадцяти точок на графіку круглограми, записати їх в таблицю 6.2 (рядок 3), і побудувати сам графік, з'єднавши плавною кривою відповідні точки.

На рис. 6.2 показаний приклад такого графіка.

Таблиця 6.2

Порядковий номер точки на поверхні кільця	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Показ індикатора ( $\Delta$ ), мм												
Координати точки на графіку круглограми ( $\Delta'$ )												

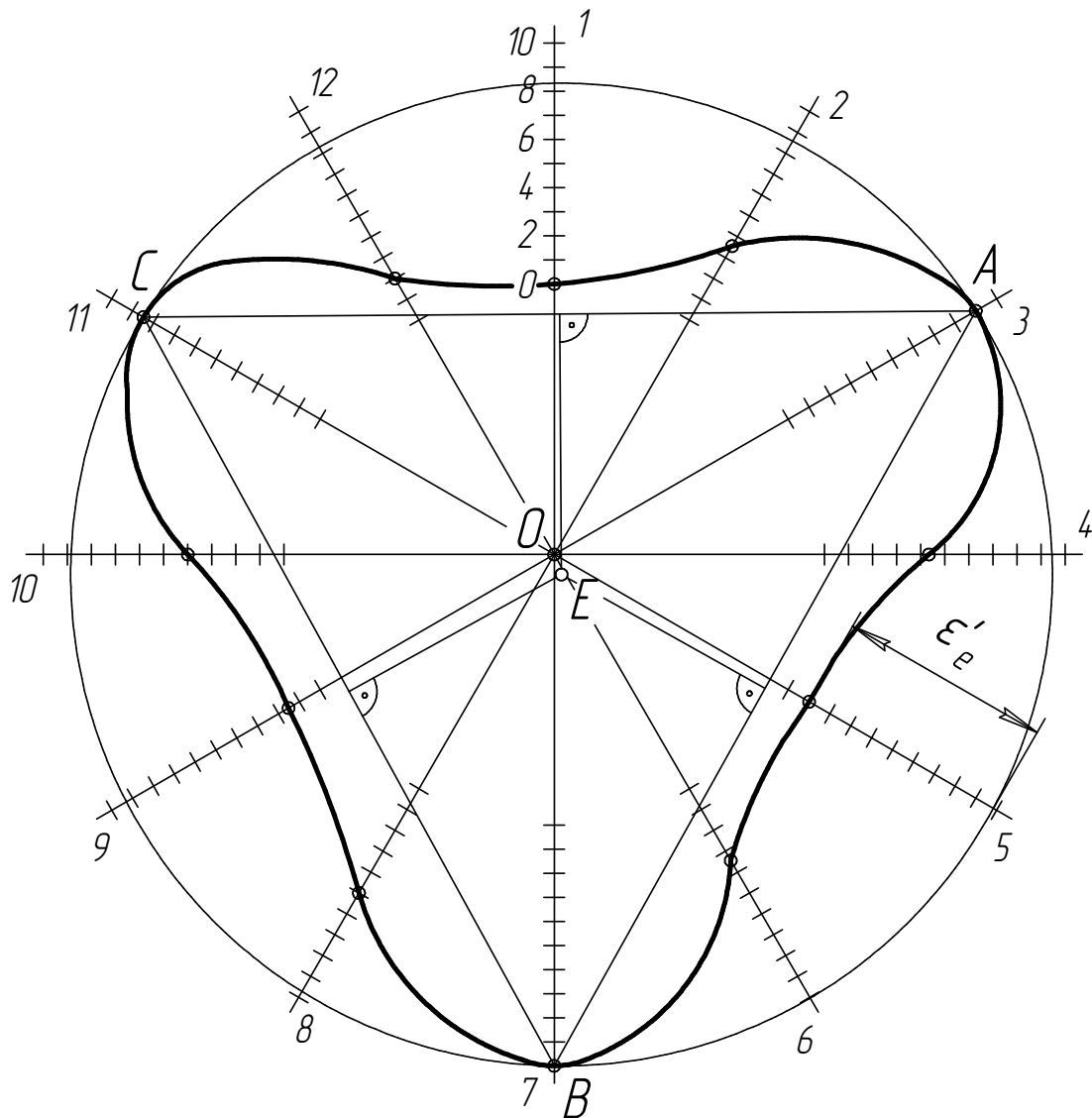


Рис. 6.2. Графік круглограми

У відповідності з ГОСТ 10356-63 відхилення від круглості знаходять як максимальну відстань між реальною поверхнею і колом найменшого діаметра, що прилягає до цієї поверхні. Тому навколо круглограми потрібно провести таке коло. Це можна зробити так. На виступах круглограми знайти три точки (точки А, В, С), що розташовані найдалше від початку

координат. Накреслити трикутник ABC, з'єднавши ці точки. Знайти центр шуканого кола як точку E, що знаходиться на перетині серединних перпендикулярів, і накреслити це коло. Потім знайти найбільшу відстань  $\varepsilon_e'$  між колом та трикутником (у поділках шкали) і знайти експериментальне значення відхилення кільця від круглості  $\varepsilon_e$  (в мм) за формулою

$$\varepsilon_e = \delta_k \cdot \varepsilon_e'$$

10. Порівнявши розрахункове значення відхилення від круглості  $\varepsilon$  зі значенням цього параметра, отриманим експериментально ( $\varepsilon_e$ ), зробити висновки щодо можливості використання формули (6.2) для розрахунків точності механічної обробки.

11. Оформити звіт.

#### 6.4. Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.
2. Дані про використане обладнання, пристрої і вимірювальні інструменти.
3. Розрахунок теоретичного значення відхилення від круглості.
4. Результати вимірювань (таблиця 6.2).
5. Графік круглограми зовнішньої поверхні кільця після проточування і розкріплення.
6. Визначення експериментального значення відхилення від круглості.
7. Висновки.

#### 6.5. Питання для самоперевірки

1. Наведіть інші, відмінні від розглянутого у даній роботі, випадки, коли пружне деформування заготовки під дією сил закріплення може призвести до похибки механічної обробки.
2. Чим визначається потрібна величина сили закріплення заготовки у верстатному пристрої?
3. Поясніть методику виконання експериментального дослідження у даній роботі.
4. Шляхи зменшення похибок закріплення тонкостінних заготовок, що спричиняються їх деформуванням під час встановлення у верстатний пристрій.

**Рекомендована література:** [12, 27].

## Лабораторна робота №7

### ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ВУЗЛІВ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА

**Мета роботи** – опанувати методику визначення жорсткості вузлів токарних верстатів виробничим способом.

#### 7.1. Загальні положення і методика виконання роботи

Точність і продуктивність механічної обробки залежить від жорсткості системи ВПД. Наслідками обмеженої жорсткості системи ВПД є похибки лінійних та діаметральних розмірів, похибки розташування й геометричної форми поверхонь оброблюваних деталей. Окрім того, нежорсткість елементів системи ВПД є основною причиною вібрацій, які суттєво погіршують якість обробленої поверхні і різко підвищують знос різальних інструментів.

Під жорсткістю  $j$  системи ВПД розуміють здатність її елементів пружно чинити опір діючим силам. Найбільший вплив на точність розмірів мають пружні деформації системи ВПД у напрямку нормалі до оброблюваної поверхні. Ці деформації виникають від дії радіальної складової сили різання  $P_y$ . Тому жорсткість системи ВПД визначається залежністю

$$j = \frac{P_y}{y}, \quad (7.1)$$

де  $y$  – пружне зміщення в системі ВПД у напрямку дії сили  $P_y$ .

Величину, обернену жорсткості, називають податливістю

$$\omega = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_y}. \quad (7.2)$$

У цій роботі розглядається визначення жорсткості одного з елементів системи ВПД – верстата.

Використовують два способи експериментального визначення жорсткості верстатів: статичний та виробничий (або динамічний).

В роботі розглядається виробничий спосіб, який оснований на використанні явища копіювання похибок заготовки на обробленій поверхні деталі через нежорсткість елементів системи ВПД. Суть цього способу полягає в тому, що на верстаті обробляється спеціальна заготовка з регламентовано нерівномірним припуском з подальшим вимірюванням показників точності обробленої поверхні. Під час визначення жорсткості токарного верстата для отримання змінного припуску оброблювану поверхню заготовки виконують східчастою (рис. 7.1), причому для того, щоб знайти жорсткість верстата в трьох різних положеннях різця для визначення жор-

сткості трьох окремих вузлів токарного верстата, на заготовці передбачаються відповідно три східчастих елементи (1, 2 і 3).

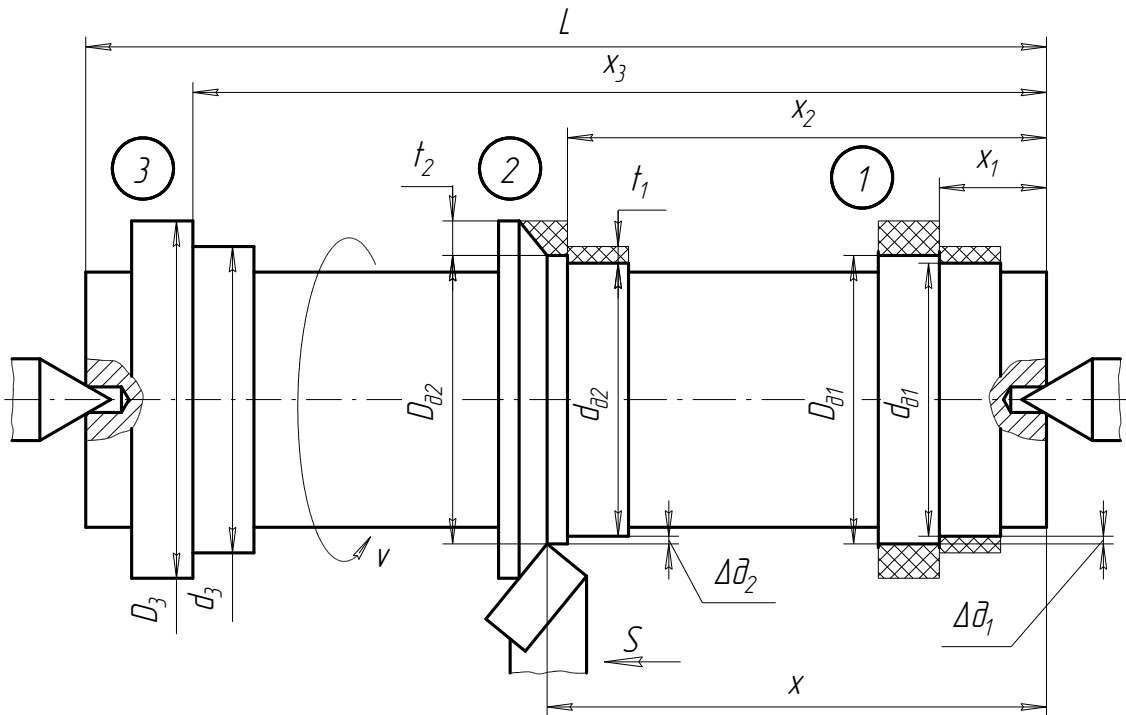


Рис.7.1. Схема обробки під час визначення жорсткості вузлів токарного верстата виробничим способом

Сумарне значення пружних зміщень (деформацій) у системи ВПД у будь-якій точці траєкторії руху різця складається з деформацій вузлів самого верстата  $y_B$ , верстатного пристрою  $y_{II}$ , різця  $y_P$  та заготовки  $y_3$ , тобто

$$y = y_B + y_{II} + y_P + y_3. \quad (7.3)$$

У виконуваному експерименті для спрощення подальших розрахунків пристрій (повідцевий патрон) об'єднується з передньою бабкою з жорсткістю  $j_{н.б.}$ . Задній центр включається у вузол задньої бабки і характеризується жорсткістю  $j_{з.б.}$ . Жорсткість різця входить до жорсткості супорта  $j_{суп.}$ . Припускається також, що жорсткість заготовки значна, і тому її деформацією  $y_3$  можна знехтувати. З урахуванням цих припущень вираз (7.3) набуває виду

$$y = y_B. \quad (7.4)$$

Методика визначення жорсткості вузлів верстата виробничим способом така.

Східчасту заготовку (див. рис. 7.1) установлюють в центрах. Різець налаштовують на глибину різання  $t_1 = 0,25 \dots 0,5$  мм і з таким положенням різця та постійною подачею проточують усі три східчастих елементи заготовки. Кожний з елементів проточується на довжині 4...5 мм.

Якщо різець переміщується, наприклад, у зоні східчастого елемента 2, то глибина різання змінюється з  $t_1$  на  $t_2$ . Збільшення глибини різання  $\Delta t = t_2 - t_1$  відбувається внаслідок збільшення величини припуску. Збільшення глибини різання обумовлює збільшення сили різання. Відповідно, збільшується деформація системи ВПД і, відповідно, діаметр обробленої поверхні. Отримана на обробленій деталі різниця діаметрів (похибка деталі) містить інформацію про загальну жорсткість вузлів верстата для даного положення різця. Очевидно, аналогічні міркування справедливі і щодо зон східчастих елементів 1 та 3.

Викладене справедливе з припущеннями, що твердість матеріалу деталі по всій її довжині однакова, розмірний знос різця малий, зміна жорсткості верстата у межах малих переміщень супорта незначна і нею можна знехтувати.

Для визначення жорсткості верстата у зонах східчастих елементів 1, 2 та 3 (див. рис. 7.1) і подальшого обчислення жорсткості його окремих вузлів необхідно виявити залежність зміни пружних деформацій  $y_B$  верстата від осевого положення різця, тобто від координати  $x$ .

З початком точіння положення осі заготовки через пружні зміщення центрів передньої і задньої бабки зміниться. Припустимо, наприклад, що з переміщенням різця на відстань  $x$  від правого торця заготовки її вісь займе положення  $O_1'O_2'$  (рис. 7.2). Супорт разом з різцем під дією сили різання пружно зміщується на величину  $y_C$  у протилежному напрямі відносно зміщення осі заготовки.

Загальне пружне зміщення всіх вузлів верстата на відстані  $x$  від правого торця заготовки складе

$$y(x) = y_o(x) + y_{\text{суп.}}, \quad (7.5)$$

де  $y_o(x)$  – зміщення центра перетину заготовки.

Зміщення супорта не залежить від координати  $x$  і визначається співвідношенням

$$y_{\text{суп.}} = P_Y / j_{\text{суп.}}. \quad (7.6)$$

Знайдемо залежність  $y_o(x)$  з подібності трикутників  $O_1'AC$  та  $O_1'O_2'E$  випливає, що  $\frac{O_1'C}{AC} = \frac{O_1'E}{O_2'E}$ , або

$$\frac{L-x}{y_o(x) - y_{\text{п.б}}} = \frac{L}{y_{3.б} - y_{\text{п.б}}}. \quad (7.8)$$



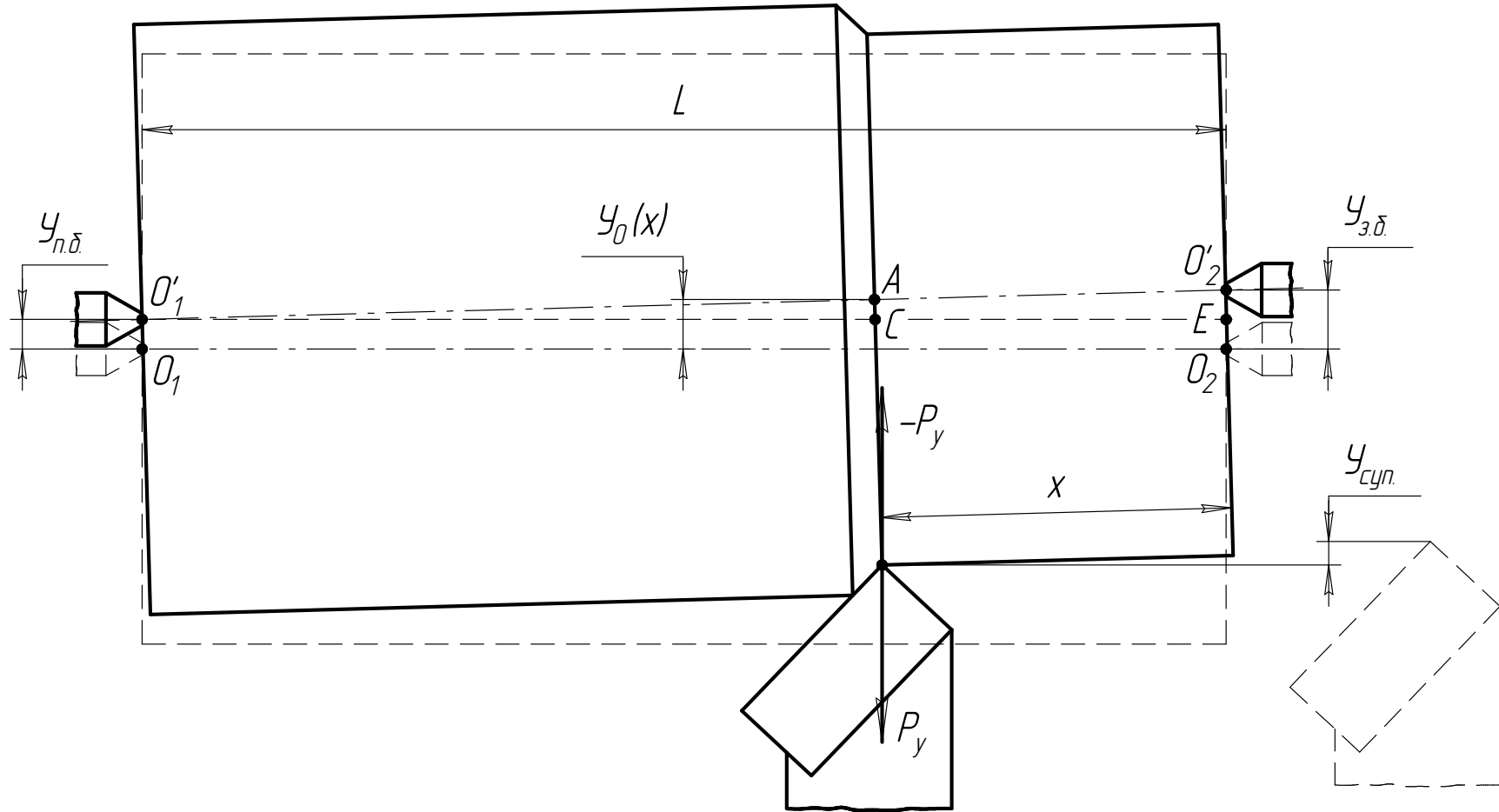


Рис. 7.2. Схема, що пояснює появу пружних зміщень вузлів верстата під дією сили різання  $P_y$

Розв'язавши співвідношення (7.7) відносно  $y_o(x)$ , отримаємо

$$y_o(x) = \frac{x}{L} y_{п.б} + \frac{L-x}{L} y_{з.б}. \quad (7.8)$$

Зміщення  $y_{п.б}$  та  $y_{з.б}$  можна знайти, якщо відомі.  $P_{y_{п.б}}$  і  $P_{y_{з.б}}$ . З рівнянь моментів сил відносно точок  $O_1$  та  $O_2$  отримаємо

$$P_{y_{п.б}} = \frac{x P_y}{L},$$

$$P_{y_{з.б}} = \frac{(L-x) P_y}{L},$$

і, таким чином,

$$y_{п.б} = \frac{x P_y}{L j_{п.б}}, \quad (7.9)$$

$$y_{з.б} = \frac{L-x}{L} \cdot \frac{P_y}{j_{з.б}}. \quad (7.10)$$

З урахуванням співвідношень (7.8), (7.9) і (7.10) рівняння (7.5) матиме вигляд

$$y(x) = \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{P_y}{j_{п.б}} + \left(\frac{L-x}{L}\right)^2 \frac{P_y}{j_{з.б}} + \frac{P_y}{j_{суп}}. \quad (7.11)$$

Оскільки загальна податливість вузлів верстата на рівні координати  $x$  становить

$$\omega(x) = \frac{y(x)}{P_y}, \quad (7.12)$$

то, поділивши всі члени рівняння (7.11) на  $P_y$ , отримаємо співвідношення, яке визначає цю податливість

$$\omega(x) = \left(\frac{x}{L}\right)^2 \omega_{п.б} + \left(\frac{L-x}{L}\right)^2 \omega_{з.б} + \omega_{суп}, \quad (7.13)$$

де  $\omega_{п.б}$ ,  $\omega_{з.б}$ ,  $\omega_{суп}$  – податливості, відповідно, передньої бабки, задньої бабки і супорта.

