

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**Кафедра якості, стандартизації, сертифікації та технологій
виготовлення матеріалів**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання лабораторних робіт
з дисципліни**

***«ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ
ТА ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»***

Харків 2020

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технологій виготовлення матеріалів 24 лютого 2020 р. протокол № 14.

Рекомендується для бакалаврів денної та заочної, повної та скороченої форми навчання за освітньою програмою «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка».

Укладачі:

проф. Е. С. Геворкян,
асист. Л. В. Волошина

Рецензент

проф. Л. А. Тимофєєва

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Лабораторна робота 1 Контроль розмірів ноніусними вимірювальними інструментами..	5
Лабораторна робота 2 Контроль розмірів мікрометричними інструментами.....	14
Лабораторна робота 3 Контроль розмірів деталей індикаторними і важільно-зубчастими приладами.....	20
Лабораторна робота 4 Вибір і перевірка придатності універсальних вимірювальних засобів.....	27
Лабораторна робота 5 Контроль і нормування параметрів шорсткості поверхонь деталей.....	33
Лабораторна робота 6 Методи перевірки геометричних параметрів елементів деталей машин.....	40
Лабораторна робота 7 Контроль конічних елементів деталей машин.....	54
Лабораторна робота 8 Контроль та визначення параметрів різьби деталей машин.....	61
Список літератури.....	68
Додаток А.....	70

ВСТУП

Для розвитку машинобудування, приладобудування, агропромислового комплексу та інших галузей промисловості України має значення організація виробництва машин, виробів на основі взаємозамінності та стандартизації з використанням надійних засобів технічних вимірювань і контролю, що дозволить випускати продукцію високої якості з найменшими затратами праці.

Для майбутнього фахівця з метрології та інформаційно-вимірювальної техніки знання систем допусків і посадок, принципів їх призначення для деталей виробів, способів вимірювання їх розмірів є складовою частиною спеціальної підготовки. Окрім цього, вміння користуватися стандартами та іншими нормативними документами дасть змогу більш ефективно проектувати та контролювати якість деталей, вузлів, механізмів машин, продукції, що сприятиме їх оновленню та конкурентоспроможності в ринкових умовах.

Мета дисципліни: навчити студентів грамотно читати машинобудівні креслення, контролювати та виміряти параметри деталей, давати обґрунтовані висновки якості продукції.

Завдання:

- опанувати принципи побудови систем допусків і посадок на усі види з'єднань;

- засвоїти правила позначення на кресленнях деталей відхилень форми і розташування поверхонь, а також шорсткості;

- грамотно використовувати послідовність вибору вимірювальних засобів;

- вміти користуватися стандартами.

У результаті вивчення навчальної дисципліни «Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання» студент повинен

знати:

- умовні позначення будь-яких поверхонь;
- методи та засоби вимірювання параметрів деталей;

вміти:

- розраховувати параметри будь-якої поверхні;
- розраховувати виконавчі розміри калібрів;

- вибирати відповідний вимірювальний засіб в залежності від точності розмірів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Контроль розмірів ноніусними вимірювальними інструментами

Мета роботи – вивчити методи прямого вимірювання штангенінструментами, їх будову та набути практичних навичок користування ними, ознайомитися з принципом відліку по ноніусу у вимірювальній техніці.

1.1 Теоретичні відомості

Лінійні вимірювання – це складова частина технічних вимірювань (визначаються розміри виробів або окремі їх елементи, відстані між осями, лініями, поверхнями). Такі вимірювання характеризуються великою різноманітністю. Наприклад, крім звичайних вимірювань лінійних розмірів (довжини, ширини, висоти), здійснюють вимірювання зовнішніх і внутрішніх діаметрів, глибини отворів, параметрів різьби, зубчастих коліс і передач, товщини покриття, шорсткості поверхні та ін. Такі вимірювання проводяться в різних діапазонах значень і з різною точністю. При лінійних вимірюваннях застосовують різні вимірювальні інструменти, прилади і пристрої: механічні, оптико-механічні, оптичні тощо. Найбільш широкого розповсюдження набули штангенінструменти, з яких найбільш відомі зі шкалою ноніуса.

Штангенциркуль з ноніусом. Штангенінструменти – це універсальні вимірювальні засоби, що широко застосовуються на машинобудівних і ремонтних підприємствах. Їх також використовують для вимірювань високоточних розмірів (8-й квалітет і нижче), розмітки розмірів деталей тощо. Метод вимірювання штангенінструментами – прямий, який миттєво дає дійсне значення величини.

Штангенциркулі, завдяки різноманітним можливостям їх використання і простоті обслуговування, належать до

найважливіших вимірювальних засобів на харчових та машинобудівних виробництвах.

До штангенінструментів належать штангенциркуль, штангенглибиномір і штангенрейсмус, і відліковий пристрій з ноніусом (додаткової шкали) для відліку цілих і дробових величин з ціною поділки штанги 0,1 і 0,05 мм. Усі види штангенінструментів мають штангу, на якій нанесено основну шкалу (міліметрів) і шкалу ноніуса.

Найбільш розповсюдженим є штангенциркуль, моделі якого визначаються за ДСТУ ГОСТ 166:2009 (ІСО 3599-76) .

Штангенциркуль ШЦ-1 з двостороннім розташуванням губок (рисунок 1.1) для зовнішніх та внутрішніх вимірювань, з лінійкою для вимірювання глибини (ціна поділки ноніуса 0,1 мм, границя вимірювання від 0 до 125 мм) складається зі штанги (лінійки) 1 з основною шкалою, поділки якої нанесені через 1 мм. Штанга має нерухомі вимірювальні двостопні губки з робочими поверхнями, перпендикулярними штанзі.

По лінійці переміщується вимірювальна рамка 2 з другою парою губок; на рамці є стопорний гвинт 4 для її фіксації у необхідному положенні.

На вимірювальній рамці нанесена додаткова шкала – ноніус 3. Зовнішні розміри вимірюють нижніми губками, що мають плоскі робочі поверхні малої ширини. Верхні губки використовують для вимірювання внутрішніх розмірів. Лінійка-глибиномір 5 призначена для вимірювання глибини отворів, уступів тощо.

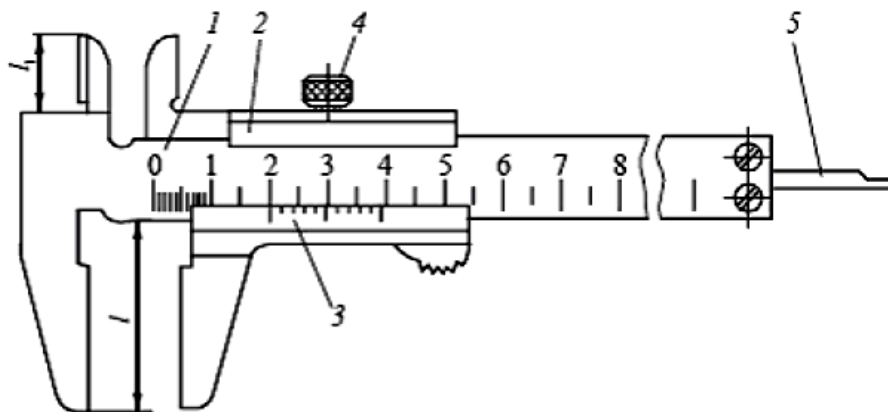


Рисунок 1.1 – Штангенциркуль ШЦ-1

Штангенциркуль ШЦ-II з двостороннім розташуванням губок (рисунок 1.2) використовується для зовнішніх та внутрішніх вимірювань і проведення розмічувальних робіт. Складається з тих самих деталей, що й ШЦ-I, але має допоміжну рамку мікро подачі 4 для точного переміщення рамки 1 по штанзі 5. Для цього необхідно попередньо зафіксувати допоміжну рамку 4 стопорним гвинтом 3, а потім, обертаючи гайку 6 за мікрогвинтом 7, переміщувати вимірювальну рамку по штанзі. Як правило, таку подачу використовують для точного встановлення розміру при розмітці.