Для того, щоб знайти значення  $\omega_{п.б}$ ,  $\omega_{з.б}$  та  $\omega_{суп}$  досліджуваного верстата, скориставшись рівнянням (7.13), потрібно знайти величину  $\omega$  в зонах кожного з трьох східчастих елементів заготовки (див. рис. 7.1).

Очевидно, що розмір сходинок на обробленій поверхні східчастого елемента можна знайти за формулою

$$h = y_D - y_d, \quad (7.14)$$

де  $y_D$  і  $y_d$  – відповідно, загальні пружні зміщення вузлів верстата під час точіння поверхонь з діаметрами  $D$  і  $d$  (див. рис. 7.1).

З урахуванням того, що загальна податливість системи ВПД під час точіння певного (наприклад першого) східчастого елемента майже не змінюється, то для цього елемента з урахуванням співвідношення (7.2) можна записати залежність (7.14) у вигляді

$$h_1 = P_{y_{D1}} \omega_1 - P_{y_{d1}} \omega_1, \quad (7.15)$$

де  $P_{y_{D1}}$  і  $P_{y_{d1}}$  – сили різання, що виникають під час точіння відповідних поверхонь;  $\omega_1$  – сумарна податливість вузлів верстата на рівні першого східчастого елемента.

Розв'язавши (7.15) відносно  $\omega_1$ , отримаємо

$$\omega_1 = \frac{h_1}{P_{y_{D1}} - P_{y_{d1}}}. \quad (7.16)$$

Аналогічні співвідношення справедливі і для другого та третього східчастих елементів.

Силу різання (в Н), що виникає під час точіння тієї чи іншої поверхні, можна знайти за формулою [24 та ін.]

$$P_y = 10 C_{P_y} t^{x_{P_y}} s^{y_{P_y}} v^{n_{P_y}} k_{P_y}. \quad (7.17)$$

де  $C_{P_y}$ ,  $k_{P_y}$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $n$  – коефіцієнти і показники степеня (знаходяться за таблицями [24 та ін.]);  $v$  – швидкість різання, м/хв;  $s$  – подача, мм/об;  $t$  – глибина різання, мм.

Величини  $h_1$ ,  $h_2$  та  $h_3$  для всіх східчастих елементів вимірюють після обробки заготовки за допомогою індикатора годинникового типу.

Таким чином, сумарна податливість вузлів верстата на рівнях всіх східчастих елементів після проведення експерименту стає відомою.

Значення податливостей  $\omega_{п.б}$ ,  $\omega_{3.б}$  та  $\omega_{суп}$  знаходяться як розв'язки системи трьох рівнянь з трьома невідомими, складених для кожного із східчастих елементів на підставі рівняння (7.13)

$$\begin{aligned} \omega_1 &= a_1 \cdot \omega_{п.б} + b_1 \cdot \omega_{3.б} + \omega_{суп} \\ \omega_2 &= a_2 \cdot \omega_{п.б} + b_2 \cdot \omega_{3.б} + \omega_{суп} \quad ; \\ \omega_3 &= a_3 \cdot \omega_{п.б} + b_3 \cdot \omega_{3.б} + \omega_{суп} \end{aligned} \quad (7.18)$$

де  $a_i = \left(\frac{x_i}{L}\right)^2$ ;  $b_i = \left(\frac{L-x_i}{L}\right)^2$ ,  $i$  – номер східчастого елемента.

Для розв'язання системи рівнянь (7.18) рекомендується використувати правило Крамера. Тоді

$$\omega_{п.б} = \frac{\Delta_{п.б}}{\Delta}; \quad \omega_{3.б} = \frac{\Delta_{3.б}}{\Delta}; \quad \omega_{суп} = \frac{\Delta_{суп}}{\Delta},$$

$$\begin{aligned} \text{де} \quad \Delta &= \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & 1 \\ a_2 & b_2 & 1 \\ a_3 & b_3 & 1 \end{vmatrix}; & \Delta_{п.б} &= \begin{vmatrix} \omega_1 & b_1 & 1 \\ \omega_2 & b_2 & 1 \\ \omega_3 & b_3 & 1 \end{vmatrix}; \\ \Delta_{3.б} &= \begin{vmatrix} a_1 & \omega_1 & 1 \\ a_2 & \omega_2 & 1 \\ a_3 & \omega_3 & 1 \end{vmatrix}; & \Delta_{суп} &= \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & \omega_1 \\ a_2 & b_2 & \omega_2 \\ a_3 & b_3 & \omega_3 \end{vmatrix}. \end{aligned}$$

Знайшовши  $\omega_{п.б}$ ,  $\omega_{3.б}$  та  $\omega_{суп}$ , розраховують  $j_{п.б} = \frac{1}{\omega_{п.б}}$ ,  $j_{3.б} = \frac{1}{\omega_{3.б}}$  та  $j_{суп} = \frac{1}{\omega_{суп}}$ .

Необхідні розрахунки пропонується провести на ПЕОМ за спеціальною комп'ютерною програмою (Project 1). Результатами розрахунків за цією програмою є жорсткість (Н/мм) і податливість (мм/Н) вузлів верстата.

Ці значення порівнюють із нормативними показниками податливості (таблиця 7.1) і роблять відповідні висновки.

Таблиця 7.1

Податливість вузлів токарних і токарно-гвинторізних верстатів  
(у відповідності з ГОСТ 18097-83, клас точності верстата – Н)

Найбільший діаметр заготовки (над станиною), мм	Податливості вузлів в мкм/кГ		
	передньої бабки	задньої бабки	супорта
200	0,227	0,377	0,283
250	0,209	0,319	0,261
320	0,182	0,305	0,228
400	0,160	0,290	0,200
500	0,147	0,280	0,163

П р и м і т к а: Податливість передньої бабки у відповідності з [25] прийнята  $\omega_{п.б} = 0,445 (\omega_{п.б} + \omega_{суп})$ .

## 7.2. Прилади та обладнання

1. Токарно-гвинторізний верстат з повідцевим патроном.
2. Індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, установлений на магнітному стояку.
3. Прохідний різець з головним кутом в плані  $\varphi=45^\circ$ .
4. Лінійка.
5. Спеціальна східчаста заготовка.

## 7.3. Порядок виконання роботи

1. Підготувати таблицю такого виду для запису результатів експерименту.

Таблиця 7.2

№ схід- частого елемента (i)	Діаметри за- готовки, мм		Відстань від правого торця заготовки до східчастих елементів $x_i$	Висота сходинок на дета- лі, мм			
	$D_3$	$d_3$		$h'$	$h''$	$h'''$	$\bar{h}$
1							
2							
3							

2. Установити в центрах токарного верстата східчасту заготовку.
3. Виконати вимірювання довжини і діаметрів заготовки та відстаней від правого торця до східчастих елементів.
4. Проточити всі три східчасті елементи заготовки з незмінним положенням різця відносно осі її обертання. Рекомендовані режими обробки:  $t_1 = 0,2 - 0,5$  мм,  $s = 0,1 - 0,15$  мм/об,  $v = 70 - 80$  м/хв.
5. З використанням індикатора годинникового типу виміряти висоту сходинок, що утворилися на проточених поверхнях заготовки. Для підвищення точності результатів ці вимірювання слід провести в трьох різних кутових положеннях заготовки.
6. Заповнити таблицю 7.2.
7. Для розрахунку на ПЕОМ підготуйте кількісні значення таких показників:
  - коефіцієнт  $C_{P_y}$  і показники степеня  $x$ ,  $y$  і  $n$  (для поздовжнього точіння різцем з різальною частиною з твердого сплаву  $C_{P_y} = 243$ ;  $x = 0,9$ ;  $y = 0,6$ ;  $n = -0,3$ );
  - швидкість різання  $v$  (в мм/хв);
  - подача  $s$  (в мм/хв);
  - глибини різання  $t_1$  і  $t_2$  (див. рис. 7.1) на кожному із східчастих елементів (в мм);
  - коефіцієнт  $k_{P_y}$  (можна прийняти  $k_{P_y} = 1$ );
7. За допомогою ПЕОМ визначіть  $j_{п.б}$ ,  $j_{з.б}$  та  $j_{суп}$ .
8. Отримані результати порівняйте з нормативними (див. табл.7.1) і зробіть висновки.

#### 7.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Тип і модель верстата.
3. Матеріал і геометричні характеристики різальної частини різця.
4. Ескіз заготовки з розмірами діаметрів і довжин.
5. Результати вимірювань.
6. Результати розрахунків жорсткості й податливості вузлів верстата.
7. Висновки.

#### 7.5. Питання для самопідготовки

1. Фактори, що впливають на жорсткість металорізальних верстатів.
2. Суть статичного способу визначення жорсткості вузлів металорізальних верстатів.

3. Суть виробничого способу визначення жорсткості вузлів токарного верстата.

4. Поясніть, чому для визначення жорсткості вузлів токарного верстата виробничим способом потрібна заготовка саме з трьома східчастими елементами.

5. Шляхи підвищення жорсткості металорізальних верстатів.

**Рекомендована література:** [1, 12, 24, 25].

### *Лабораторна робота № 8*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ, ЩО СПРИЧИНЯЄТЬСЯ ПРУЖНИМИ ДЕФОРМАЦІЯМИ СИСТЕМИ ВПІД ПІД ДІЄЮ СИЛИ РІЗАННЯ**

**Мета роботи** – вивчити механізм виникнення похибки механічної обробки, що спричиняється пружними деформаціями системи ВПІД під дією сили різання.

### **8.1. Загальні положення і методика виконання роботи**

Технологічна система ВПІД є пружною системою, деформації елементів якої в процесі обробки обумовлюють появу похибок розмірів й геометричної форми поверхонь оброблюваних деталей.

В цій лабораторній роботі розглядається вплив деформацій системи ВПІД на точність форми циліндричної поверхні, яка отримана в результаті обробки заготовки на токарному верстаті з установленням в центрах.

Сумарне пружне зміщення елементів системи ВПІД в  $i$ -тому перетині складає

$$y_{T_i} = y_0 + y_{\text{ц}} + y_{\text{суп}}, \quad (8.1)$$

де  $y_0$ ,  $y_{\text{ц}}$ ,  $y_{\text{суп}}$  – відповідно, вигин осі заготовки, зміщення осі центрів, зміщення супорта під дією радіальної складової сили різання  $P_y$  (рис. 8.1).

Оскільки  $y_{T_i} = P_y \cdot \omega$ , де  $\omega$  – сумарна податливість системи ВПІД у горизонтальній площині, то рівняння (8.1) можна записати у вигляді

$$y_{T_i} = P_y (\omega_0 + \omega_{\text{ц}} + \omega_{\text{суп}}), \quad (8.2)$$

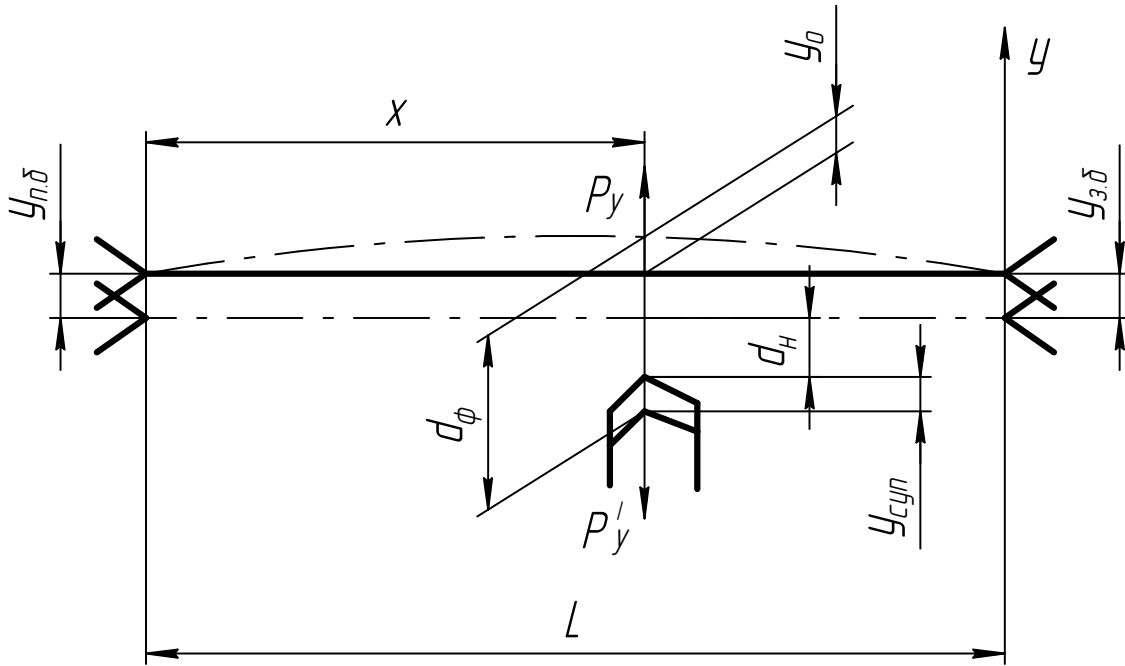


Рис. 8.1. Схема пружних зміщень елементів системи ВПД під дією радіальної складової сили різання

або

$$y_{Ti} = P_y \left\{ \frac{x^2(l-x)^2}{3EI} + \left[ \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \omega_{п.б} + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \omega_{з.б} \right] + \omega_{суп} \right\}, \quad (8.3)$$

де  $y_{Ti}$  – розрахункова (теоретична) деформація заготовки в  $i$ -тому перетині, мм;  $\omega_{п.б}$ ,  $\omega_{з.б}$ ,  $\omega_{суп}$  – відповідно, податливості передньої бабки, задньої бабки і супорта, мм/Н;  $E$  – модуль пружності матеріалу заготовки (для сталі  $E = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>);  $d$ ,  $l$  – відповідно, діаметр і довжина заготовки, мм;  $x$  – відстань від вершини різця до лівого торця заготовки, мм;  $I$  – момент інерції перетину заготовки, мм<sup>4</sup> (для круглого перетину  $I = \frac{\pi}{64} d^4 \approx 0,05 d^4$ );  $P_y$  – радіальна складова сили різання.

Силу різання (в Н), що виникає під час точіння, можна знайти за формулою (7.17).

Таким чином, знаючи режими різання й геометрію інструмента, розміри заготовки і жорсткість вузлів верстата, можна розраховувати деформацію заготовки у певних положеннях різця. Відклавши в масштабі розраховані величини  $y_{Ti}$  і з'єднавши отримані точки пливою кривою, можна побудувати теоретичну форму твірної заготовки після її проточу-



вання, знайти екстремальні значення деформацій (тобто,  $y_{T_{\min}}$  та  $y_{T_{\max}}$ ) і визначити теоретичну похибку форми поверхні

$$\Delta_T = 2(y_{T_{\max}} - y_{T_{\min}}). \quad (8.4)$$

Необхідні розрахунки пропонується провести на ПЕОМ за спеціальною комп'ютерною програмою (Project 2). Результатом розрахунків за цією програмою є сумарна пружна деформація заготовки і вузлів верстата (в мм) під дією сили  $P_y$ .

Форма реальної поверхні, отриманої в результаті токарної обробки, обумовлена не тільки пружними деформаціями системи ВПД, але й геометричною неточністю верстата (непаралельністю осі центрів напрямку руху супорта, непрямолінійністю руху супорта через знос напрямних та ін). Тому для порівняння теоретичної форми заготовки з реальною необхідно виключити похибку форми, спричинену геометричною неточністю верстата. Це можна зробити, якщо відхилення форми заготовки, отримані в процесі точіння з робочими режимами різання, порівняти з відхиленнями, отриманими попереднім точінням зі спеціальними (чистовими) режимами, під час якого сила різання  $P_y$  і, відповідно, деформації заготовки незначні і ними можна знехтувати. Цей підхід покладений в основу експериментальної частини роботи і пояснюється схемою процесу обробки, показаною на рис. 8.2.

Таким чином, експериментальне (фактичне) значення деформації  $y_{e_i}$  заготовки в  $i$ -му перетині можна визначити за формулою

$$y_{e_i} = t_{\text{зад}_i} - t_{\text{фак}_i}, \quad (8.5)$$

де  $t_{\text{зад}_i}$  і  $t_{\text{фак}_i}$  – задана (за лімбом) і фактична глибини різання під час точіння заготовки з робочими режимами в зоні  $i$ -го перетину.

Оскільки заготовка попередньо проточується з малими подачею і глибиною різання, то можна вважати, що задана глибина різання є однаковою по всій довжині заготовки, тобто

$$t_{\text{зад}_i} = t_{\text{зад}_1}. \quad (8.6)$$

Фактична глибина різання в процесі точіння заготовки з робочими режимами (див. рис. 8.2) складає

$$t_{\text{фак}_i} = \frac{d_{1_i} - d_{2_i}}{2}, \quad (8.7)$$

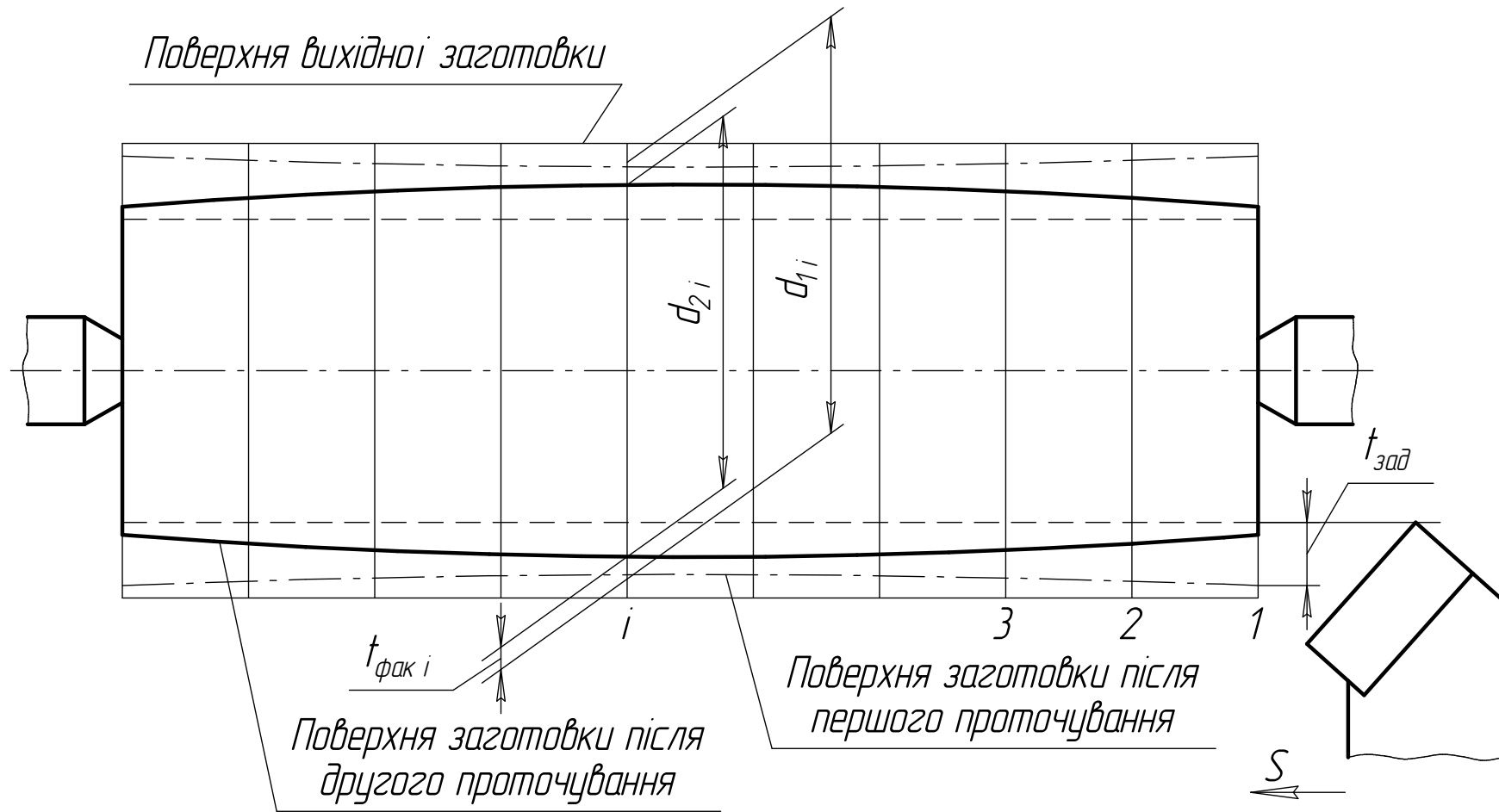


Рис.8.2. Схема процесу обробки під час виконання експериментальної частини роботи

де  $d_{1_i}$  і  $d_{2_i}$  – діаметри заготовки, відповідно, після точіння зі спеціальними (чистовими) режимами різання і після точіння з робочими режимами різання.

Підставивши (8.7) і (8.8) у (8.6), остаточно отримаємо

$$y_{e_i} = t_{\text{зад1}} - \frac{d_{1_i} - d_{2_i}}{2}. \quad (8.8)$$

За аналогією з формулою (8.4) можна записати залежність для визначення отриманої експериментально похибки форми поверхні

$$\Delta_e = 2(y_{e_{\text{max}}} - y_{e_{\text{min}}}). \quad (8.9)$$

Результати розрахунків і експериментів записуються в таблицю 8.1 і на основі їх порівняння робляться висновки.

Таблиця 8.1

№ перетину	Розрахункова деформація $y_{T_i}$ , мм	Діаметр заготовки після точіння зі спеціальними режимами $d_{1_i}$ , мм	Діаметр заготовки після точіння з робочими режимами $d_{2_i}$ , мм	Задана глибина різання $t_{\text{зад1}}$ , мм	Фактична деформація, $y_{e_i}$ , мм

Якщо довгий вал проточується на верстаті з ЧПК, то пружні деформації елементів системи ВПД, попередньо визначені за формулою (8.3), можуть бути скомпенсовані відповідними радіальними переміщеннями вершини різця, передбаченими в керувальній програмі.

## 8.2. Прилади та обладнання

1. Різальний інструмент: прохідний різець.
2. Заготовка – сталевий пруток ( $\varnothing 20 \dots 30$  мм;  $l = 200 \dots 300$ ) мм, зацентрований з обох торців.
3. Пристрої: повідцевий патрон, обертавий задній центр.
4. Вимірювальний інструмент: масштабна лінійка  $l = 300$  мм, мікрометр (ціна поділки 0,01 мм).
5. Токарний чи токарно-гвинторізний верстат.

### 8.3. Порядок виконання роботи

1. Підготувати необхідні дані для виконання розрахунків на ПЕОМ:
  - коефіцієнт  $C_{P_y}$  і показники степеня  $x$ ,  $y$  і  $n$  (для поздовжнього точіння різцем з різальною частиною з твердого сплаву  $C_{P_y} = 243$ ;  $x = 0,9$ ;  $y = 0,6$ ;  $n = -0,3$ );
  - швидкість різання  $v$  (в м/хв);
  - подача  $s$  (в мм/хв);
  - глибина різання  $t$  для точіння з робочими режимами (в мм);
  - коефіцієнт  $k_{P_y}$  (можна прийняти  $k_{P_y} = 1$ );
  - $\omega_{п.б}$ ,  $\omega_{з.б}$ , і  $\omega_{суп}$  – відповідно, податливості передньої бабки, задньої бабки і супорта, мм/Н (кількісні значення цих параметрів слід взяти з результатів виконання лабораторної роботи №7; якщо згадана робота виконувалась на іншому верстаті, або не виконувалась, то можна скористатись нормативними значеннями податливостей, наприклад, для верстата 1К625  $\omega_{п.б} = 9 \cdot 10^{-5}$  мм/Н,  $\omega_{з.б} = 13 \cdot 10^{-5}$  мм/Н  $\omega_{суп} = 7 \cdot 10^{-5}$  мм/Н);
  - кількість перетинів заготовки, для яких виконується розрахунок.
2. Виконати розрахунок  $y_{T_i}$  за допомогою ПЕОМ. Результати записати в таблицю 8.1.
3. Встановити заготовку в центрах верстата.
4. Обробити заготовку з режимами чистового точіння ( $v = 100 \dots 120$  м/хв;  $s = 0,05 \dots 0,1$  мм/об;  $t = 0,05 \dots 0,1$  мм).
5. За допомогою масштабної лінійки і крейди позначити на проточеній частині заготовки місце розташування перетинів, у яких визначалась деформація у п.2.
6. В місцях розташування перетинів виміряти діаметри отриманої поверхні. Результати записати в таблицю 8.1.
7. Проточити заготовку з робочими режимами ( $v = 90 \dots 100$  м/хв;  $s = 0,3 \dots 0,4$  мм/об;  $t = 1,5 \dots 2$  мм).
9. Виміряти діаметри проточеної заготовки у тих же перетинах, що і у п.6. Результати записати в таблицю 8.1.
10. За формулою (8.8) знайти фактичні значення деформації заготовки.
11. Побудувати в одному масштабі графіки функцій  $y_T = y_T(x)$  та  $y_e = y_e(x)$ . Знайти  $\Delta_T$  та  $\Delta_e$  за формулами (8.9) і (8.4).
12. Оцінити близькість теоретичних і експериментальних результатів та зробити висновки.

## 8.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Тип і модель верстата.
3. Основні характеристики використовуваного різального і вимірювального інструменту.
4. Результати розрахунків і експериментальних досліджень (таблиця і графіки).
5. Висновки.

## 8.5. Питання для самоперевірки

1. Поняття жорсткості й податливості системи ВПД.
2. Механізм виникнення похибки форми поверхні, що виникає через деформації системи ВПД під дією сили різання (далі – похибки).
3. Пояснити на прикладах, як впливатиме матеріал заготовки на величину похибки.
4. Пояснити, яку форму матиме поверхня циліндричної заготовки, якщо її обробляння виконується на токарному верстаті з вузлами:
  - достатньої жорсткості, а сама заготовка недостатньо жорстка (тобто довга і тонка);
  - малої жорсткості за досить значної жорсткості заготовки.
5. Шляхи зменшення похибки, якщо заготовка закріплена:
  - в центрах;
  - консольно в патроні або цанзі.

**Рекомендована література:** [12, 24, 25].

## *Лабораторна робота №9*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ В СИСТЕМІ ВПД**

**Мета роботи** – вивчення вібраційних процесів, що спричиняються автоколиваннями системи ВПД, і впливу вібрацій на якість оброблюваних поверхонь.

#### **9.1. Загальні положення і методика виконання роботи**

Вібрації – це коливання механічних систем.

Вібрації, які виникають в системі ВПД, можуть спричинятися зміною величини сили різання через нерівномірність припуску, зовнішніми поштовхами і струсами, дисбалансом обертавих частин системи ВПД та

іншими факторами. Вібрації в системі ВПД найчастіше супроводжуються переміщенням різальної частини інструмента у напрямку нормалі до оброблюваної поверхні. Такі переміщення спричиняють хвилястість обробленої поверхні а також інтенсивний знос і навіть руйнування різальної кромки інструмента. Вібрації призводять також до швидкого зносу деталей верста- та і спричиняють підвищений шум, який втомлює робітника.

Виникнення інтенсивної вібрації у багатьох випадках змушує знижувати режими різання і таким чином зменшувати продуктивність верста- тів, особливо під час остаточної обробки; тому вібрації, які виникають в системі ВПД, найчастіше є негативним явищем.

Вібрації в системі ВПД можуть бути коливаннями одного з трьох видів: вільними коливаннями, вимушеними коливаннями та автоколиван- нями.

Вільні (або власні) коливання виникають в стійких системах під впливом зовнішніх силових факторів неперіодичної дії – різкої зміни нава- нтаження, поштовхів, ударів тощо і в реальних системах є згасаючими ко- ливаннями.

Вимушені коливання виникають в стійких системах від дії зовніш- ніх збудників періодичної дії – переривчастого або нерівномірного різання, дисбалансу обертових частин, впливу розташованих неподалік машин, ро- бота яких супроводжується інтенсивною вібрацією, тощо. Вимушені коли- вання в системі ВПД припиняються з припиненням дії зовнішнього пері- одичного збудника.

Автоколивання – це незгасимі коливання, які виникають в нестійкій неконсервативній системі з неколивальним джерелом енергії. Амплітуда й частота автоколивань визначаються властивостями самої системи.

Неконсервативною називають систему, в якій під час коливань від- бувається розсіювання енергії, обумовлене пружною недосконалістю ма- теріалу деталей, тертям в нерухомих з'єднаннях, тобто, так званім конс- трукційним демпфуванням.

Природа автоколивань, що виникають в системі ВПД, досить скла- дна і ще потребує ґрунтовних наукових досліджень.

Встановлено, що частота автоколивань близька до частоти власних коливань одного з пружних контурів системи ВПД.

У системі ВПД, схильній до автоколивань, вібрації починаються одночасно з початком процесу різання і закінчуються після відведення ін- струмента.

У цій лабораторній роботі пропонується проаналізувати вплив жор- сткості системи ВПД на частоту й амплітуду автоколивань, які можуть виникнути під час точіння консольно закріпленої у трикулачковому патро- ні циліндричної заготовки (рис 9.1).

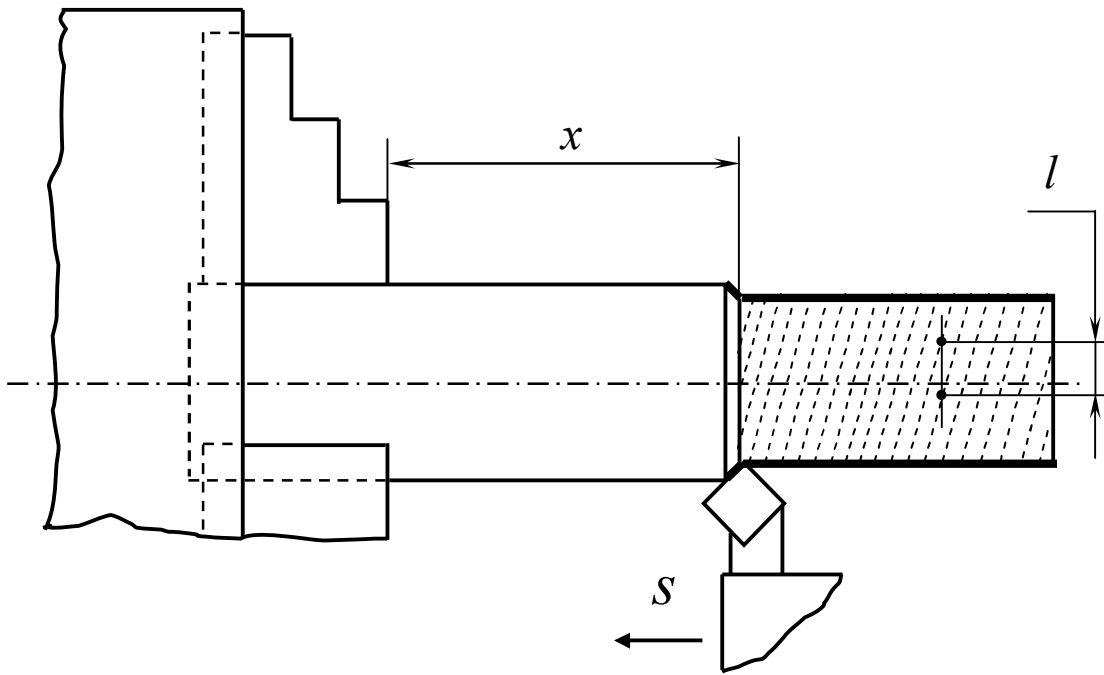


Рис. 9.1. Схема проведення експерименту

Для вибраної в даному випадку схеми устанавлення заготовки, жорсткість системи ВПД суттєво залежить від відстані  $x$  між вершиною різця і кулачками і, якщо знехтувати податливістю передньої бабки, патрона й супорта, визначатиметься залежністю

$$j = \frac{3EI}{x^3}, \quad (9.1)$$

де  $I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$  – момент інерції осьового перетину прутка у (мм<sup>4</sup>),  $E$  – модуль пружності матеріалу прутка (для сталі  $E = 2,1 \cdot 10^7$  Н/мм<sup>2</sup>).

Таким чином, якщо точити пруток у напрямку від правого вільного торця до кулачків патрона, то жорсткість системи ВПД буде збільшуватись.

Частоту автоколивань наближено можна визначити за вібраційними слідами на обробленій поверхні. Зокрема для процесу точіння частоту вібрації можна знайти за формулою

$$f = \frac{\pi D n}{60 \cdot l}, \quad (9.2)$$

де  $n$  – частота обертання шпинделя верстата (об/хв),  $l$  – довжина хвилі (мм).

Довжину  $l$  хвилі можна виміряти безпосередньо на обробленій поверхні за допомогою штангенциркуля. Для збільшення точності вимірювання спочатку слід виміряти відстань між крайніми гребенями декількох

(3...5) хвиль і поділити цю відстань на кількість вибраних для вимірювання хвиль.

Амплітуду коливань можна знайти як висоту хвиль на обробленій поверхні (в межах 2-3 хвиль), виміряну за допомогою індикатора годинникового типу.

## 9.2. Прилади та обладнання

1. Токарний верстат з трикулачковим патроном.
2. Заготовка у вигляді круглого прутка.
3. Індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм, установлений на магнітному стояку.
4. Штангенциркуль з ціною поділки 0,05 мм.
5. Прохідний різець з головним кутом в плані  $\varphi = 45^\circ$ ;

## 9.3. Порядок виконання роботи

1. Встановити і закріпити пруток діаметром 20...25 мм та довжиною 170...200 мм з вильотом 140...160 мм у патроні верстата.
2. За допомогою органів керування верстата встановити такі режими обробки:  $v = 90...100$  м/хв,  $s = 0,2...0,25$  мм/об.
3. Проточити пруток з глибиною різання  $t = 0,25$  мм. Якщо вібрація не виникла, то дослід потрібно повторити, послідовно збільшуючи глибину різання до тих пір, поки не буде знайдена вібраційна глибина різання. Виникнення вібрації супроводжується характерним шумом і появою вібраційних слідів на обробленій поверхні.
4. Заміряти довжину хвилі та амплітуду коливань на поверхні різання в чотирьох перерізах, де помітна зміна частоти вібрації, й підрахувати цю частоту. Результати записати в таблицю.
5. Зафіксувати правий торець прутка центром, установленим в пінолі задньої бабки, і, проточивши пруток з тією ж глибиною різання, що й у п. 4., переконатись, що вібрації, спричинені автоколиваннями, відсутні.
6. Підрахувати жорсткість деталі в цих перерізах. Результати записати в таблицю.
7. Скласти звіт.

## 9.4. Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.
2. Тип та модель верстата.
3. Марка матеріалу заготовки.
4. Геометрія різця та режими різання.
5. Ескіз, що пояснює схему установлення заготовки з відповідними розмірами.



6. Результати розрахунків та дослідів (у вигляді таблиці 9.1).
7. Графіки залежності частоти й амплітуди вібрації від жорсткості.
8. Висновки.

Таблиця 9.1

№ перерізу	Відстань від перерізу до кулачків ( $x$ ), мм	Довжина хвилі ( $l$ ), мм	Частота вібрації ( $f$ ), Гц	Амплітуда вібрації ( $A$ ), мм	Жорсткість деталі ( $j$ ), Н/мм
1					
2					
3					
4					

### 9.5. Питання для самоперевірки

1. Що таке вібрація?
2. Якими видами коливань можуть бути вібрації в системі ВПД?
3. Чи виникають вільні коливання в стійких системах?
4. Чи виникають вимушені коливання в стійких системах?
5. Чи виникають автоколивання в стійких системах?
6. Від чого залежать частота і амплітуда вимушених коливань?
7. Від чого залежать частота і амплітуда автоколивань?
8. Який характер впливу жорсткості системи ВПД на появу, частоту та амплітуду автоколивань?
9. Шляхи підвищення вібростійкості системи ВПД.

**Рекомендована література:** [13].

## Лабораторна робота №10

### ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОЧНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПЕРЕХОДУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ТОЧКОВИХ ДІАГРАМ

**Мета роботи** – оволодіння навиками попереднього визначення основних статистичних характеристик технологічного переходу операції механічної обробки.

#### 10.1. Загальні положення і методика виконання роботи

Для настроювання верстата під час його підготовки до механічної обробки партії заготовок потрібно знати основні статистичні характеристики розподілу розміру  $X$ , який отримується на цьому переході технологічної операції, як безперервної випадкової величини.

До таких характеристик відносять: відсутність чи наявність стійкості технологічного процесу, відсутність чи наявність впливу факторів, що спричиняють систематичні похибки, значення середньоквадратичного відхилення контрольованого розміру, закон його розподілу тощо. Більшість з цих характеристик можна визначити за допомогою методу точкових діаграм.

Статистичний аналіз методом точкових діаграм виконують таким чином.

Вибірки об'ємом  $n = 5 \dots 10$  штук беруться безперервно або через певні фіксовані проміжки часу роботи верстата (наприклад через 15...20 хвилин). Верстат має працювати з приблизно однаковими зупинками для встановлення й знімання заготовок, без тривалих перерв і без піднастроювання. У кожній з відібраних заготовок визначають дійсний розмір  $X$ . Ці розміри визначаються за допомогою універсального вимірювального інструмента, у якого ціна поділки шкали має становити  $(1/6 \dots 1/10)T$ , де  $T$  – допуск контрольованого розміру. Результати вимірювань записують у таблицю 10.1.

Для кожної вибірки визначають середній розмір

$$\bar{X}_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (10.1)$$

і середньоквадратичне відхилення

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\bar{X}_i - X_j)^2}{n}}, \quad (10.2)$$

де  $n$  – кількість деталей у вибірці,  $i$  – номер вибірки,  $j$  – номер деталі у вибірці

Таблиця 10.1

№ вибірки	Дійсні розміри деталей, мм					Статистичні Характеристики вбірок	
	Деталь №1	Деталь №2	Деталь №3	Деталь №4	Деталь №5	$\bar{X}_i, \text{мм}$	$\sigma_i, \text{мм}$

Результати розрахунків також записують у таблицю 10.1.

За результатами вимірювань і розрахунків будують точкові діаграми. Ці діаграми, в залежності від технологічних особливостей операції і стану обладнання, можуть мати різний вигляд. Наприклад, у випадку, якщо різання здійснюється інструментом, доведеним алмазним кругом, і з ефективним охолодженням (тобто, коли початковий знос і видовження інструмента від нагрівання незначні), точкова діаграма матиме вигляд, показаний на рис. 10.1.

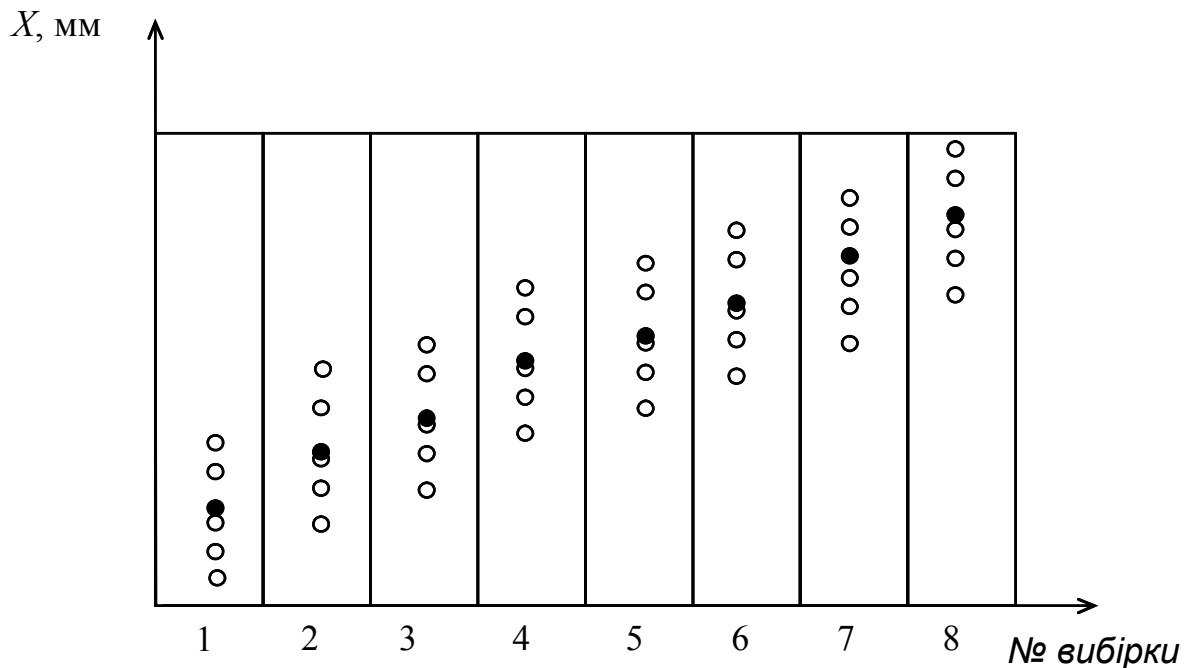


Рис. 10.1. Типова точкова діаграма, що характерна для процесу механічної обробки із суттєвим впливом факторів, які закономірно змінюються

○ – дійсний розмір заготовки; ● – середній розмір вибірки

У даному випадку змінення середнього розміру  $\bar{X}$  з переходом від попередньої вибірки до наступної пояснюється впливом на точність механічної обробки факторів, що спричиняють появу систематичних похибок, які закономірно змінюються. Такими факторами можуть бути, наприклад, розмірний знос різального інструмента або температурні деформації елементів системи ВПД.