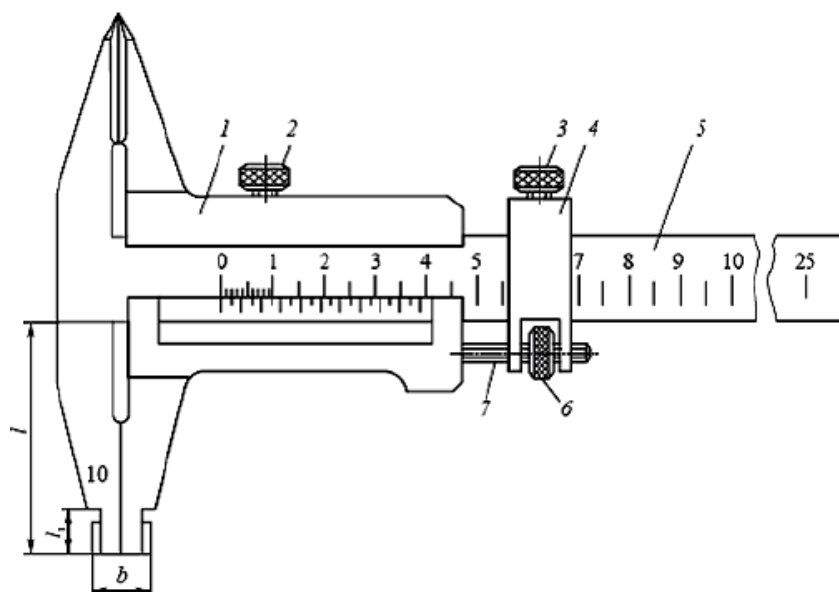


Рисунок 1.2 – Штангенциркуль ШЦ-II

Гострокінцеві губки штангенциркуля ШЦ-II використовують для розмітки або вимірювань зовнішніх розмірів у важкодоступних місцях. Нижні губки для вимірювання внутрішніх розмірів мають циліндричні робочі поверхні. Розмір губок у зведеному стані дорівнює 10 мм і визначає найменший внутрішній розмір, який може бути виміряний даним штангенциркулем.

При внутрішніх вимірюваннях до відліку за шкалою необхідно додати розмір губок, вказаний на їх бічній стороні. Дані штангенциркулі мають ноніуси з ціною поділки 0,1 та 0,05 мм і границі вимірювання 0-160, 0-200, 0-250 мм.

Штангенциркуль ШЦ-III (рисунок 1.3) не має верхніх гострокінцевих губок та пристрою для мікроподачі

вимірювальної рамки. Він використовується для внутрішніх та зовнішніх вимірювань за допомогою таких самих, як і в ШЦ-ІІ, нижніх губок. Ціна поділки ноніуса 0,1 та 0,05 мм, границі вимірювання від 0 до 2000 мм.

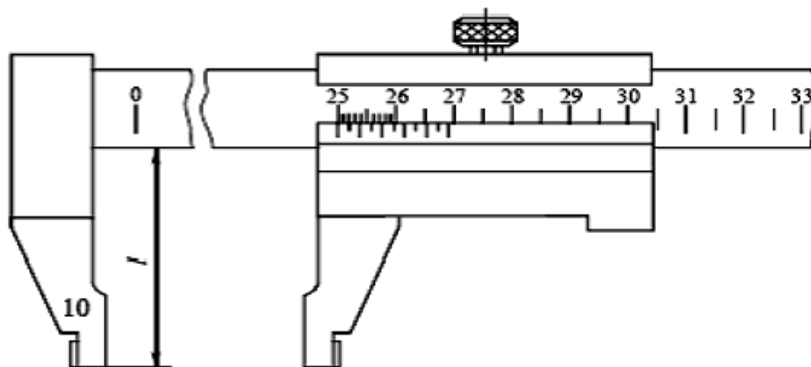


Рисунок 1.3 – Штангенциркуль ШЦ-ІІІ

Використання шкали ноніуса дозволяє механічними засобами збільшити точність вимірювань. Ноніусом обладнують штангенінструменти, кутоміри, відлікові механізми переміщення багатьох приладів і верстатів.

Ноніус – рівномірна шкала з межею вимірів, рівною ціні поділки основної шкали. Ціна поділки ноніуса дорівнює ціні поділки основної шкали A , розділеної на число поділок ноніуса N .

Кількість цілих одиниць виміру відраховується за положенням нульового штриха ноніуса на основній шкалі, а їх частки – за штрихом ноніуса, що збігається з яким-небудь штрихом основної шкали. Наприклад, при ціні поділки основної шкали $A = 1$ мм і число поділок шкали ноніуса $n = 10$ $C = 1/10 = 0,1$ мм.

Довжина шкали ноніуса

$$L_n = b_n = (\gamma n - 1) \alpha, \quad (1.1)$$

де b – довжина поділки шкали ноніуса, $b = (\gamma n - 1)/n \alpha = \gamma \alpha - c$;

γ – модуль ноніуса, що характеризує розтягнутість ноніуса щодо основної шкали. Наприклад, при $\gamma = 2$; $\alpha = 1$ мм; $C = 0,1$ мм і $n = 10$ $L_n = 19$ мм, $b = 1,9$ мм.