Якщо ж вплив таких факторів незначний, то точкова діаграма матиме вигляд, показаний на рис. 10.2.

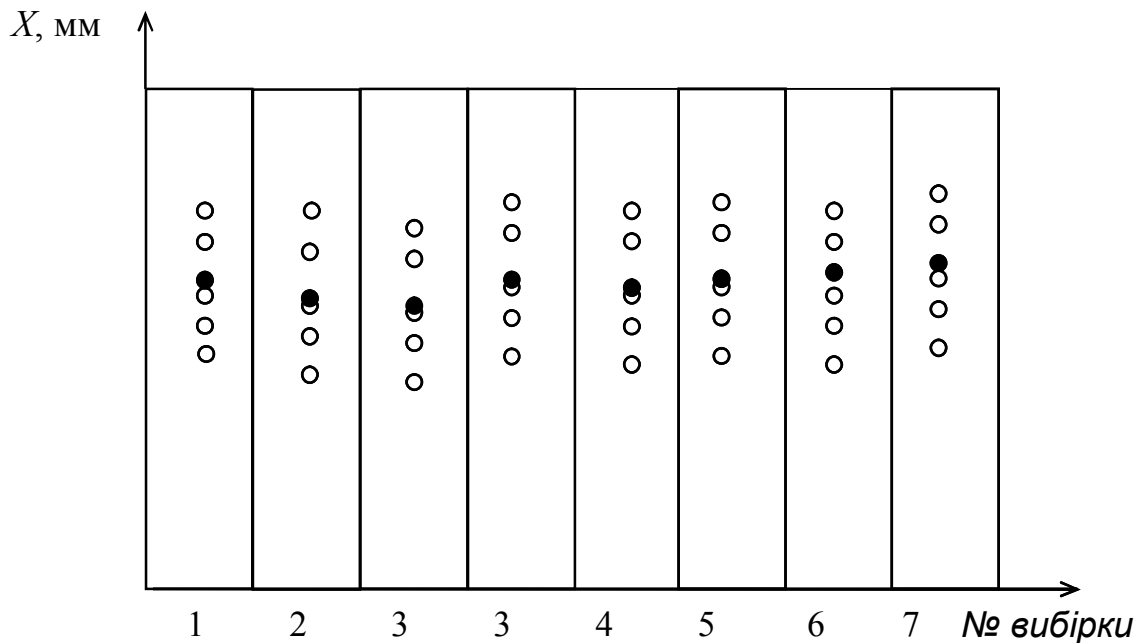


Рис. 10.2. Типова точкова діаграма, характерна для процесу механічної обробки із незначним впливом факторів, що закономірно змінюються

Для оцінювання технологічної стійкості переходу будують точкову діаграму середньоквадратичних відхилень  $\sigma_i$  вибірок. Типова точкова діаграма стійкого переходу показана на рис. 10.3. Якщо значення  $\sigma_i$  для різних вибірок суттєво відрізняються, то перехід вважається технологічно нестійким. Приклад точкової діаграми такого переходу показаний на рис. 10.4. Втрату стійкості можуть спричинити, наприклад, надто великі люфти між рухомими деталями елементів системи ВПД, значний розкид фізико-механічних властивостей матеріалу заготовок тощо. У цьому випадку слід виявити причини нестійкості, усунути їх і лише після цього настроїти верстат і обробляти заготовки.

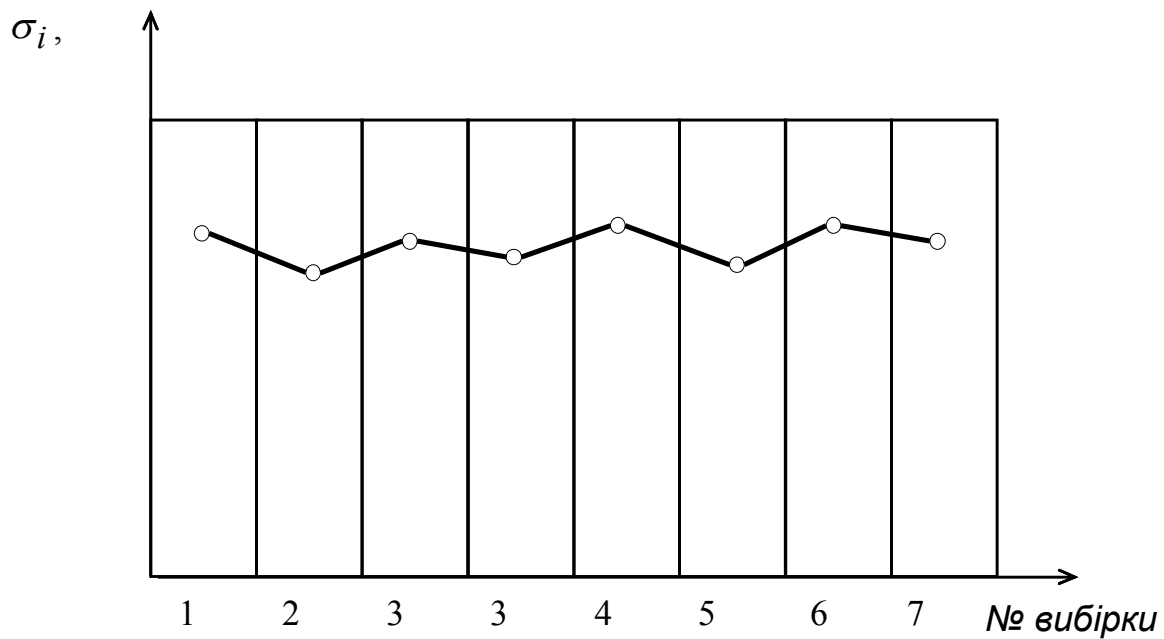


Рис. 10.3. Типова точкова діаграма технологічно стійкого переходу

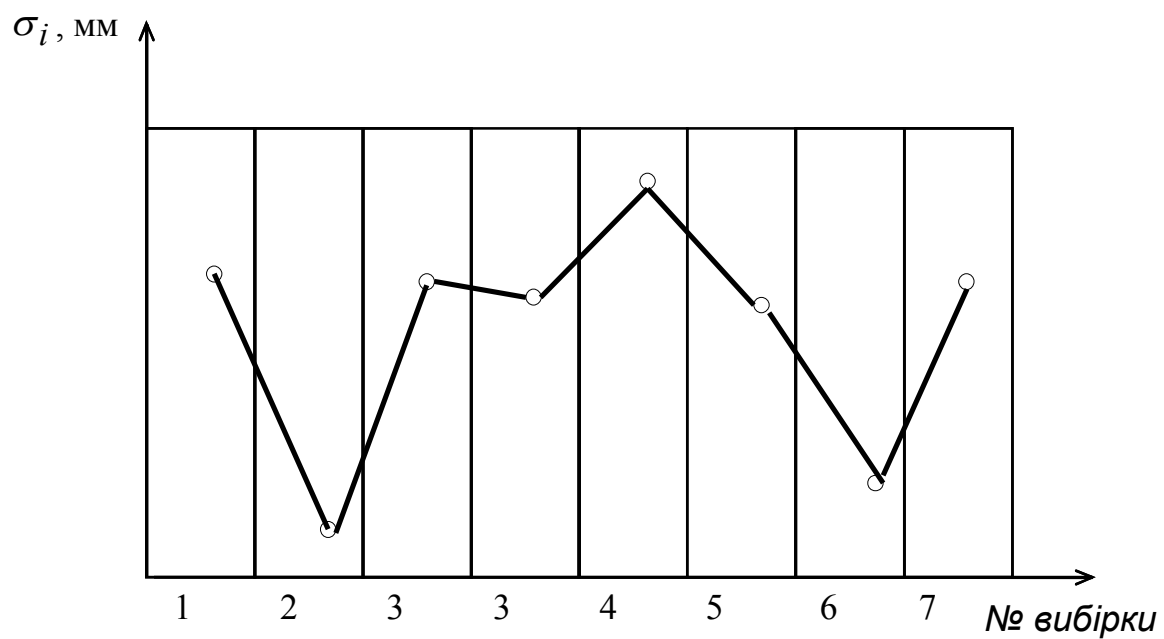


Рис. 10.4. Типова точкова діаграма технологічно нестійкого переходу

## 10.2. Рекомендації до виконання роботи

Роботу пропонується виконувати на токарно-гвинторізному верстаті, вважаючи, що здійснюваний перехід – чистове точіння. Режими різання можуть бути такі: подача 0,1...0,15 мм/об; швидкість різання 90...110 м/хв.

Припускаючи, що крім досліджуваного переходу на даній операції виконується ще декілька переходів, потрібно, імітуючи реальні виробничі умови, після проточування кожної із заготовок відвести різець, повернути різцетримач на 360° і за допомогою лімба установити вершину різця на розмір настроення. Цей розмір для всіх деталей досліджуваної партії має бути однаковим і таким за величиною, щоб глибина різання відповідала умовам чистового точіння, тобто не перевищувала 0,2...0,3 мм.

Перед точінням заготовки слід розбити на вибірки об'ємом 5 штук в кожній і в такому порядку їх обробляти.

## 10.3. Порядок виконання роботи

1. Встановити за допомогою органів керування верстата частоту обертання шпинделя і подачу згідно з рекомендаціями підрозділу 10.2.
2. Закріпити заготовку в пристрої й установити різець на розмір настроення.
3. Проточити заготовку.
4. Відвести різець, повернути різцетримач на 360° і по лімбу знову установити різець на розмір настроення.
5. Проточити наступну заготовку.
6. Повторити дії у відповідності з п. 4 цього підрозділу.
7. У викладеному вище порядку проточити решту заготовок партії.
8. Виміряти всі заготовки у порядку їх обробки. Результати записати у таблицю.
9. За формулами (10.1) і (10.2) визначити для кожної вибірки середній розмір  $\bar{X}$  та середньоквадратичне відхилення  $\sigma_i$  і записати їх значення у таблицю.
10. Побудувати точкові діаграми, що характеризують змінення дійсного розміру  $X$  та середньоквадратичного відхилення  $\sigma_i$ . Проаналізувати ці діаграми щодо стійкості технологічного переходу і наявності впливу факторів, які спричиняють появу систематичних похибок, що закономірно змінюються.
11. Обчислити середньоквадратичне відхилення розміру  $X$  на даному переході за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}{m}}, \quad (10.3)$$

де  $m$  – кількість проаналізованих вибірок.

12. Сформулювати висновки і пропозиції.

#### 10.4. Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.
2. Тип і модель верстата.
3. Матеріал заготовки.
4. Відомості про різальний інструмент (матеріал різальної частини та її геометричні параметри).
5. Режими різання.
6. Результати вимірювань розміру  $X$  і розрахунків  $\bar{X}_i$  та  $\sigma_i$  (у вигляді таблиці 10.1).
7. Точкові діаграми для розміру  $X$  та середньоквадратичних відхилень  $\sigma_i$  вибірок.
8. Результати розрахунку середньоквадратичного відхилення обробки на даному переході  $\sigma$  (за формулою 10.3).
9. Висновки і пропозиції.

#### 10.5. Питання для самоперевірки

1. Методи математичної статистики, які знаходять застосування в технології машинобудування.
2. Суть методу точкових діаграм.
3. Які вимоги мають задовольняти заготовки, що підлягають аналізу точності за допомогою методу точкових діаграм?
4. Основні статистичні характеристики розподілу безперервних випадкових величин.
5. Що розуміють під стійкістю технологічного переходу?
6. Які статистичні характеристики точності технологічного переходу можна визначити за допомогою точкової діаграми?
7. Для чого використовують результати аналізу точності механічної обробки, виконаного за допомогою методу точкових діаграм?

**Рекомендована література:** [8, 10, 13, 23].

## Лабораторна робота №11

### НАСТРОЮВАННЯ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА ЗА ДОПОМОГОЮ СПОСОБУ ПРОБНИХ ЗАГОТОВОК

**Мета роботи** – оволодіння навиками настроювання верстатів для виконання операцій механічної обробки.

#### 11.1. Загальні положення і методика виконання роботи

У серійному й масовому виробництві обробку деталей здійснюють на попередньо настроєних верстатах. Така обробка забезпечує автоматичне отримання розмірів, які залежать у цьому випадку від положення вершини інструмента відносно технологічних баз заготовки.

Задача настроювання верстатів полягає в установленні вершини різального інструмента у таке положення, яке забезпечувало б розміщення значень дійсних розмірів деталей усієї партії або ж більшої її частини в межах поля допуску  $T$ .

В машинобудуванні застосовуються два способи настроювання верстатів – за пробними заготовками та за еталоном.

Настроювання верстатів за пробними заготовками може виконуватись з використанням робочих калібрів та універсального вимірювального інструменту.

В даній лабораторній роботі розглядається спосіб настроювання верстатів за пробними заготовками з використанням універсального вимірювального інструменту [13]. Слід зазначити, що цей спосіб є одним з найпоширеніших. Теоретичне підґрунтя способу розробив А. Б. Яхін. В лабораторній роботі використовується методика настроювання, викладена в роботі [13].

Цей спосіб найчастіше використовується для настроювання верстатів на операціях чистової і фінішної обробки, оскільки він забезпечує більшу точність у порівнянні зі способом настроювання за еталоном.

Виконання цієї лабораторної роботи передбачає використання результатів попередньо виконаної роботи № 10 “Визначення статистичних характеристик точності технологічного переходу”, оскільки перед настроюванням верстата необхідно переконатись в технологічній стійкості переходу, а також знати його основні статистичні характеристики.

Суть розглядуваного способу настроювання полягає у тому, що вершина різального інструмента встановлюється на певний попередньо розрахований розмір, який називають розміром настроєння. Правильність настроєння встановлюється робітником-настроювачем після обробки групи  $m$  пробних заготовок. Настроєння визнається правильним, якщо середнє



арифметичне значення розмірів пробних заготовок знаходиться в межах допуску настроєння, який також попередньо розраховується.

Таким чином, перед настроюванням верстата потрібно знайти розмір настроювання.

Вважаючи, що пружні зміщення від дії сил різання в системі ВПД незначні і ними можна знехтувати, номінальне значення розміру настроєння у відповідності з [23] для зовнішніх циліндричних поверхонь можна визначити за формулою

$$D_H = [D_{\min}] + 3\sigma + 0,5\varepsilon_H, \quad (11.1)$$

де  $[D_{\min}]$  – найменший розмір зовнішньої циліндричної поверхні згідно з операційним ескізом;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення розмірів заготовок, спричинене випадковими похибками, які виникають в процесі виконання технологічного переходу;  $\varepsilon_H$  – похибка настроєння.

Для внутрішніх циліндричних поверхонь

$$D_H = [D_{\max}] - 3\sigma - 0,5\varepsilon_H, \quad (11.2)$$

де  $[D_{\max}]$  – найбільший розмір поверхні згідно з операційним ескізом.

Значення  $\sigma$  слід взяти з результатів попередньо виконаної лабораторної роботи №10.

Для способу пробних заготовок похибку настроєння можна знайти за формулою [13]

$$\varepsilon_H = 1,2\sqrt{\varepsilon_p^2 + \varepsilon_{\text{ВМ}}^2 + \varepsilon_{\text{ЗМ}}^2}, \quad (11.3)$$

де  $\varepsilon_p$  – похибка регулювання;  $\varepsilon_{\text{ВМ}}$  – похибка вимірювання;  $\varepsilon_{\text{ЗМ}} = 6\sigma/\sqrt{m}$  – поле імовірного зміщення розташування вершини кривої розподілу групових середніх розмірів пробних заготовок.

Похибка регулювання

$$\varepsilon_p = \Delta_{\text{Л}}, \quad (11.4)$$

де  $\Delta_{\text{Л}}$  – ціна поділки лімба регулювального пристрою верстата (в діаметральному вимірі).

Похибка вимірювання

$$\varepsilon_{\text{ВМ}} = \Delta_{\text{В.і}}, \quad (11.5)$$

де  $\Delta_{в.і}$  – ціна поділки універсального вимірювального інструмента, яким вимірюються пробні заготовки.

Розраховані за формулами (11.1) або (11.2) розміри настроєння розглядають як номінальні розміри. Оскільки під час обробки групи пробних заготовок відбувається розсіювання розмірів, то потрібно за фактичний (отриманий) розмір настроєння прийняти середнє арифметичне значення  $\bar{D}$  дійсних розмірів цих заготовок. Величина  $\bar{D}$  характеризує центр “миттєвого” розсіювання в початковий період роботи верстата, тобто одразу після настроювання.

Настроєння вважається задовільним, якщо виконується умова

$$D_{н} - \frac{1}{2}T_{н} \leq \bar{D} \leq D_{н} + \frac{1}{2}T_{н} \quad (11.6)$$

де  $T_{н}$  – допуск настроєння, який може бути визначений за формулою [12]

$$T_{н} = 1,2\sqrt{(\varepsilon_{р})^2 + (\varepsilon_{вм})^2}. \quad (11.7)$$

## 11.2. Рекомендації до виконання роботи

Цю роботу пропонується виконати на токарно-гвинторізному верстаті з технологічними умовами, які збігаються з технологічними умовами виконання лабораторної роботи № 10 “Визначення статистичних характеристик точності технологічного переходу”, вважаючи, що здійснюваний технологічний перехід – чистове точіння зовнішньої циліндричної поверхні з допуском за ІТ 10 (СТ СЭВ 144-75).

Кількість пробних заготовок у групі – 5...6 шт.

Вимірювання розмірів пробних заготовок після проточування рекомендується виконувати за допомогою мікрометра з ціною поділки 0,01 мм.

## 11.3. Порядок виконання роботи

1. За формулою (11.3) визначити похибку настроєння.
2. За формулою (11.1) або (11.2) знайти розмір настроєння.
3. За формулою (11.7) визначити допуск настроєння.
4. Установити заготовку у верстатний пристрій.
5. Використовуючи спосіб пробних проходів і промірів, установити вершину різця на розмір, найближчий (за даних технологічних умов) до розміру настроєння.

6. З досягнутим під час виконання пункту 5 положенням вершини різця проточити всі пробні заготовки групи і виміряти їх розміри (після остигання).

7. Визначити середній розмір  $\bar{D}$  групи пробних заготовок.

8. Перевірити виконання співвідношення (11.6) і дати оцінку точності настроєння.

9. Сформулювати висновки та пропозиції.

10. Скласти звіт.

#### **11.4. Зміст звіту**

1. Назва і мета роботи.

2. Тип і модель верстата, ціна поділки лімба верстата.

3. Матеріал заготовки.

4. Відомості про різальний інструмент (матеріал різальної частини і її геометричні параметри).

5. Режими різання.

6. Операційний ескіз.

7. Розрахунок розміру настроєння.

8. Визначення середнього розміру групи пробних заготовок.

9. Висновки.

#### **11.5. Питання для самоперевірки**

1. Основні статистичні характеристики розподілу безперервних випадкових величин.

2. Початкові дані, суть і послідовність настроювання верстата способом пробних заготовок.

3. Чому перед настроюванням верстата способом пробних заготовок необхідно знати основні статистичні характеристики точності технологічного переходу?

4. У якому випадку настроєння верстата за способом пробних заготовок вважається задовільним?

5. Які фактори впливають на точність настроєння верстата за способом пробних заготовок?

6. Дайте порівняльну характеристику способів настроювання верстатів за пробними заготовками і за еталоном.