Таким чином, при щільно суміщених губках нульові штрихи основної шкали і ноніуса збігаються, при цьому збігаються останній штрих ноніуса і поділка 1,9 основної шкали (рисунок 1.4). Всі інші поділки ноніуса не збігаються з поділками основної шкали. При цьому відстань першої поділки ноніуса від поділки основної шкали, ціна якої $\Delta = O - N = 2 - 1,9 = 0,1$ мм, другої – 0,2 мм, третьої 0,3 мм і т. д.



Рисунок 1.4 – Шкала штангенінструменту

Вимірювання штангенциркулем з ноніусом. Приклади вимірювання штангенциркулем з ноніусом 1) зовнішніх розмірів; 2) внутрішніх розмірів; 3) глибини (рисунок 1.5); 4) вимірювання ступінчатого розміру (рисунок 1.6). Ширина між вимірювальними губками 20 мм (300 мм = 15 мм).

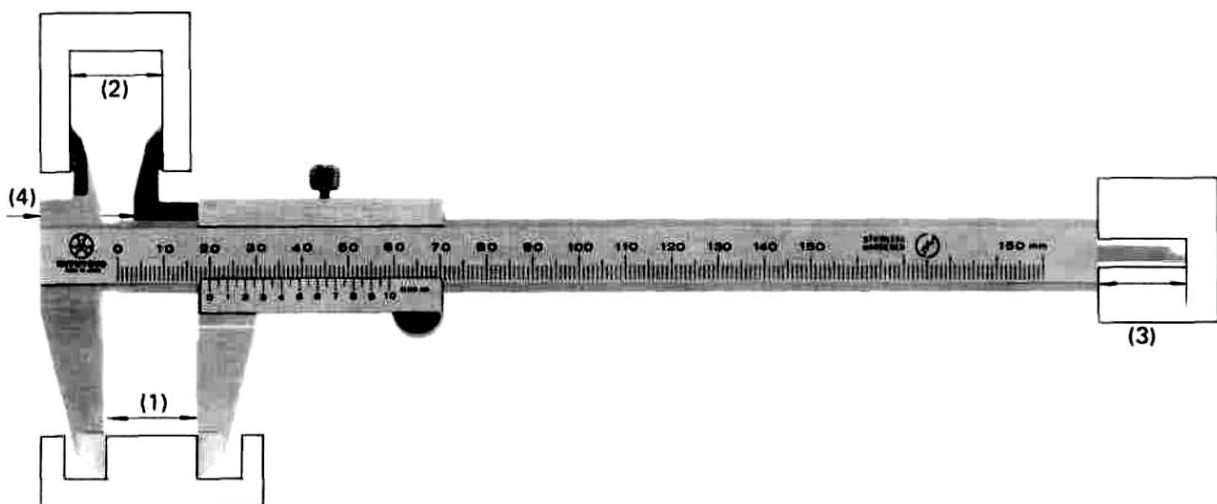


Рисунок 1.5 – Вимірювання штангенциркулем з ноніусом

Внутрішні розміри деталі вимірюють зовнішніми вимірювальними поверхнями, що мають циліндричну форму. Для визначення внутрішнього розміру до величини відліку необхідно додати 10 мм.

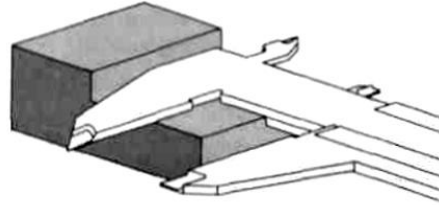
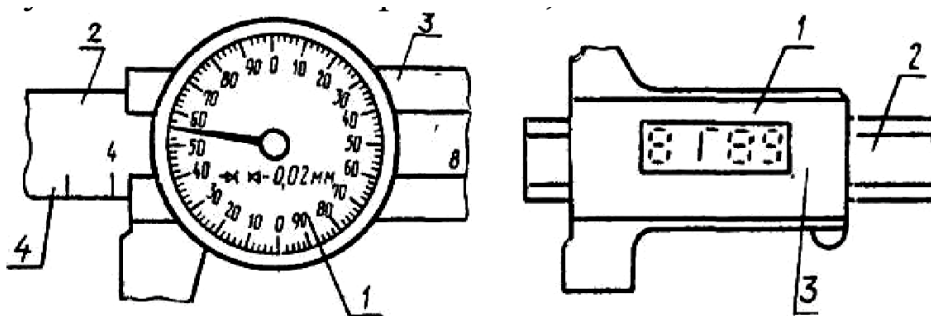


Рисунок 1.6 – Вимірювання штангенциркулем ступінчатого розміру

Характерною особливістю розвитку сучасної вимірювальної техніки є перехід від ноніусних до екранних та цифрових відлікових пристроїв (рисунок 1.7). За своїми можливостями вимірювання розмірів ними нічим не відрізняється від штангенінструментів з ноніусом. В той же час штангенциркуль оснащується циферблатом для легкого підрахунку показань. Індикатор часового типу дозволяє отримувати точність вимірювань 0,02 мм.