**Рекомендована література:** [13, 23].

## Лабораторна робота №12

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБКИ УСТАНОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТА НА ЕТАЛОН, ЯК СКЛАДОВОЇ ПОХИБКИ НАСТРОЄННЯ

*Мета роботи* – оволодіння навиками експериментального визначення похибки установлення інструмента на еталон.

#### 12.1. Загальні положення

В лабораторній роботі розглядається спосіб настроювання верстатів за допомогою еталона. Суть способу полягає в тому, що вершина різального інструмента встановлюється в необхідне положення за допомогою спеціальної деталі – еталона. Таким чином, під час настроювання вершина інструмента підводиться до відповідної поверхні еталона на певну відстань, яка контролюється щупом.

Настроювання за еталонем є статичним способом, оскільки під час установлення інструмента на розмір обробки верстат не працює. Пружні зміщення елементів системи ВПД під дією сил різання враховують, підбираючи розмір еталона.

Цей спосіб найчастіше використовується для настроювання токарних і фрезерних верстатів на операціях чорнової і напівчистої обробки, оскільки він забезпечує меншу точність у порівнянні зі способом настроювання за допомогою пробних заготовок. Разом з тим, настроювання за еталонем менш трудомістке, може виконуватись робітниками невисокої кваліфікації, його можна здійснювати поза верстатом за наявності змінних інструментальних блоків і револьверних головок, а також спеціальних пристроїв.

Під час настроювань різального інструмента неможливо постійно забезпечувати абсолютно однакове положення його вершини. В загальному випадку похибка настроєння верстата залежить від похибки регулювання положення вершини інструмента  $\varepsilon_p$  і похибки вимірювання розміру деталі  $\varepsilon_B$ .

Похибка настроєння для діаметральних розмірів може бути розрахована за формулою [24]

$$\varepsilon_H = \sqrt{(K_p \varepsilon_p)^2 + \left(K_B \frac{\varepsilon_B}{2}\right)^2}. \quad (12.1)$$

Коефіцієнти  $K_p$  і  $K_B$  враховують відхилення законів розподілу величин  $\varepsilon_p$  та  $\varepsilon_B$  від нормального закону розподілу. Можна прийняти, що  $K_p = 1,14 \dots 1,73$  і  $K_B = 1$ .

Похибка вимірювання визначається за формулою

$$\varepsilon_{\text{в}} = \varepsilon_{\text{л}},$$

де  $\varepsilon_{\text{л}}$  – ціна поділки універсального вимірювального інструмента.

Похибка регулювання визначається за формулою

$$\varepsilon_{\text{р}} = 1,2 \sqrt{\varepsilon_{\text{в.е}}^2 + \varepsilon_{\text{у.і}}^2}, \quad (12.2)$$

де  $\varepsilon_{\text{в.е}}$  – похибка виготовлення еталона,  $\varepsilon_{\text{у.і}}$  – похибка установлення інструмента на еталон.

Похибка виготовлення еталона складає 10...20 мкм [22].

Похибка установлення інструмента на еталон може змінюватись в достатньо широких межах і суттєво залежить від способу регулювання положення різця в процесі настроювання [24].

В лабораторній роботі експериментально визначається величина похибки установлення інструмента на еталон, яка виникає під час настроювання різця для токарної обробки, з урахуванням того, що установлення вершини різця на розмір здійснюється за допомогою металевго щупа.

## 12.2. Обладнання та прилади

1. Токарний верстат.
2. Індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм, закріплений на магнітному стояку.
3. Металевий щуп.
4. Спеціальний металевий брусок.

## 12.3. Методика і порядок виконання роботи

1. Встановити в різцетримачі 1 (рис. 12.1) токарного верстата різець 2 і брусок 3 та закріпити їх.
2. Встановити на станині магнітний стояк 4 з індикатором 5.
3. За допомогою маховичка ручної поперечної подачі підвести вершину різця до щупа 6, притиснутого до пінолі 7 задньої бабки (в лабораторній роботі піноль задньої бабки використовується як еталон). Щуп має проходити між піноллю і вершиною різця з невеличким зусиллям.
4. Підвести вимірювальний штифт індикатора до поверхні бруска з натягом 1...2 мм.
5. Багаторазово (25...30 разів) підвести різець до щупа, щоразу вимірюючи кінцеве положення за допомогою індикатора.

6. Визначити похибку установалення інструмента на еталон як поле розсіювання положень вершини різця за формулою

$$\varepsilon_{y.i} = \Delta_{\max} - \Delta_{\min} ,$$

де  $\Delta_{\max}$  і  $\Delta_{\min}$  – відповідно, максимальне і мінімальне відхилення стрілки індикатора.

7. Побудувати гістограму розподілу дійсних значень положень вершини різця і зробити висновок про відповідність її тому чи іншому закону розподілу. Під час виконання цього пункту слід використати методику, викладену в лабораторній роботі №4.

8. Вважаючи, що  $\varepsilon_B = 10$  мкм, а  $\varepsilon_{B,e} = 20$  мкм, за формулою (12.1) розрахувати похибку настроєння верстата.

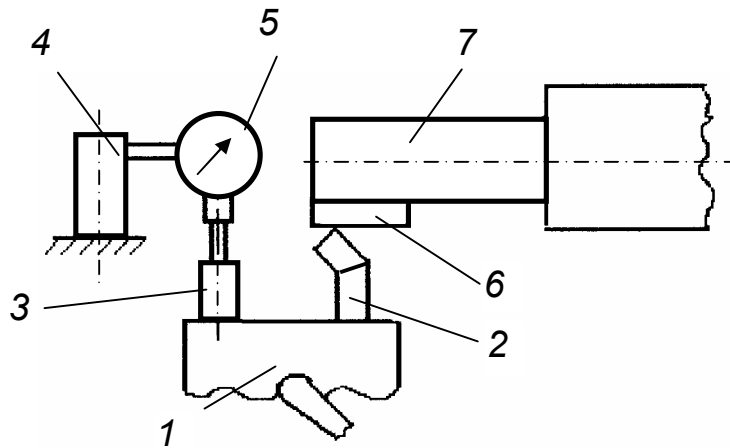


Рис. 12.1. Схема проведення експерименту

#### 12.4. Зміст звіту

1. Назва роботи.
2. Дані про обладнання та вимірювальні засоби.
3. Результати вимірювань.
4. Графік гістограми розподілу дійсних значень положень вершини різця.
5. Результати розрахунків.
6. Висновки.

## 12.5. Питання для самоперевірки

1. Які способи настроювання верстатів на розмір обробки використовуються в машинобудуванні? Поясніть суть цих способів.
2. Як визначається похибка настроєння? Який характер виявлення має ця похибка?
3. Назвіть шляхи зменшення похибки настроєння.
4. Який характер виявлення має похибка установлення інструмента на еталон?

**Рекомендована література:** [22, 24].

### *Лабораторна робота №13*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ КЕРУВАННЯ ПРУЖНИМИ ЗМІЩЕННЯМИ У СИСТЕМІ ВПІД ЗМІНОЮ ПОДАЧІ**

*Мета роботи* – вивчення можливостей підвищення точності токарної обробки циліндричної деталі керуванням пружними зміщеннями в системі ВПІД зміною подачі.

### **13.1. Загальні положення й методика виконання роботи**

Під час визначення режимів різання подача вибирається за довідниками [17–19 та ін.].

Для забезпечення найвищої продуктивності подача для попереднього (чорнового) точіння приймається максимально допустимою. Факторами, що впливають на величину подачі, є: жорсткість системи ВПІД, міцність матеріалу заготовки, міцність різальної пластини і міцність державки [25]. Після попереднього вибору подачі здійснюють її перевірку з точки зору відповідності потужності різання наявній потужності привода головного руху верстата.

Подачу для чистового точіння вибирають за таблицями в залежності від бажаних параметрів шорсткості обробленої поверхні і радіуса вершини різця.

Якщо довгий нежорсткий валик проточують за один робочий хід на верстаті з ЧПК, то можна підвищити продуктивність обробки програмуванням подачі в залежності від зміни жорсткості системи ВПІД по координаті руху інструмента [1]. Наприклад, під час точіння такого валика в центрах (рис. 13.1) і русі різця з робочою подачею у напрямі від задньої бабки до передньої жорсткість системи ВПІД через змінність жорсткості валика спочатку зменшується, а потім збільшується. Відповідно, для за-

безпечення однакової величини пружних зміщень потрібно подачу спочатку зменшувати, а потім збільшувати.

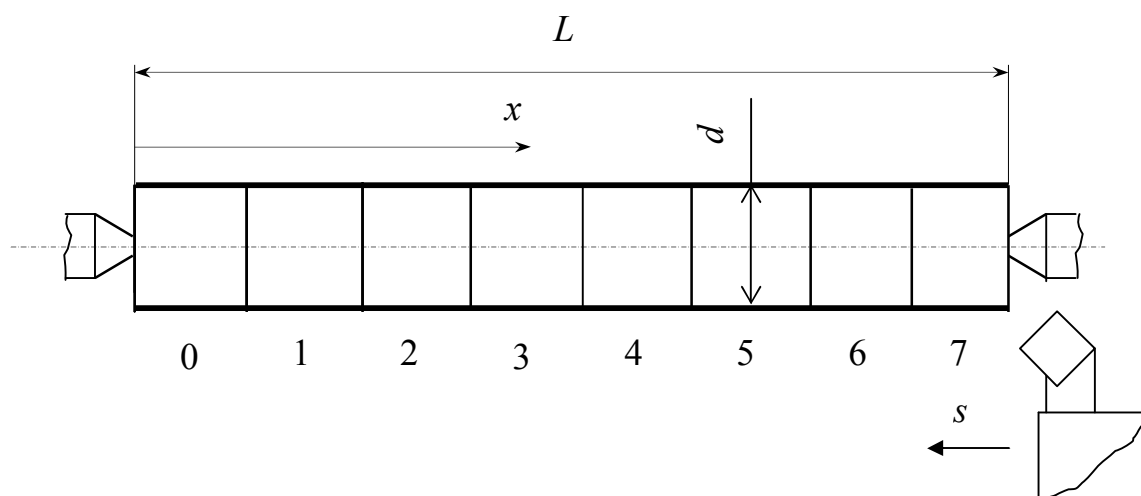


Рис. 13.1. Схема точіння довгого валика в центрах

Знайдемо значення подачі  $s$  для різних на різних ділянок заготовки.

Під час обробки в центрах заготовки у вигляді довгого нежорсткого валика сумарне пружне зміщення елементів системи ВПД в  $i$ -му перерізі заготовки визначатиметься співвідношенням (8.3).

Очевидно, жорсткість системи ВПД найбільша біля переднього торця заготовки  $i$ , відповідно, подача тут може бути найбільша. Приймавши, таким чином, у формулі (8.3)  $x = 0$ , отримаємо співвідношення для визначення пружного зміщення на цій ділянці

$$y(0) = P_y(0) \left[ \frac{1}{J_{п.б.}} + \frac{1}{J_{суп.}} \right], \quad (13.1)$$

де  $P_y(0)$  – радіальна складова сили різання в перетині, який відповідає координаті  $x = 0$ .

Для забезпечення мінімального відхилення форми проточеної поверхні від циліндричності, спричиненого нежорсткістю системи ВПД, має виконуватись умова однаковості пружних зміщень у будь-якому перетині заготовки

$$y_i(x) = y(0). \quad (13.2)$$

Радіальна складова сили різання  $P_y$  визначається за формулою (7.17).



Підставивши (7.17), (8.3) і (13.1) в (13.2), отримаємо

$$C_{pt} x s_i^y v^n K_p \left[ \frac{x^2(L-x)^2}{3EIL} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{п.б}} + \left(\frac{L-x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{з.б}} + \frac{1}{j_c} \right] = \\ = C_{pt} x s_0^y v^n K_p \left[ \frac{1}{j_{п.б}} + \frac{1}{j_{суп}} \right] .$$

Розв'язавши це співвідношення відносно  $s_i$ , отримаємо

$$s_i = s_0 \left[ \frac{\frac{1}{j_{п.б}} + \frac{1}{j_{суп}}}{\frac{x^2(L-x)^2}{3EIL} + \frac{1}{j_{з.б}} \left(\frac{x}{L}\right)^2 + \frac{1}{j_{п.б}} \left(\frac{L-x}{L}\right)^2 + \frac{1}{j_{суп}}} \right] y^{-1} . \quad (13.3)$$

З урахуванням того, що  $\omega_{п.б} = \frac{1}{j_{п.б}}$ ,  $\omega_{з.б} = \frac{1}{j_{з.б}}$ ,  $\omega_c = \frac{1}{j_{суп}}$ , де

$\omega_{п.б}$ ,  $\omega_{з.б}$ ,  $\omega_{суп}$  – відповідно, податливості передньої бабки, задньої бабки і супорта, а  $I = \pi d^4/64$ , де  $d$  – діаметр заготовки, запишемо співвідношення (13.3) в остаточному вигляді

$$s_i = s_0 \left[ \frac{\omega_{п.б} + \omega_{суп}}{\frac{64x^2(L-x)^2}{3E\pi d^4 L} + \omega_{п.б} \left(\frac{L-x}{L}\right)^2 + \omega_{з.б} \left(\frac{x}{L}\right)^2 + \omega_{суп}} \right] y^{-1} . \quad (13.4)$$

Таким чином, за допомогою формули (13.4) можуть бути визначені значення подачі для відповідних зон заготовки, які забезпечують практично однакові пружні зміщення елементів системи ВПД на всій довжині проточуваної поверхні вала.

### 13.2. Обладнання, пристрої, прилади та інструменти

1. Токарний верстат з ЧПК.
2. Різець прохідний (Т15К6,  $\gamma = 10...12^\circ$ ,  $\varphi = 45...60^\circ$ ,  $\varphi_1 = 6...30^\circ$ ) з перерізом державки 16×24 мм.
3. Заготовка – пруток  $\varnothing 15...25$  мм.
4. Верстатний пристрій – повідцевий патрон.

5. Вимірювальний інструмент: масштабна лінійка  $L = 300$  мм, мікрометр (ціна поділки 0,01 мм).

### 13.3. Порядок виконання роботи

1. Виміряти довжину і діаметр заготовки.
2. За таблицею 7.1 знайти значення  $\omega_{п.б}$ ,  $\omega_{з.б}$  і  $\omega_{суп}$  для використовуваного типорозміру верстата. Для токарного верстата 16К20Т1 можна прийняти  $\omega_{п.б} = 0,4 \cdot 10^{-4}$  мм/Н;  $\omega_{з.б} = 0,6 \cdot 10^{-4}$  мм/Н;  $\omega_{суп} = 0,5 \cdot 10^{-4}$  мм/Н;
3. Виходячи з бажаної шорсткості, за таблицею 13.1 [25] визначити подачу  $s_0$ .

Таблиця 13.1

Параметр шорсткості поверхні, мкм		Радіус вершини різця, мм					
$Ra$	$Rz$	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4
0,63	–	0,07	0,1	0,12	0,14	0,15	0,17
1,25		0,1	0,13	0,165	0,19	0,21	0,23
2,5		0,144	0,2	0,246	0,29	0,32	0,35
–	20	0,25	0,33	0,42	0,49	0,55	0,60
	40	0,35	0,51	0,63	0,72	0,80	0,87
	80	0,47	0,47	0,81	0,94	1,04	1,14

Примітка: Подачі наведені для механічної обробки сталей з  $\sigma_s = 700 \dots 900$  МПа і чавуну; для сталей з  $\sigma_s = 500 \dots 700$  МПа значення подач перемножати на коефіцієнт 0,45; для сталей з  $\sigma_s = 900 \dots 1100$  МПа значення подач перемножати на коефіцієнт 1,25.

Прийнявши кількість ділянок обробки з однаковою подачею в межах від 5 до 7, розрахувати за формулою (13.4) подачу для на кожній з ділянок; при цьому для поздовжнього зовнішнього точіння можна прийняти  $u = 0,6$  [25]. Для розрахунку значень подачі слід використати спеціальну комп'ютерну програму Проєкт 3. Результати розрахунків записати в таблицю 13.2.

Таблиця 13.2

№ ділянки	Подача, $s_i$	Діаметр заготовки на $i$ -й ділянці після точіння зі змінною подачею $s_i$	Діаметр заготовки на $i$ -й ділянці після точіння з постійною подачею $s_0$
0			
1			
2			
·			
·			

Проточити заготовку, використовуючи отримані значення подач з такими режимами різання  $v = 90 \dots 110$  м/хв;  $t = 0,2 \dots 0,3$  мм.

За допомогою мікрометра виміряти діаметри проточеної поверхні на кожній з ділянок. Результати вимірювань записати в таблицю 13.2.

Знайти відхилення проточеної поверхні від циліндричності за формулою

$$\Delta = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \quad (13.5)$$

Проточити заготовку з подачею  $s_0$  і для отриманої заготовки виконати вимірювання й розрахунки за п.п. 6 і 7.

За допомогою мікрометра виміряти діаметри проточеної поверхні на кожній з ділянок і визначити її відхилення від циліндричності за формулою (13.5).

10. Зробити висновки.

#### 13.4. Зміст звіту

1. Найменування і мета роботи.
2. Найменування і модель верстата.
3. Основні характеристики різального і вимірювального інструмента.
4. Прийняті режими різання ( $t, s, n$ ).
5. Ескіз заготовки з розмірами ділянок.
6. Заповнена таблиця 13.2.
7. Висновки.

#### 13.5. Питання для самоперевірки

1. Виконання якої умови покладене в основу вибору подачі у цій роботі?
2. Як визначити відхилення реальної поверхні від циліндричності?
3. Зміст і послідовність виконання експерименту у цій роботі?
4. Жорсткість яких вузлів верстата враховується під час вибору подачі, що забезпечує мінімальне відхилення від циліндричності?
5. Яким чином можуть бути скомпенсовані пружні зміщення елементів системи ВПД під час обробки на верстаті з ЧПК?

**Рекомендована література:** [1, 25].

## Лабораторна робота №14

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА ШОРСТКІСТЬ ПРОТОЧЕНОЇ ПОВЕРХНІ

**Мета роботи** – вивчення впливу швидкості, подачі й глибини різання на шорсткість поверхні, набуття практичних навичок вимірювання шорсткості, знайомство з конструкцією приладів для вимірювання шорсткості.

#### 14.1. Загальні положення

Шорсткість є однією з основних характеристик якості поверхні. Шорсткість являє собою сукупність нерівностей з відносно малими кроками, які утворюють мікрорельєф поверхні.

Величина шорсткості поверхонь, які є конструкторськими базами, в значній мірі визначає експлуатаційні характеристики машин, оскільки суттєво впливає на тертя та знос в рухомих з'єднаннях, а також на стабільність і визначеність зазорів і натягів в нерухомих з'єднаннях.

Міцність деталей також залежить від шорсткості поверхні. Руйнування деталей в процесі їх експлуатації в більшості випадків починається з поверхневого шару через концентрацію напружень, які є наслідком наявних нерівностей. Чистова обробка деталей (пластичне поверхневе деформування, полірування та ін.) в значній мірі підвищують їх утомну міцність.

У зв'язку з вищевикладеним суттєве практичне значення мають дані про вплив на шорсткість поверхні факторів процесу різання.

Для кількісного оцінювання шорсткості поверхні ГОСТом 2789-78 встановлені такі параметри:

$Ra$  – середнє арифметичне відхилення профілю;

$Rz$  – висота нерівностей профілю по десяти точках;

$R_{max}$  – найбільша висота нерівностей профілю;

$S_m$  – середній крок нерівності профілю;

$S$  – середній крок нерівностей профілю по вершинах;

$t_p$  – відносна опорна довжина профілю.

В машинобудуванні для оцінювання шорсткості поверхні найчастіше використовуються величини  $Ra$  і  $Rz$ .

Базою для визначення відхилень профілю є середня лінія – лінія, яка має форму номінального профілю і проведена так, щоб в межах базової довжини середнє квадратичне відхилення відстаней від поверхні профілю до цієї лінії було мінімальним.

Величина  $Ra$  визначається як середнє арифметичне абсолютних значень відхилення у профілю від середньої лінії в границях базової довжини  $l$  (рис. 14.1)

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx, \quad (14.1)$$

або наближено

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (14.2)$$

де  $n$  – кількість точок, в яких визначаються відхилення профілю.