- 1 – кругова шкала відліку; 2 – штанга; 3 – рамка; 4 – шкала штанги
 а – годинникового типу
- 1 – цифровий відліковий пристрій; 2 – штанга; 3 – рамка
 б – з цифровим індикатором

Рисунок 1.7 – Схема відлікового пристрою штангенциркулів

Штангенглибиномір (рисунок 1.8) застосовується для прямого вимірювання глибини виїмок і висоти уступів. Основою штангенглибиноміра є рамка з основою (1). Крізь рамку проходить штанга зі шкалою (2) та вимірювальною поверхнею на

торці. Ноніус (4) задано на окремій пластині і закріплено в рамці (1). Мікрометричний механізм (3) на штангенглибиномірі такий самий, як і на штангенциркулі ШЦ – П.

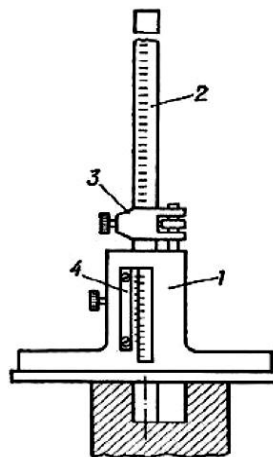


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд штангенглибиноміра

У виробництві широко використовують штангенрейсмуси (ШР) (рисунок 1.9) при визначенні радіуса кривошипа колінчастих валів, розмітці деталей і визначенні перепадів висот відносно базових поверхонь, які визначаються розташуванням опорної основи рейсмуса.

Штангенрейсмус використовують для розмітки, але він може використаний і для вимірювання висоти деталей, встановлених на плиті (рисунок 1.9). Вони мають ціну поділки ноніуса 0,1 та 0,05 мм і границю вимірювання до 2500 мм. Штангенрейсмус складається з основи 5, призначеної для встановлення пристрою на плиті. Перпендикулярно основі розташовано штангу 1 з міліметровою шкалою, рухома рамка 2 з ноніусом 3 має держак 4 для встановлення вимірювальної ніжки 6, призначеної для вимірювання висоти або розміткової ніжки 7. При розмітці вертикальних поверхонь штангенрейсмус з встановленими за шкалою та ноніусом розміром переміщується по плиті вздовж заготівки, яку необхідно розмітити. Гостряк розміткової ніжки наносить на поверхню заготівки горизонтальну лінію.

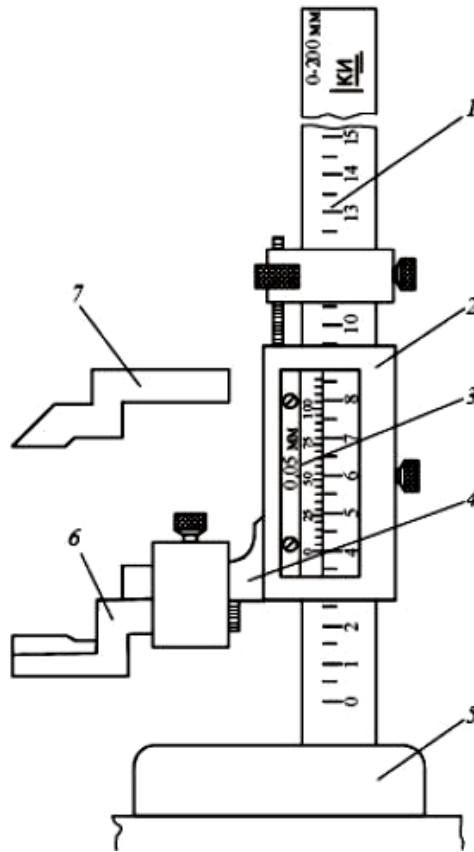
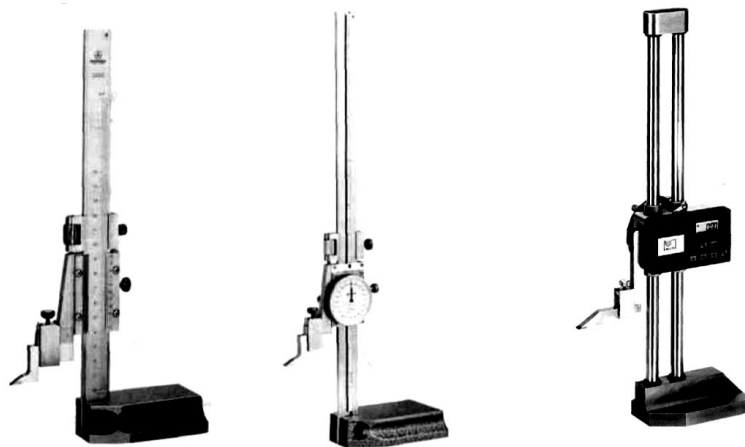