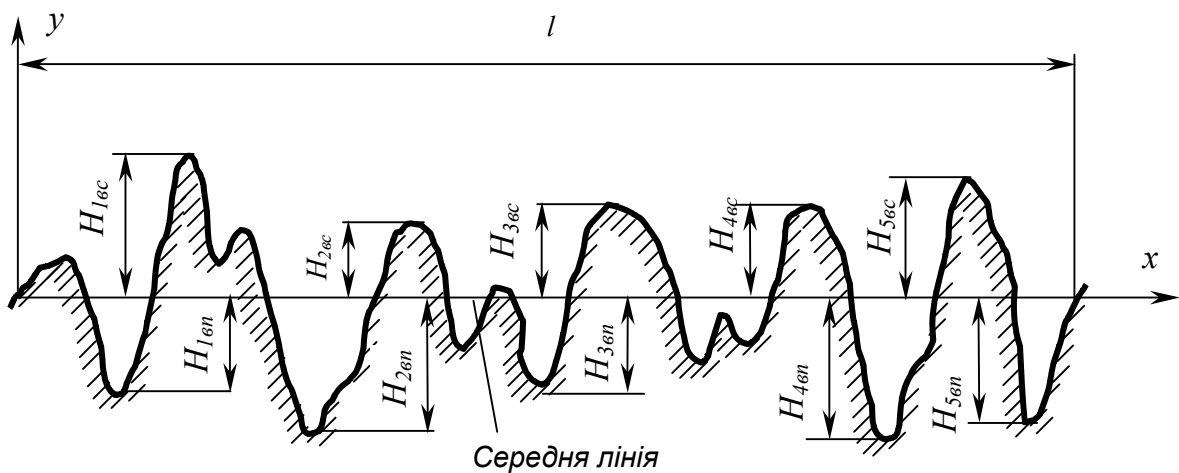


Рис. 14.1. Схема мікропрофілю поверхні для визначення параметрів шорсткості

Величина  $Rz$  визначається як сума середніх абсолютних відхилень від середньої лінії п'яти вищих за інші виступів і п'яти глибших за інші впадин профілю в межах базової довжини:

$$Rz = \frac{1}{5} \left( \sum_{i=1}^5 |H_{i_{\text{вс}}}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i_{\text{вп}}}| \right) \quad (14.3)$$

де  $H_{i_{\text{вс}}}$  – висота  $i$ -го виступу профілю,  $H_{i_{\text{вп}}}$  – глибина  $i$ -ої впадини профілю.

Базова довжина залежить від очікуваного значення параметра шорсткості  $Rz$  або  $Ra$  і визначається за довідниками. Так наприклад, якщо  $Rz$  знаходиться в межах від 320 до 80 мкм, то базова довжина дорівнює 8 мм, якщо ж  $Rz$  знаходиться в межах від 0,1 до 0,32 мкм, то базова довжина складе 0,08 мм.

Між величинами  $Rz$  та  $Ra$  існує певне співвідношення

$$Ra = \frac{1}{k} Rz . \quad (14.4)$$

Для попередньо оброблених поверхонь  $k \approx 4$ , для чистової обробки величина  $k$  ближче до 5.

Повні визначення параметрів  $R_{\max}$ ,  $S_m$ ,  $S$  та  $t_p$  є в довідковій літературі [13 та ін].

У цій лабораторній роботі розглядається вплив режимів різання (швидкості різання  $v$ , подачі  $s$ , глибини різання  $t$ ) на висоту мікронерівностей (параметри  $Ra$  і  $Rz$ ).

Поява мікронерівностей в процесі різання спричиняється спільним впливом пластичної плинності матеріалу із зони первинної деформації в сторону вершин мікронерівностей; вібрацій технологічної системи; наростотворення, зношування різальної кромки інструмента та інших.

Вплив наростотворення на формування мікронерівностей можна пояснити таким чином. В результаті адгезійної взаємодії на передній поверхні різця утворюється нарост. Поступово він збільшується в розмірах і все більше заглиблюється в оброблювану заготовку. Це збільшує опір заглибленню, призводить до утворення тріщини в нарості та викликає його руйнування. Зруйнований нарост розділяється на три частини – одна із них міцно скріплюється зі стружкою і виноситься з нею, друга залишається на передній поверхні різця і є основою для формування нового наросту, а третя залишається на обробленій поверхні і впливає на розміщення і розміри мікронерівностей, утворюючи характерну лускатість.

Наростотворення значною мірою обумовлює вплив на шорсткість поверхні швидкості різання. Якщо швидкість різання мала то нарост відсутній і висота мікронерівностей невелика. Зі збільшенням швидкості висота наросту збільшується, а разом з нею зростає висота мікронерівностей, досягаючи максимуму в зоні найбільш інтенсивного наростотворення. Далі нарост зменшується, викликаючи зниження шорсткості через зменшення об'єму пластичної деформації і коефіцієнта тертя на площинах контакту. Якщо оброблюваний матеріал не схильний до наростотворення, висота мікронерівностей монотонно зменшується зі збільшенням швидкості різання, хоча рівень цього зменшення невеликий.

Коли швидкість різання перевищує 120...150 м/хв, то вона у більшості випадків практично перестає впливати на шорсткість.

Величина подачі, кутів в плані, радіуса вершини різця впливають на висоту мікронерівностей так: зі зменшенням подачі, кутів  $\varphi$  і  $\varphi_1$  та збільшенням радіуса вершини різця висота мікронерівностей зменшується.

Глибина різання (ширина зрізу) і передній кут інструмента значного впливу на висоту мікронерівностей не мають. З підвищенням твердості й міцності оброблюваного матеріалу та зниженням його пластичності шорс-

ткість зменшується внаслідок зниження середнього коефіцієнта тертя й інтенсивності процесів пластичного деформування та наростоутворення.

Вплив технологічного середовища на шорсткість обробленої поверхні виявляється в першу чергу у зміні інтенсивності наростоутворення і величини середнього коефіцієнта тертя внаслідок утворення на контактних площинах інструмента змащувальних плівок. В результаті їх часткового чи повного зникнення при великих значеннях швидкості різання дія технологічного середовища послаблюється, а відмінності в характері впливу різних середовищ зникають.

Типові залежності  $Rz = f(v)$ ,  $Rz = f(s)$ ,  $Rz = f(t)$  наведені на рисунках 14.2, 14.3 і 14.4.

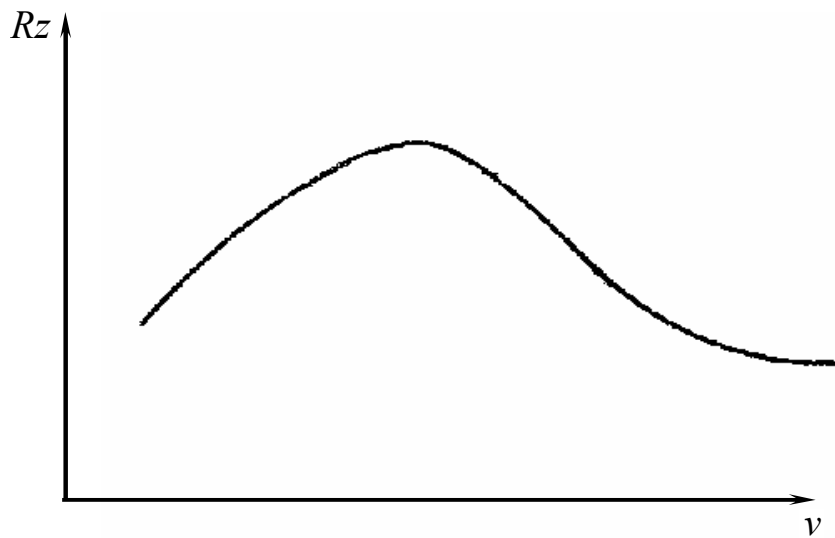


Рис. 14.2. Типова залежність параметра  $Rz$  від швидкості різання

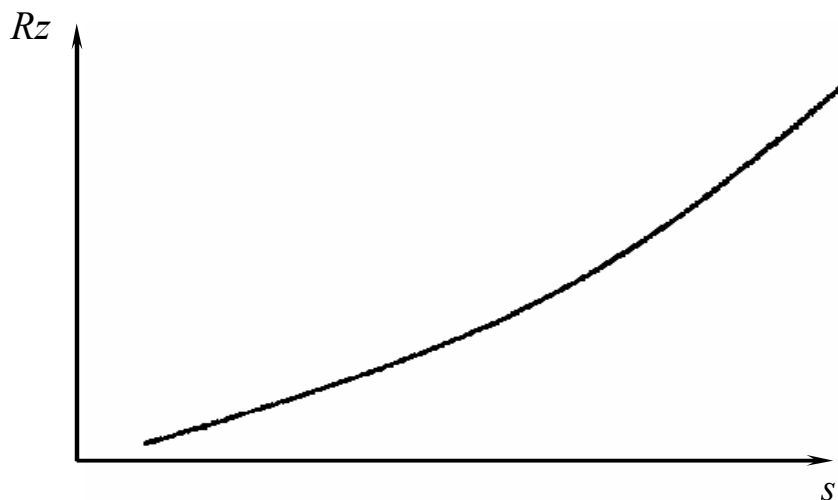


Рис. 14.3. Типова залежність параметра  $Rz$  від подачі

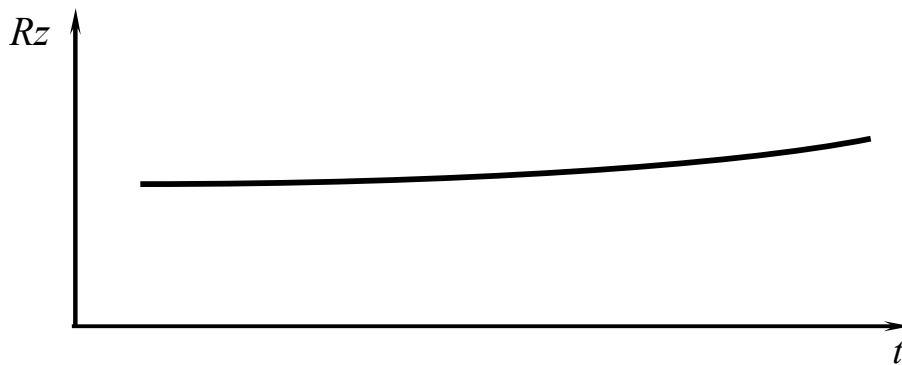


Рис. 14.4. Типова залежність параметра  $Rz$  від глибини різання

## 14.2. Методика і порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з фізико-хімічними властивостями матеріалу заготовки і геометрією різальної частини інструмента.

2. Виконати обточування 4 поясків вала для визначення залежності висоти мікронерівностей обробленої поверхні від швидкості різання. З цією метою пояски заготовки точити з постійною глибиною різання  $t = 0,5$  мм і подачею  $s = 0,21$  мм/об, але з різною швидкістю різання, наприклад,  $v_1 = 10$  м/хв,  $v_2 = 25$  м/хв,  $v_3 = 50$  м/хв,  $v_4 = 100$  м/хв.

3. Виконати обточування 4 поясків вала для визначення залежності висоти мікронерівностей обробленої поверхні від величини подачі. З цією метою пояски заготовки точити при глибині різання  $t = 1$  мм і частоті обертання  $n = 630$  об/хв, але з різною подачею, наприклад,  $s_1 = 0,1$  мм/об,  $s_2 = 0,21$  мм/об,  $s_3 = 0,4$  мм/об,  $s_4 = 0,6$  мм/об.

4. Виконати обточування 4 поясків вала для визначення залежності висоти мікронерівностей обробленої поверхні від глибини різання. З цією метою пояски заготовки точити при подачі  $s = 0,21$  мм/об; частоті обертання  $n = 630$  об/хв, але з різними глибинами, наприклад:  $t_1 = 0,1$  мм,  $t_2 = 0,25$  мм,  $t_3 = 0,5$  мм,  $t_4 = 1$  мм.

5. Визначити висоту мікронерівностей оброблених поверхонь. Результати вимірювань занести в таблицю.

6. Побудувати графік залежності висоти мікронерівностей обробленої поверхні від факторів впливу.

## 14.3. Прилади, інструменти та обладнання

1. Токарний верстат.
2. Різець токарний прохідний.
3. Штангенциркуль.
4. Заготовки.
5. Міри порівняння.
6. Мікроскоп.



#### 14.4. Зміст звіту

1. Мета роботи.
2. Відомості про оброблюваний матеріал заготовки: марка матеріалу, геометричні розміри.
3. Відомості про різальний інструмент: матеріал і геометрія різальної частини.
4. Дані вимірювань у вигляді таблиці 14.1.

Таблиця 14.1

№ досліджу	Режими різання				Висота мікронерівностей ( $Rz$ ), мкм
	$t$ , мм	$s$ , мм/об	$n$ , об/хв	$v$ , м/хв	

5. Короткий опис використаних засобів вимірювання показників шорсткості.
6. Графіки залежностей  $Rz = f(v)$ ,  $Rz = f(s)$ ,  $Rz = f(t)$  і стисле їх пояснення.
7. Висновки по роботі.

#### 14.5. Питання для самоперевірки

1. Що розуміється під шорсткістю поверхні?
2. Якими параметрами характеризується шорсткість поверхні?
3. Від яких факторів залежить висота мікронерівностей?
4. Поясніть характер впливу наростоутворення на висоту мікронерівностей поверхні.
5. Поясніть характер впливу швидкості різання на висоту мікронерівностей оброблюваної поверхні.
6. Поясніть характер впливу глибини різання на висоту мікронерівностей оброблюваної поверхні.
7. Поясніть характер впливу подачі на висоту мікронерівностей оброблюваної поверхні.
8. Як впливають на шорсткість поверхні фізико-механічні властивості матеріалу заготовки?
9. Методи і засоби вимірювання показників шорсткості поверхні.

**Рекомендована література:** [11,13].

## Лабораторна робота №15

### ВИЗНАЧЕННЯ НОРМИ ЧАСУ ОПЕРАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ У СЕРІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

**Мета роботи** – набуття практичних навиків розрахунку й експериментального визначення норми часу на виконання операції механічної обробки.

#### 15.1. Загальні положення та методика виконання роботи

У машинобудівному виробництві під час проектування чи модернізації технологічних процесів механічної обробки деталей та складання машин визначається час на виконання кожної з операцій (у хвиликах), який називають нормою часу.

У відповідності з ГОСТ 3.1109-82, нормою часу є регламентований час виконання певного обсягу робіт у певних виробничих умовах одним або декількома робітниками відповідної кваліфікації.

Таким чином, норма часу операції визначає його затрати на виконання цієї операції і є основою для оплати праці, а також для визначення собівартості деталі і виробу, розрахунку необхідної кількості робітників, одиниць обладнання, інструментів і пристроїв.

У серійному виробництві нормою часу операції є штучно-калькуляційний час.

У цій лабораторній роботі розглядається визначення норми часу на виконання токарної, свердлильної та фрезерної операцій, які виконуються на верстатах з ручним керуванням в умовах серійного виробництва.

Штучно-калькуляційний час  $T_{ш-к}$  розраховується за формулою

$$T_{ш-к} = T_{ш} + \frac{T_{п-з}}{n}, \quad (15.1)$$

де  $T_{ш}$  – штучний час;  $T_{п-з}$  – підготовчо-заклучний час;  $n$  – кількість заготовок у партії.

Під час нормування операцій механічної обробки штучний час визначається за формулою

$$T_{ш} = T_o + T_d + T_{обс} + T_{відп}, \quad (15.2)$$

де  $T_o$  – основний час, хв.;  $T_d$  – допоміжний час;  $T_{обс}$  – час на технічне обслуговування робочого місця;  $T_{відп}$  – час на особисті потреби й відпочинок робітника.

З плином основного часу відбуваються зміни розмірів, форми, шорсткості заготовки та інших якісних показників предмета праці. Для верста-

тних робіт основний час (у хвиликах) визначається як відношення величини шляху, пройденого різальним інструментом, до його хвилинної подачі.

Для точіння і розточування циліндричних поверхонь основний час визначається за формулою

$$T_o = \frac{L \cdot \kappa}{n \cdot s_o}, \quad (15.3)$$

де  $L = l + l_1 + l_2$ ;  $l$  – довжина оброблюваної поверхні, мм;  $l_1$  – довжина врізання інструмента, мм;  $l_2$  – довжина перебігу інструмента, мм;  $n$  – частота обертання шпинделя, об/хв;  $s_o$  – подача, мм/об;  $\kappa$  – кількість робочих ходів.

Для свердлильних робіт

$$T_o = \frac{L}{n \cdot s_o}. \quad (15.4)$$

Для фрезерних робіт

$$T_o = \frac{L}{s_{xв}}, \quad (15.5)$$

де  $s_{xв}$  – подача, мм/хв.

Для інших способів механічної обробки основний час можна визначити за формулами, які наведені в [16].

Довжина оброблюваної поверхні визначається за кресленням деталі; довжина врізання  $l_1$  та перебігу  $l_2$  – за нормативами (таблиця Г14).

Для фрезерних робіт, які виконуються торцевою фрезою, величини  $l_1$  та  $l_2$  можна визначити, з урахуванням ширини фрезерування і діаметра фрези, за допомогою геометричних побудов і розрахунків.

Якщо операція складається з декількох переходів, то норма основного часу на операцію визначається за формулою

$$T_o = \sum_{i=1}^n T_{o_i}, \quad (15.6)$$

де  $T_{o_i}$  – основний час на виконання  $i$ -го переходу;  $n$  – кількість переходів в операції.

З плином допоміжного часу робітник виконує дії, в результаті яких не відбувається якісних змін предмета праці, але ці дії необхідні для підготовки таких змін.

Норма допоміжного часу  $T_d$  на операцію механічної обробки визначається за формулою

$$T_d = \left( T_1 + \sum_{i=1}^n T_{2_i} + \sum_{j=1}^k T_{3_j} + \sum_{u=1}^m T_{4_u} + \sum_{y=1}^p T_{5_y} \right) K_d, \quad (15.7)$$

де  $T_1$  – час на встановлення заготовки у верстатний пристрій та її знімання (таблиці Г1, Г8 чи Г15);  $T_2$  – час, на підготовку переходу або час, пов'язаний з переходом (таблиця Г2, );  $T_3$  – час на змінювання режимів роботи верстата (таблиця Г3);  $T_4$  – на встановлення інструмента в робочу позицію, наприклад, на повертання різцетримача чи револьверної головки (таблиця Г3);  $T_5$  – час на контрольні вимірювання в ході виконання операції, або після її завершення (таблиці Г6 та Г7);  $K_d$  – поправковий коефіцієнт на допоміжний час, який залежить від розміру партії (таблиця Г8);  $n$  – кількість переходів;  $k, m, p$  – кількості дій робітника, направлених, відповідно, на змінювання режимів роботи верстата, встановлення інструмента в робочу позицію та контрольні вимірювання.

Час на встановлення заготовки у верстатний пристрій та її знімання наводиться в нормативних таблицях на весь комплекс дій «встановити й зняти заготовку» і залежить від ваги заготовки, типу верстатного пристрою, способу встановлення та інших технологічних умов.

Час на підготовку переходу складається з часу на виконання робітником таких дій: підведення інструмента до заготовки, увімкнення і вимкнення подачі, відведення інструмента у початкове положення.

У технічному нормуванні використовується також поняття оперативного часу, який визначається за формулою

$$T_{оп} = T_o + T_d. \quad (15.8)$$

Час на обслуговування робочого місця є частиною штучного часу, що витрачається робітником на підтримання обладнання та інструменту у працездатному стані, догляд за ними і робочим місцем.

Час на відпочинок та особисті потреби робітника є частиною штучного часу, яка передбачається для всіх видів робіт, крім безперервних.

У серійному типі виробництва величини  $T_{обс}$  і  $T_{відп}$  як окремі складові норми штучного часу не визначаються. В нормативах (таблиця Г4) наводиться сума цих двох складових у відсотках ( $P_{обс.відп}$ ) від оперативного часу. Таким чином, загальний час на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби робітника у серійному виробництві визначають за формулою

$$T_{обс} + T_{відп} = \frac{(T_o + T_d) P_{обс.відп}}{100}. \quad (15.9)$$

Підготовчо-заключний час  $T_{п-з}$  витрачається на: отримання інструментів, пристроїв і технологічної документації; ознайомлення з технологічною документацією, отримання інструктажу; налагодження обладнання і пристроїв, повернення на склад інструментів і пристроїв, здавання готової продукції тощо.

Підготовчо-заключний час витрачається на всю партію і не залежить від кількості виробів у партії.