Рисунок 1.9 – Будова штангенрейсмуса

Як і інші штангенінструменти, рейсмуси виконуються у трьох варіантах: з ноніусом, з індикатором часового типу, та з цифровим індикатором (рисунок 1.10).

Рейсмус з цифровим індикатором на рідких кристалах (рисунок 1.10, в) на боковій поверхні відлікового блоку має шість функціональних кнопок, за допомогою яких він може бути перепрограмованим.



а – з ноніусом б – з індикатором в – з цифровим індикатором

Рисунок 1.10 – Загальний вигляд штангенрейсмусів

Змінюється шкала вимірювань з метричної на дюймову, здійснюється встановлення точки відліку в необхідному місці шкали (функція фіксованого значення). Вимірювання та переміщення відбуваються за допомогою двох незалежних одна від одної колонок, таким чином гарантується висока точність вимірювань. Вимірювальний діапазон 0-300 мм/0-500 мм. Мінімальна величина зчитування показань становить 0,01 мм. Точність вимірювань в діапазоні 0-200 мм становить $\pm 0,03$ мм; в діапазоні 200-400 мм – $\pm 0,04$ мм; в діапазоні 40-600 мм – $\pm 0,05$ мм.

1.2 Хід роботи

1 Вивчити будову штангенінструментів і принцип відліку по ноніусу у вимірювальній техніці.

2 Визначити дійсні розміри деталі і занести їх у таблицю протоколу. Порівнявши визначені розміри з граничними, визначити придатність деталі.

3 Ознайомитись з термінами: допуск, номінальний, дійсний розмір, максимальний та мінімальний розмір, граничні відхилення.

4 Накреслити на три розміри деталі № 1: схему розташування поля допуску і проставити на кресленні розташування дійсного розміру деталі.

Контрольні питання

- 1 Які прилади належать до штангенінструментів?
- 2 Як пов'язані між собою розміри основної шкали і шкали ноніуса?
- 3 Назвіть основні частини штангенінструментів.
- 4 Що таке прямий метод вимірювань?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Контроль розмірів мікрометричними інструментами

Мета роботи – вивчити будову мікрометричних інструментів і набути практичних навичок користування ними.

2.1 Теоретичні відомості

Мікрометричні інструменти є широко розповсюдженими засобами вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів, глибин пазів та отворів.

Принцип дії заснований на використанні пари гвинт-гайка. Точний мікрометричний гвинт обертається у нерухомій мікрогайці.

Відповідно до ГОСТ 6507-80 [1-3] випускають такі типи мікрометрів:

МК – гладкі для вимірювання зовнішніх розмірів;

МЛ – листовий з циферблатом для вимірювання товщини листів та стрічок;

МТ – трубні для вимірювання товщини стінок труб;

МЗ – зубомірні для вимірювання довжини загальної нормалі зубчастих коліс;

МВМ, МВТ, МВП – мікрометри зі вставками для вимірювання різних різьб та деталей з м'яких матеріалів;

МР, МРІ – мікрометри важільні;

МВ, МГ, МН, МН2 – мікрометри настільні.

Крім того випускають мікрометричні нутроміри та мікрометричні глибиноміри.

Всі мікрометри мають ціну поділки 0,01 мм, окрім мікрометрів важільних, які мають ціну поділки 0,002 мм. Діапазон вимірювання гладких мікрометрів залежить від розмірів скоби та складає: 0-25, 25-50, ..., 275-300, 300-400, 400-500, 500-600 мм.

Мікрометричні інструменти мають вищу точність, ніж штангенінструменти, і тому використовуються для контролю більш відповідальних деталей машин та механізмів (7-8 квалітет). Метод вимірювання – прямий, абсолютний.

Мікрометри мають прецизійно відшліфований ходовий гвинт, зміцнений твердим сплавом вимірювальних площин, і

міцну конструкцію скоби, що забезпечує високий ступінь точності і довговічності. Поздовжнє переміщення гвинта прямо пропорційне кроку різьби і куту повороту гвинта. Переміщення в цілу кількість кроків різьби відраховується на стеблі, а куту повороту – на барабані. Стебло (вимірювальний шпindel) разом з барабаном, мікрометричним гвинтом, механізмом стабілізації зусилля затискання та цанговим механізмом пасування зносу називається мікрометричною головкою (рисунок 2.1). Мікрометричні головки (МГ) мають діапазон вимірювання 0 ... 25 мм.

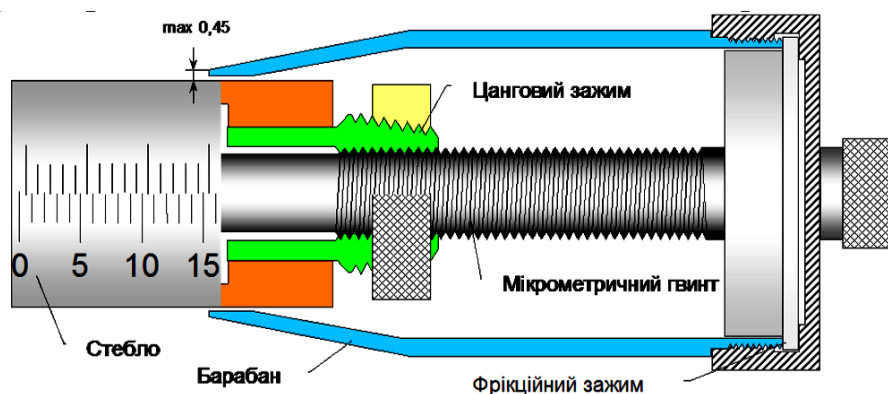


Рисунок 2.1 – Будова мікрометричної головки

Відліковий пристрій мікрометра має дві шкали поділок: поздовжню – на стеблі 4 і кругову на скошеному краю барабана (рисунок 2.2). Поздовжня шкала має два ряди штрихів, зміщених один щодо одного на 0,5 мм. Один ряд штрихів розміщується над поздовжньою рисою, позначеною на стеблі мікрометра, а інший – під цією рисою.

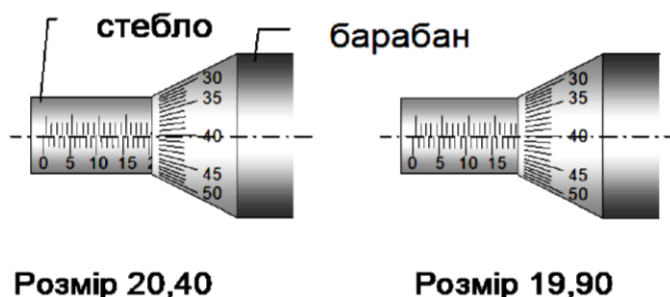


Рисунок 2.2 – Приклади відліку розмірів на мікрометричних інструментах

Кругова шкала барабана складається з 50 штрихів. Отже, при повороті барабана на кут, що відповідає інтервалу кругової шкали (на одну поділку), мікрометричний гвинт переміститься на $0,5/50=0,01$ мм. За один повний оберт барабана мікрометричний гвинт переміститься на один крок, або на 0,5 мм. Таким чином, поздовжня шкала служить для відліку цілих міліметрів з кроком 0,5 мм, а кругова – для відліку сотих часток міліметра.

Щоб отримувати постійний тиск на різьбу під час вимірювання, всі мікрометри обладнують трещіткою або фрикційним барабаном, яка обмежує вимірювальне зусилля в межах (700 ± 200) г. Для зниження впливу температури рук калібрувальні стрижні та скоби оснащують теплоізолюючими накладками.

Для зберігання показань вимірюваних розмірів або для встановлення мікрометра на нуль, чи для перевірки розмірів використовують стопор.

З метою пасування зносу мікрометричної різьби всі мікрометри мають цанговий пристрій для швидкого та легкого регулювання зносу, що суттєво подовжує строк їх служби (рисунок 2.3).