Норма підготовчо-заключного часу призначається за нормативами [17, 28] як сумарний час на всі дії робітника з підготовки певного робочого місця до обробки партії заготовок. Складові  $T_{п-з}$  можна знайти за Додатком Г (таблиці Г5 і Г16).

Експериментальну перевірку правильності розрахунку норми часу пропонується виконати за допомогою хронометражу.

Хронометраж – це спостереження, яке виконується для визначення витрат часу на виконання циклічних операцій, тобто таких операцій, що періодично повторюються.

Цілями хронометражу є:

- встановлення норм часу й отримання даних для розроблення трудових нормативів.
- розроблення й упровадження ефективних прийомів праці;
- перевірка правильності використовуваних норм часу;
- з'ясування причин невиконання норм окремими робітниками;
- удосконалення організації виконання робіт.

У цій лабораторній роботі пропонується за допомогою хронометражу визначити оперативний час, що його витрачає робітник в ході токарної операції.

Оперативний час слід визначати як календарний проміжок часу, початок якого збігається з моментом доторкання руки робітника до необробленої заготовки, а закінчення – зі стуком обробленої заготовки, покладеної робітником на стіл чи в тару.

В процесі виконання хронометражу рекомендується вимірювати витрати часу за допомогою секундоміра.

## 15.2. Обладнання та прилади

1. Токарний, свердлильний або фрезерний верстат.
2. Набір різального інструменту.
3. Штангенциркуль.
4. Заготовка.
5. Секундомір.

### 15.3. Методика й порядок виконання роботи

1. Отримати від викладача завдання у вигляді операційної карти зі всіма необхідними початковими даними.

2. Деталізувати зміст операції, розбивши її на технологічні і допоміжні переходи, робочі й допоміжні ходи. Деталізований зміст операції записати в таблицю 15.1.

Таблиця 15.1

Результати розрахунку та хронометражу норми часу на операцію механічної обробки

Деталізований зміст операції	Результати розрахунку норми часу, хв.						Результати хронометражу оперативного часу, хв
	$T_o$	$T_d$	$T_{оп}$	$T_{обс}^+$ $T_{відп}$	$T_{ш}$	$T_{ш-к}$	

3. Визначити норму штучно-калькуляційного часу на виконання операції:

- основний час за формулами (15.3), (15.4) або (15.5);
- допоміжний час – за формулою (15.7);
- час на обслуговування робочого місця відпочинок та особисті потреби робітника за таблицями: Г4 (для токарних операцій), Г13 (для свердильних операцій), Г16 (для фрезерних операцій);

- підготовчо-заключний час за таблицями: Г5 (для токарних операцій), Г13 (для свердильних операцій), Г16 (для фрезерних операцій).

4. Визначити оперативний час за допомогою хронометражу, виконавши 3-5 вимірів і знайшовши середньоарифметичне значення.

5. Записати в таблицю 15.1 результати розрахунку і хронометражу.

6. Порівняти результати розрахунку та хронометражу оперативного часу і зробити висновки.

### 15.4. Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.
2. Стислі відомості про верстат: тип, модель, потужність двигуна головного руху.
3. Операційний ескіз.
4. Операційна карта.
5. Режими різання.
6. Поелементний розрахунок норми штучно-калькуляційного часу.
7. Дані хронометражу оперативного часу.

8. Заповнена таблиця 15.1.

9. Висновки.

### **15.5. Питання для самоперевірки**

1. Мета технічного нормування.
2. Визначення норми штучного часу на операцію механічної обробки.
3. Визначення норми штучно-калькуляційного часу на операцію механічної обробки.
4. Визначення норми основного часу.
5. Визначення норми допоміжного часу.
6. Поняття оперативного часу виконання операції механічної обробки.
7. Норма часу на обслуговування робочого місця, методика її визначення.
8. Норма часу на відпочинок робітника, методика її визначення.
9. Норма підготовчо-заключного часу на операцію механічної обробки. Складові підготовчо-заключного часу та методика їх визначення.
10. Поняття хронометражу операції механічної обробки, методика його виконання.

**Рекомендована література:** [2, 15, 16, 17 – 21, 28].

### *Лабораторна робота №16*

#### **ДОСЯГНЕННЯ ТОЧНОСТІ СКЛАДАННЯ МЕТОДАМИ ПОВНОЇ Й НЕПОВНОЇ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ**

**Мета роботи** – практичне освоєння застосування методів повної й неповної взаємозамінності під час складання машин.

#### **16.1. Основні положення і постановка задачі роботи**

Під час складання машин необхідно забезпечити відносне розташування поверхонь їх деталей в межах заданої точності.

Під точністю складання розуміють властивість процесу складання виробу забезпечувати відповідність значень параметрів виробу, заданим в конструкторській документації (ГОСТ 23887-79).

Ефективним засобом забезпечення точності складання виробу є розрахунок та аналіз розмірних ланцюгів.

Будь-який розмірний ланцюг має одну ланку замикання і дві або більше складових ланок.

Ланкою замикання називають розмір, точність якого безпосередньо визначає якість виробу.

Складовими називають решту ланок, зі зміненням яких змінюється й ланка замикання.

Під час виготовлення деталей виробу розмір, який є ланкою замикання, безпосередньо не виконується. Він є результатом виконання інших розмірів (ланок) розмірного ланцюга.

Точність ланки замикання розмірного ланцюга в процесі складання може бути досягнута одним з таких методів: повної взаємозамінності; неповної взаємозамінності; групової взаємозамінності; припасовування; регулювання. Метод вибирається під час розробки конструкції виробу, оскільки це пов'язано зі встановленням допусків складових ланок розмірного ланцюга, а також використанням в складальних одиницях певних конструктивних елементів.

Під час розробляння технологічного процесу складання аналізується вибране конструктором рішення щодо раціональності вибраного методу досягнення точності ланки замикання в конкретних виробничих умовах.

В цій лабораторній роботі розглядаються методи повної і неповної взаємозамінності.

Метод повної взаємозамінності забезпечує досягнення необхідної точності ланки замикання з використанням складових ланок без попереднього їх відбирання, підбирання або змінення значень. Тобто, всі справні деталі подаються на складальну дільницю і при цьому всі зібрані вироби мають бути справними без застосування будь-якого припасовування чи регулювання.

З використанням методу неповної взаємозамінності всі справні деталі подаються на складання, але необхідна точність забезпечується без попереднього відбирання й підбирання складових ланок тільки у попередньо обумовленої частини виробів. Точність решти виробів забезпечується за допомогою цілеспрямованої заміни певних деталей.

У порівнянні з методом повної взаємозамінності, метод неповної взаємозамінності дозволяє розширити допуски складових ланок і, відповідно, зменшити витрати на механічну обробку. Але введення додаткових операцій заміни деталей дещо підвищує собівартість процесу складання.

Рішення про доцільність використання того чи іншого методу приймається після виконання відповідних техніко-економічних розрахунків.



Під час розмірних розрахунків використовуються такі співвідношення.

Номинальні розміри ланки замикання  $A_\Sigma$  і складових ланок  $A_i$  зв'язані між собою рівнянням

$$A_\Sigma = \sum_{i=1}^{k-1} \xi_i A_i, \quad (16.1)$$

де  $\xi_i$  – коефіцієнт, який характеризує розтушування  $i$ -тої складової ланки відносно ланки замикання (передатне відношення);  $k$  – загальна кількість ланок у розмірному ланцюзі.

В загальному випадку.

$$\xi_i = \frac{\partial A_\Sigma}{\partial A_i}$$

В даній лабораторній роботі розглядаються плоскі лінійні розмірні ланцюги з паралельним розташуванням ланок. У цьому випадку для збільшувальних складових ланок  $\xi = 1$ ; для зменшувальних складових ланок  $\xi = -1$ .

Поле розсіювання ланки замикання для методу повної взаємозамінності визначається за формулою

$$\delta(A_\Sigma) = \sum_{i=1}^{k-1} T(A_i), \quad (16.2)$$

де  $T(A_i)$  – допуск  $i$ -тої складової ланки.

Для методу неповної взаємозамінності

$$\delta(A_\Sigma) = t \sqrt{\sum_{i=1}^{k-1} [\lambda_i T(A_i)]^2}, \quad (16.3)$$

де  $t$  – коефіцієнт, який залежить від допустимого відсотка ризику появи бракованих виробів після складання (визначається за таблицею 16.1);  $\lambda_i$  – коефіцієнт відносного розсіювання (визначається за таблицею 16.2), величина якого залежить від закону розподілу дійсних значень розмірів  $i$ -тої складової ланки.

Застосування того чи іншого методу можливе, якщо виконується умова

$$\delta(A_\Sigma) \leq T(A_\Sigma). \quad (16.4)$$

Розташування полів допусків відносно номінальних значень розмірів ланок і граничні відхилення розмірів визначаються однаково для обох методів.

Таблиця 16.1

Допустимий відсоток ризику появи браку	32	10	4,5	1,00	0,27	0,1	0,01
Значення коефіцієнта $t$	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

Таблиця 16.2

Закон розподілу дійсних значень розмірів складової ланки	$\lambda$
Гаусса (нормального розподілу)	0,333
Сімпсона (трикутника)	0,408
рівної імовірності	0,577
Релея (ексцентриситету)	0,357

Координата середини поля допуску ланки замикання  $\Delta_{c\Sigma}$  пов'язана з координатами середин полів допусків складових ланок  $\Delta_{c_i}$  таким рівнянням

$$\Delta_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^m \Delta_{c_i} - \sum_{j=1}^n \Delta_{c_j} , \quad (16.5)$$

де  $m$  і  $n$  – відповідно кількість збільшувальних і зменшувальних складових ланок.

Верхнє і нижнє граничне відхилення розміру будь-якої ланки розмірного ланцюга визначаються за формулами:

$$\Delta_{\text{В}} = \Delta_{\text{с}} + \frac{T}{2} \quad ; \quad (16.6)$$

$$\Delta_{\text{Н}} = \Delta_{\text{с}} - \frac{T}{2} \quad , \quad (16.7)$$

де  $T$  – допуск розміру ланки.

Розрізняють пряму і обернену задачу розрахунку розмірного ланцюга. Під час розв'язання прямої задачі, виходячи зі встановлених вимог точності ланки замикання, визначають характеристики складових ланок: номінальні розміри, допуски, координати їх середин і граничні відхилення.

Розв'язуючи обернену задачу, – навпаки, виходячи із характеристик складових ланок, визначають характеристики ланки замикання.

Обернена задача має перевірний характер. Розв'язавши її, можна встановити можливість використання певного методу досягнення точності ланки замикання.

В цій лабораторній роботі розглядається саме обернена задача: тобто передбачається, виходячи з показників точності складових ланок провести аналіз характеристик точності ланки замикання.

Конкретна задача роботи полягає в тому, що під час складання необхідно забезпечити задану точність ланки замикання  $A_{\Sigma}$  партії складальних одиниць, кожна із яких складається з чотирьох деталей з розмірами  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  та  $A_4$  (рис.16.1).

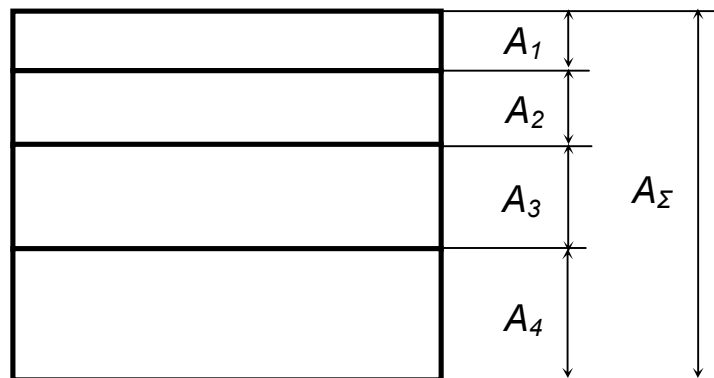


Рис. 16.1. Схема складальної одиниці

## 16.2. Методика й порядок виконання роботи

1. Отримати по одній партії кожної з чотирьох деталей. Кількість деталей в партії – 25 штук.

2. Отримати у викладача інформацію про задані показники точності складових ланок і ланки замикання (номінальні розміри, верхні та нижні граничні відхилення).

3. З використанням формули (16.2) знайти теоретичне (розрахункове) поле розсіювання ланки замикання й перевірити виконання умови (16.4). Зробити висновок щодо можливості застосування методу повної взаємозамінності.

4. Якщо висновок негативний, то слід оцінити можливість застосування методу неповної взаємозамінності. Для цього потрібно знайти теоретичне поле розсіювання ланки замикання за формулою (16.3). Оскільки

поки що невідомі закони розподілу дійсних значень розмірів складових ланок, то, виконуючи розрахунки за формулою (16.3), можна прийняти, що  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_4 = 0,577$ , тобто вважати, що закони розсіювання розмірів складових ланок близькі до закону рівної ймовірності. Значення коефіцієнта  $t$  слід вибрати за таблицею 16.2 з урахуванням заданого викладачем допустимого відсотка ризику появи бракованих виробів.

5. За допомогою індикатора годинникового типу, встановленого на стояку, виміряти дійсні розміри деталей кожної з партій. Індикатор заздалегідь налаштовується за еталоном (набір плоско-паралельних мір, розмір якого, що дорівнює номінальному розміру відповідної деталі) на нульовий показ. Отримані результати записати у вигляді таблиці 4.1.

6. З використанням методики, описаної в роботі №4, побудувати гістограму розподілу дійсних розмірів кожної з деталей (складових ланок).

7. За виглядом гістограми встановити її відповідність тому чи іншому закону розподілу.

8. За формулами (4.7) і (4.8) знайти поле розсіювання і середній розмір кожної складової ланки.

9. Зробити висновки про відповідність реальних показників точності заданим вимогам.

10. Навмання взявши з кожної партії по одній деталі, зібрати з них складальну одиницю. Таким же чином зібрати ще двадцять чотири складальних одиниці.

11. За допомогою індикатора годинникового типу виміряти розмір ланки замикання всіх двадцяти п'яти зібраних складальних одиниць.

12. Побудувати гістограму розподілу дійсних розмірів ланки замикання і за виглядом гістограми установити її відповідність тому чи іншому закону розподілу. За формулами (4.7) (4.8) знайти статистичні характеристики точності складальної операції: середній розмір і середньоквадратичне відхилення ланки замикання.

13. З використанням методики, описаної в лабораторній роботі №4, побудувати теоретичну криву розподілу і знайти відсоток браку.

14. Виявити складальні одиниці, що не задовольняють задану вимогу точності, визначити необхідну поправку і вибрати складальні одиниці, за допомогою яких можна виправити брак взаємозаміною деталей.

15. Розібрати дефектні і вибрані для підбору складальні одиниці, виміряти їх складові ланки за методикою п.5 і здійснити взаємозаміну деталей таким чином, щоб розміри ланки замикання були в межах поля допуску.

16. Розібрати всі 25 складальних одиниць. Деталі скласти в тару.

17. Проаналізувати отримані результати. Зробити висновки.

18. Скласти и звіт.

### 16.3. Прилади та обладнання

1. Індикатор годинникового типу (ціна поділки 0,01 мм), встановлений на стояку.
2. Чотири партії деталей (по 25 деталей в кожній партії).
3. Калькулятор.

### 16.4. Зміст звіту

1. Назва і мета роботи.
2. Задані показники точності складових ланок і ланки замикання.
3. Ескіз складальної одиниці зі схемою розмірного ланцюга.
4. Розрахунки щодо оцінювання можливості забезпечення точності ланки замикання методами повної й неповної взаємозамінності.
5. Результати вимірювань розмірів деталей.
6. Графіки гістограм розподілу розмірів деталей.
7. Графіки гістограми розподілу розмірів складальних одиниць і теоретичної кривої розподілу.
8. Розрахунок статистичних характеристик точності складальної операції: середнього розміру і середньоквадратичного відхилення ланки замикання.

### 16.5. Питання для самоперевірки

1. Суть методів повної й неповної взаємозамінності. Особливості застосування, переваги і недоліки цих методів.
2. Як перевіряється можливість забезпечення точності ланки замикання методами повної й неповної взаємозамінності?
3. Від чого залежать і як вибираються кількісні значення коефіцієнтів  $t$  і  $\lambda$ ?
4. Яким рівнянням пов'язані координати середин полів допусків ланки замикання і складових ланок?

**Рекомендована література:** [7, 13, 23].

## ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1969. – 358 с.
2. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Минск: Высшая школа, 1983. – 288 с.
3. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 35 с.
4. ГОСТ 370-81. Станки вертикально-сверлильные. Нормы точности и жесткости. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 22 с.
5. ГОСТ 22267-76. Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 25 с.
6. Данилевский В.В. Лабораторные работы по технологии машиностроения. – М.: Высшая школа, 1971. – 240 с.
7. Допуски и посадки. Справочник. В 2-х ч. Ч. 2/В. Д. Мягков, М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1983. – 448 с.
8. Егоров М. Е., Дементьев В. И., Дмитриев В. Л. Технология машиностроения. – М.: Высшая школа, 1976. – 534 с.
9. Колесов И. М. Основы технологии машиностроения. Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 2001. – 591 с.
10. Колкер Я. Д. Математический анализ точности механической обработки деталей. – Киев: Техника, 1976. – 200 с.
11. Лабораторный практикум по технологии машиностроения /Под ред. В. В. Бабука. – Минск: Высшая школа, 1983. – 220 с.
12. Методические указания и задания для самостоятельной работы по теме “Базы и базирование” курса “Основы технологии машиностроения”. – Винница: ВПИ, 1990. – 36 с.
13. Маталин А. А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных специальностей вузов. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
14. Маталин А. А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1997. – 462 с.
15. Мовчин В. Н., Мовчин С. В. Сборник задач по техническому нормированию в механических цехах. – М.: Машиностроение, 1983. – 156 с.
16. Обработка металлов резанием: Справочник технолога /Под общ. ред. А. А. Панова. – М.: Машиностроение, 1988. – 736 с.
17. Общемашинностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч I. – М.: Машиностроение, 1974. – 416 с.

18. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч II. – М.: Машиностроение, 1974. – 200 с.
19. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч III. – М.: НИИТруда, 1978. – 360с.
20. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно заключительного на работы, выполняемые на металлорежущих станках: среднесерийное и крупносерийное производство. – М.: НИИТруда, 1984. – 469 с.
21. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания на работы, выполняемые на металлорежущих станках с программным управлением. – М.: НИИТруда, 1980. – 203 с.
22. Основы технологии машиностроения. /Под ред. В. С. Корсакова. – М.: Машиностроение, 1977. – 416 с.
23. Солонин И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972. – 216 с.
24. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с.
25. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
26. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1972. – 694 с.
27. Станочные приспособления: Справочник. В 2-х т. Т. 1/Под ред. Б. Н. Вардашкина, В. В. Данилевского, А. А. Шатилова. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.
29. Стародубцева В.С. Сборник задач по техническому нормированию в машиностроении (литейные, кузнечно-штамповочные, станочные, слесарно-сборочные и электросварочные работы). – М.: Машиностроение, 1974. – 272с.
30. Технология машиностроения: В 2-х кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения: Учебное пособие для вузов/Э. Л. Жуков, И. И. Козырь, С. Л. Мурашкин и др.; Под ред. С. Л. Мурашкина. – М.: Высшая школа, 2003. – 278 с.

### Додаток А

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

<i>t</i>	$\Phi(t)$	<i>t</i>	$\Phi(t)$	<i>t</i>	$\Phi(t)$
0.00	0.000	1.00	0.3415	2.00	0.4775
0.05	0.020	1.05	0.3530	2.05	0.4800
0.10	0.040	1.10	0.3645	2.10	0.4820
0.15	0.0595	1.15	0.3740	2.15	0.4840
0.20	0.0795	1.20	0.3850	2.20	0.4860
0.25	0.0985	1.25	0.3945	2.25	0.4880
0.30	0.1180	1.30	0.4030	2.30	0.4895
0.35	0.1370	1.35	0.4115	2.35	0.4905
0.40	0.1555	1.40	0.4190	2.40	0.4920
0.45	0.1735	1.45	0.4265	2.45	0.4930
0.50	0.1915	1.50	0.4330	2.50	0.4940
0.55	0.2090	1.55	0.4395	2.55	0.4945
0.60	0.2255	1.60	0.4450	2.60	0.4955
0.65	0.2420	1.65	0.4505	2.65	0.4960
0.70	0.2580	1.70	0.4555	2.70	0.4965
0.75	0.2735	1.75	0.4600	2.75	0.4970
0.80	0.2880	1.80	0.4640	2.80	0.4975
0.85	0.3025	1.85	0.4680	2.85	0.4975
0.90	0.3160	1.90	0.4715	2.90	0.4980
0.95	0.3290	1.95	0.4745	2.95	0.4985
1.00	0.3415	2.00	0.4775	3.00	0.4986



### Додаток Б

Таблиця значень функції  $z(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

t	Zt	t	Zt	t	Zt	t	Zt	t	Zt
0.0	0.3989	0.6	0.3832	1.2	0.1942	1.8	0.0790	2.4	0.0224
0.1	0.3980	0.7	0.3123	1.3	0.1714	1.9	0.0656	2.5	0.0175
0.2	0.3910	0.8	0.2897	1.4	0.1497	2.0	0.0540	2.6	0.0136
0.3	0.3814	0.9	0.2661	1.5	0.1295	2.1	0.0440	2.7	0.0114
0.4	0.3683	1.0	0.2420	1.6	0.1109	2.2	0.0355	2.8	0.0070
0.5	0.3521	1.1	0.2179	1.7	0.0940	2.3	0.0289	2.9	0.0060
								3.0	0.0044

### Додаток В

Залежність імовірності  $P(\lambda)$  від параметра  $\lambda$

$\lambda$	$P(\lambda)$	$\lambda$	$P(\lambda)$	$\lambda$	$P(\lambda)$
0,30	1,0000	0,70	0,7120	1,20	0,1122
0,35	0,9997	0,75	0,6272	1,30	0,0681
0,40	0,9972	0,80	0,5441	1,40	0,0397
0,45	0,9874	0,85	0,4653	1,50	0,0222
0,50	0,9639	0,90	0,3927	1,60	0,0120
0,55	0,9228	0,95	0,3275	1,70	0,0062
0,60	0,9643	1,00	0,2700	1,80	0,0032
0,65	0,7920	1,10	0,1777	1,90	0,0015

**Додаток Г**  
**Нормативи часу для нормування операцій механічної обробки**

Таблиця Г1

Допоміжний час на встановлення й знімання деталі під час виконання токарних робіт.

Встановлення в самоцентрувальному патроні									
Спосіб встановлення деталі		Маса деталі, кг, до							
		0,25	1,0	3,0	5,0	8,0	12		
		Час, хв.							
В патроні з пневматичним затиском	без вивірки	0,11	0,13	0,17	0,21	0,25	0,30		
	з вивіркою на биття крейдою	0,25	0,35	0,40	0,47	0,55	0,65		
Встановлення в центрах									
Встановлення деталі		Маса деталі, кг, до							
		Підведення пінолі задньої бабки		0,25	1,0	3,0	5,0	8,0	12
				Час, хв.					
із закріпленням хомутика	поворотом маховичка	0,22	0,26	0,32	0,38	0,46	0,55		
в центрах з самозатискним хомутиком	за допомогою пневматичного пристрою	-	0,22	0,25	0,28	0,31	0,37		
Встановлення в центровій оправці									
з вільним встановленням деталі	за допомогою пневматичного пристрою	-	0,23	0,27	0,34	0,41	0,50		

**Примітка:** Для перевстановлення деталі застосовувати коефіцієнт 0,8.

Таблиця Г2

Допоміжний час (в хв.), пов'язаний з переходом, для робіт,  
що виконуються на токарних верстатах

Характер обробки, спосіб встановлення інструмента на розмір обробки			Вимірюваний розмір, мм	Обробка на операції			
				одним інструментом		декількома інструментами	
				Найбільший діаметр виробу, мм			
				до 300	до 400	до 300	до 400
різцем, попередньо встановленим на розмір для чорнового або чистового точіння на одноперехідній операції			25	0,08	0,11	-	-
			100	0,09	0,12	-	-
			> 100	0,10	0,13	-	-
з встановленням різця на розмір за допомогою лімба або упора (чорнова або чистова обробка грубіше 8-го квалітету точності)			25	0,13	0,17	0,16	0,21
			100	0,14	0,19	0,17	0,23
			> 100	0,16	0,21	0,19	0,25
точіння і розточування з використанням способу пробних проходів і промірів	чорнова обробка		25	0,27	0,3	0,30	0,36
			100	0,33	0,36	0,38	0,42
	чистова обробка з квалітетом точності	9...10	25	0,24	0,29	0,27	0,33
			100	0,35	0,43	0,38	0,47
		8	25	0,38	0,43	0,41	0,47
			100	0,60	0,70	0,65	0,75
поперечне точіння	з встановленням різця за лімбом або на упор (чорнова обробка)		-	0,17	0,23	0,27	0,3
	з використанням способу пробних проходів і промірів	чорнова обробка	100	0,31	0,35	0,38	0,34
		300	0,43	0,49	0,55	0,46	
	чистова обробка	100	0,27	0,33	0,37	0,30	
		300	0,50	0,60	0,65	0,55	

Таблиця Г3

Допоміжний час, пов'язаний з переходом на прийоми, що не ввійшли в комплекси (токарні роботи)

Найменування прийомів		Найбільший діаметр виробу, мм		
		до 300	до 400	
		Час, хв.		
Зміна частоти обертання шпинделя		0,07	0,08	
Зміна величини або напрямку подачі		0,06	0,07	
Зміна різця поворотом різцетримача		0,07	0,07	
Встановити і зняти інструмент	різець	прохідний, підрізний, розточувальний	0,5	0,6
		нарізний, відрізний, фасонний	0,6	0,8
	свердло, зенкер, розвертка	0,1	0,12	

Таблиця Г4

Час на обслуговування робочого місця й перерви на відпочинок та особисті потреби під час токарних робіт

Найбільший діаметр виробу, мм	Час на обслуговування робочого місця та перерви на відпочинок і особисті потреби (у % від оперативного часу)
до 300	7,5
до 400	8,0

Таблиця Г5

## Підготовчо-заключний час на токарних операціях

А. На налагодження верстата, інструментів та пристроїв			
Спосіб встановлення	Кількість різальних інструментів у наладці	Найбільший діаметр виробу, мм	
		300	до 400
		Час, хв.	
в універсальному пристрої (патрон, центри, оправка)	до 2	14	16
	до 4	17	20
	до 6	22	26
Б. На додаткові прийоми			
Встановити й зняти копір чи конусну лінійку		4	4
Встановити й зняти люнет з регулюванням кулачків		3	4
В. На одержання інструментів та пристроїв та повернення їх після закінчення обробки – 7 - 10 хв.			

Таблиця Г6

## Час на контрольні вимірювання

Вимірювальний інструмент	Точність вимірювання	Розмір, що вимірюється, мм (до)	Довжина поверхні, що вимірюється, мм			
			50	100	200	500
			Час, хв.			
штангенциркуль	–	50	0,10	0,13	0,16	0,21
		100	0,13	0,16	0,19	0,24
		200	0,16	0,17	0,21	0,25
калібр-скоба	9-10 квалітети	50	0,05	0,06	0,08	0,10
		100	0,07	0,08	0,10	0,11
	7-8 квалітети	50	0,09	0,10	0,13	0,16
		100	0,12	0,13	0,16	0,19
калібр-пробка	9-10 квалітети	25	0,07	0,09	0,13	-
		50	0,09	0,11	0,15	-
	7-8 квалітети	25	0,11	0,14	0,20	-
		50	0,13	0,16	0,22	-

Таблиця Г6

Поправкові коефіцієнти до часу на контрольні вимірювання (враховують періодичність вимірювань під час механічної обробки деталей)

Форма поверхні	Спосіб обробки	Точність вимірюваного розміру	Величина вимірюваного розміру, мм	Спосіб забезпечення розміру		
				Обробка мірним інструментом	Настроєним на розмір інструментом	З встановленням інструмента за допомогою лімба
Циліндричні	свердління, зенкерування	10-14 квалітети	-	0,3	-	-
	точіння, розточування, розвертування	9-10 квалітети	до 50	0,3	0,4	0,8
			до 200	0,4	0,5	0,9
	7-8 квалітети	50 200	0,4 0,5	0,5 0,6	1,0 1,0	
Плоскі	фрезерування, точіння	0,1 мм	50	-	0,3	0,8
			200	-	0,4	0,9
		0,2 мм	50	-	0,2	0,7
			200	-	0,3	0,8

Таблиця Г7

Поправкові коефіцієнти до допоміжного часу в залежності від розміру партії оброблюваних деталей

Оперативний час, хв.	Кількість деталей в партії, шт								
	16	25	40	63	100	160	250	400	630
	Поправковий коефіцієнт								
1	-	-	1,23	1,15	1,07	1,0	0,93	0,87	0,81
4	1,23	1,15	1,07	1,0	0,93	0,87	0,81	0,76	-
8	1,15	1,07	1,0	0,93	0,87	0,81	0,76	-	-
30 і більше	1,0	0,93	0,87	0,81	0,76	0,71	-	-	-

Таблиця Г8

Допоміжний час на встановлення й знімання деталі під час виконання свердлильних робіт

Спосіб встановлення деталі	Стан базової поверхні	Наявність вивірки та спосіб її здійснення	Кількість одночасно оброблюваних деталей	Маса деталі, кг (до)				
				1	5	8	12	15
				Час, хв. (на комплект установлюваних деталей)				
На столі із затисканням планкою і одним болтом	Оброблена або необроблений прокат	Без вивірки	1	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
У самоцентрувальному патроні з немеханізованим затисканням		Без вивірки	1	–	0,35	0,40	0,47	0,55
У пристрої з накидною планкою та ексцентриковим затискачем	–	–	–	0,16	0,19	0,25	0,28	0,35
У лещатах з гвинтовим затискачем	Оброблена або необроблений прокат	Без вивірки	1	Маса деталі, кг (до)				
			2	0,25	1	3	5	8
	1	0,23	0,27	0,29	0,32	0,36		
	2	0,29	0,35	0,40	0,46	0,55		
	Необроблена (виліток)	Без вивірки	1	0,28	0,32	0,34	0,37	0,41
3 вивіркою		1	0,7	0,8	0,85	0,95	1,05	
Зі встановленням деталей понад вказану кількість на кожну наступну деталь додавати, хв.				0,08	0,11	0,14	–	–

Таблиця Г9

Допоміжний час на встановлення у спеціальних пристроях вручну  
й знімання деталі під час виконання свердлильних робіт

Спосіб затискання		Маса деталі, кг (до)			
		1	3	8	12
		Час, хв.			
Рукою пневматичного чи гідравлічного затискача		0,13	0,15	0,19	0,22
Рукою ексцентрикового чи роликівого затискача		0,13	0,15	0,20	0,23
Додавати на кожний затискач кількістю понад один, хв.		0,03	0,03	0,04	0,24
Накидною кришкою з ексцентровим затиском		0,16	0,19	0,25	0,28
При встановленні в багатомісному пристрої на кожну наступну деталь додавати, хв.		0,06	0,08	0,12	0,15
Очищення пристрою від стружки					
Прийоми		Розмір очищуваної поверхні, мм			
		100×100	200×300	300×400	
		Час, хв.			
Очищення пристрою від стружки	стисненим повітрям	0,05	0,07	0,08	
	щіткою	0,07	0,08	0,09	

**Примітка:** Для роботи з накладним кондуктором час на його встановлення приймати рівним часу на встановлення деталі у відповідності зі способом базування й закріплення та додавати до часу на встановлення й знімання деталі.



Таблиця Г10

Допоміжний час, пов'язаний з переходом, для операцій, що виконуються на вертикально-свердлильних і радіально-свердлильних верстатах

Характер обробки	Вид подачі	Найбільший діаметр оброблюваного отвору						
		до 35 мм			до 50 мм			
		Найдовше горизонтальне переміщення інструмента для обробки наступного отвору, мм, до						
		0	200	500	0	200	500	1000
		Допоміжний час, пов'язаний з переходом, хв.						
Свердління за розміткою	Механічна	0,10	0,12	0,15	0,11	0,14	0,17	0,20
	Ручна	0,07	0,09	0,12	0,08	0,13	0,14	0,17
Свердління з кондуктором, розсвердлювання, зенкування, розвертування	Механічна	0,07	0,10	0,13	0,09	0,12	0,15	0,18
	Ручна	0,05	0,07	0,10	0,06	0,09	0,12	0,15
Зенкування, цекування	Ручна	0,05	0,07	0,10	0,06	0,09	0,12	0,15
Нарізання різі	-	0,05	0,07	0,10	0,06	0,09	0,12	0,15

Таблиця Г11

Допоміжний час, пов'язаний з переходом, для нормування робіт, що виконуються на вертикально-свердлильних і радіально-свердлильних верстатах, на прийоми, що не ввійшли в комплекси

Найменування прийомів				Час, хв.	
Увімкнути чи вимкнути обертання шпинделя	кнопкою за допомогою важеля			0,02	
				0,02	
Змінити частоту обертання шпинделя або подачу				0,08	
Встановити й зняти інструмент	в швидкозмінному патроні без вимикання обертання шпинделя	діаметр інструмента, мм, до	15	0,05	
			25	0,06	
	в кулачковому патроні			0,17	
	в отворі шпинделя з конусом Морзе №			2	0,12
				3	0,15
	у державці	для зенківки, цеківки чи підрізного ножа			0,24
для мітчика			0,08		
Поставити й зняти кондукторну втулку з внутрішнім діаметром втулки до 20 мм				0,07	

Таблиця Г12

Допоміжний час на виведення свердла для очищення від стружки під час роботи на вертикально-свердлильних і радіально-свердлильних верстатах

Оброблюваний матеріал	Діаметр свердла, мм, до	Довжина свердління в діаметрах свердла ( $D_c$ )			
		$3D_c$	$4D_c$	$6D_c$	$8D_c$
		Час, хв.			
сталі вуглецеві в'язкі, сталі жароміцні	10	-	0,05	0,07	0,11
	20	-	0,07	0,14	0,24
сталі конструкційні, латунь, алюміній	10	-	0,04	0,06	0,10
	20	-	0,07	0,13	0,20
чавун, бронза	3-10	-	0,03	0,05	0,07
	20	-	0,07	0,11	0,16

**Примітка:** Час наводиться для роботи свердлом до 10 мм з ручною подачею і свердлами більше 10 мм з механічною подачею.

Таблиця Г13

Час на обслуговування робочого місця, перерви на відпочинок і особисті потреби та підготовчо-заключний час для нормування робіт, які виконуються на вертикально-свердлильних і радіально-свердлильних верстатах у серійному виробництві

А. Час на обслуговування робочого місця			
Група верстатів	I	II	III
Найбільший діаметр отвору, що свердлиться, мм, до	12	25	50
Час (в % від оперативного часу)	3,5	4,0	4,0
Б. Час перерви на відпочинок та особисті потреби для робіт з механічною подачею			
4% від оперативного часу			
В. Підготовчо-заключний час на партію			
1. На налагодження верстата, інструментів та пристроїв			
Спосіб встановлення деталі	Кількість різальних інструментів у налагодженні	Група верстатів	
		I	II
		Найбільший діаметр отвору, що свердлиться, мм, до	
		12	15
		Час, хв.	
в універсальному пристрої	3	10	11
	6	11	13
в кондукторі з встановленням кондуктора вручну	3	11	13
	6	12	15
2. На додаткові прийоми			
Встановити й зняти багатошпindelну головку		20	25
Встановити й зняти додатковий стіл		2	2
3. На одержання інструментів і пристроїв виконавцем роботи до початку обробки партії деталей і здавання їх після закінчення роботи			
5-7 хв.			

Таблиця Г14

Довжини врізання й перебігу інструмента для токарних  
та свердлильних робіт

Типи різців	Головний кут в плані $\varphi$ , °	Глибина різання, мм					
		1	2	4	6	8	10
		Врізання й перебіг, мм					
Прохідні, підрізні, розточувальні	45	2	3.5	6	8	11	13
	60	2	2.5	4	5	7	8
	75	2	2,5	3	4	5	6
	90	3...5					
Прорізні	-	2...5					
Величина врізання й перебігу інструмента для обробки отворів							
Характер обробки		Діаметр інструмента $D_c$ , мм до					
		3	5	10	15	20	
		Довжини врізання й перебігу, мм					
Наскрізне свердління свердлами з одинарною заточкою		2	2,5	5	6	8	
Наскрізне зенкерування з глибиною різання, мм	1	-	-	-	3	3	
	3	-	-	-	5	5	
Наскрізне розверстування циліндричних отворів		-	8	9	15	18	
Нарізання різі машинними міт- чиками	Наскрізь	Довжина забірної частини 3-6 ниток і ще 1-2 нитки – калібрувальні					
	До упора	2,5...3 кроки різі					

Таблиця Г15

Складові допоміжного часу для нормування робіт, що виконуються на горизонтально-, вертикально- та універсально-фрезерних верстатах

Час, пов'язаний із переходом, хв.					
Характер обробки, спосіб встановлення різального інструмента на розмір обробки			Група верстатів		
			I	II	
			Довжина стола, мм, до		
			750	1250	
			Час		
Фрезерування площин, фасонних поверхонь і пазів	Фрезою, попередньо встановленою на розмір			0,14	0,18
	за лімбом			0,24	0,30
	за розміткою			0,47	0,60
3 встановленням фрези на розмір способом пробних проходів і промірів з використанням універсального вимірювального інструменту	Розмір, що вимірюється, мм	до 100	0,47	0,55	
		понад 100	0,55	0,65	
Час на прийоми, що пов'язані з переходом і не ввійшли в комплекси, хв.					
Змінити частоту обертання шпинделя			0,06	0,07	
Змінити величину або напрямок подачі			0,06	0,07	
Повернути ділильну головку чи ділильний пристрій на одну позицію			0,04	0,04	
Повернути пристрій з робочої позиції на завантажувальну			-	0,09	
Встановити й зняти щиток захисту від стружки	шарнірний знімний		0,05	0,06	
			0,16	0,18	

Таблиця Г16

Час на обслуговування, перерви на відпочинок і підготовчо-заключний час для нормування робіт, що виконуються на горизонтально-, вертикально- й універсально-фрезерувальних верстах

Час на обслуговування робочого місця				
Група верстатів			I	II
Довжина стола, мм, до			750	1250
Процент від оперативного часу			3	3,5
Час перерви на відпочинок та особисті потреби				
Процент від оперативного часу				4
Підготовчо-заключний час на налагодження верстата, інструментів і пристроїв				
Спосіб встановлення деталі		Кількість Встановлених фрез	Група верстатів	
			I	II
			Довжина стола, мм, до	
			750	1250
			Час, хв.	
В універсальному пристрої (патрон, патрон з центром, центри, болти з планками, лещата)	без ділильної головки	- 1-2	10 14	11 16
	з ділильною головкою	- 1-2	16 20	17 22
В спеціальному пристрої з встановленням пристрою вручну		- 1-2	13 17	16 21
Час на отримання інструменту й пристроїв до початку та здавання їх після закінчення роботи				
Час, хв.			7	10

Таблиця Г17

Величина врізання та перебігу інструмента при виконанні фрезерних робіт  
(фрези циліндричні, дискові, прорізні, фасонні й кінцеві)

Глибина різання, мм	Діаметр фрези, мм, до					
	40	50	63	80	100	200
	Врізання й перебіг, мм					
6	16	18	21	24	27	38
7	17	19	22	25	29	41
8	18	20	24	27	30	43
9	19	21	25	28	32	46
10	19	22	26	29	33	48
50	-	-	-	-	-	91

**Примітки:** Для чистової обробки з метою забезпечення відповідної шорсткості поверхні в місцях виходу фрези величину врізання і перебігу для дискових фрез потрібно збільшувати вдвічі.



*Навчальне видання*

Олександр Володимирович Дерібо, Жанна Павлівна Дусанюк,  
Олег Макарович Мироненко, Віктор Петрович Пурдик,  
Сергій Володимирович Репінський, Галина Олександрівна Черноволик

## **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ ТА СКЛАДАННЯ МАШИН**

Лабораторний практикум

Оригінал-макет підготовлено Дерібо О. В.

Редактор Дружиніна В. О.

Навчально-методичний відділ ВНТУ  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ

Підписано до друку  
Формат 29,7x42  $\frac{1}{4}$   
Друк різнографічний  
Тираж     прим.  
Зам. №

Гарнітура Times New Roman  
Папір офсетний  
Ум. друк. арк.

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
Свідоцтво Держкомінформу України  
серія ДК № 746 від 25.12.2001  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