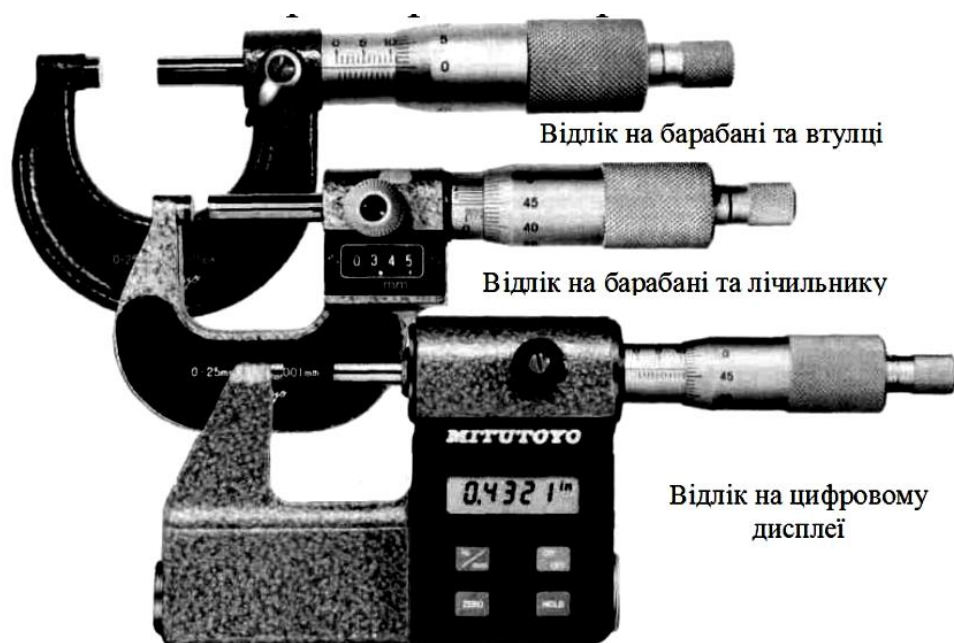


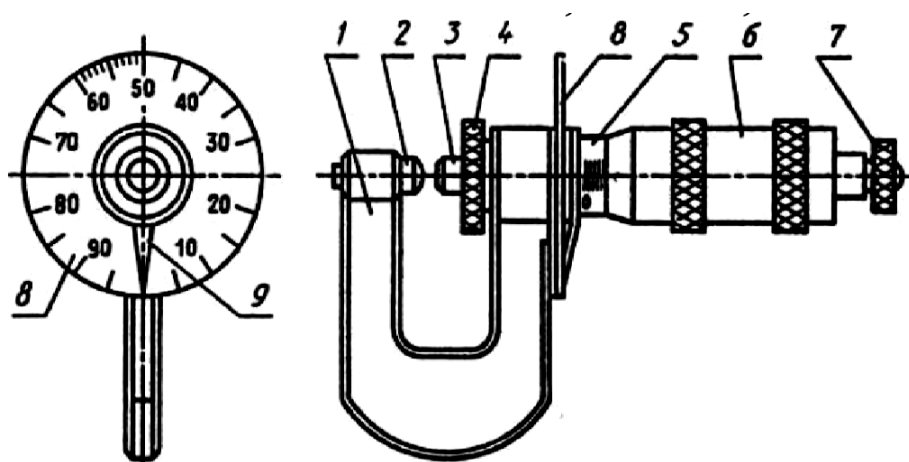
Рисунок 2.3 – Різновиди мікрометрів для вимірювання зовнішніх розмірів

Діапазон вимірювань визначається розмірами скоби, розміри якої змінюються з кроком 25 мм: 150-175, 175-200, 200-225, 225-250, 250-275, 275-300 мм. Верхня межа вимірювання мікрометричними засобами становить 600 мм. Всі мікрометри (окрім 0-25) міліметра оснащуються калібром, за яким встановлюється мінімальний розмір вимірювання. Крок різьби мікрометричного гвинта зазвичай складає 0,5 мм.

Існує багато різновидів мікрометричних приладів. В наш час набувають розповсюдження електронні мікрометри. Безпосередній відлік показань на дисплеї LCD (30×10 мм) запобігає можливості помилкового відліку. Органи управління дозволяють натисканням кнопок легко перемикати шкалу (міліметр/дюйм, мм/дюйм), здійснювати встановлення шкали на нуль в необхідному місці, зберігати виміряні розміри. Мінімальна точність зчитування розмірів (квантування) при 20°C становить $\pm 0,001$ мм. Вимірювальна поверхня виготовлена з твердого металу. ЦМ мають автоматичну індикацію максимальних та мінімальних виміряних величин, дозволяють встановлювати шкалу на 0 в будь-якому положенні. Індикатор може переключатися з метричної системи одиниць на дюймову. ЦМ мають інтерфейс для підключення до принтера, який може автоматично записувати всі результати вимірювань.

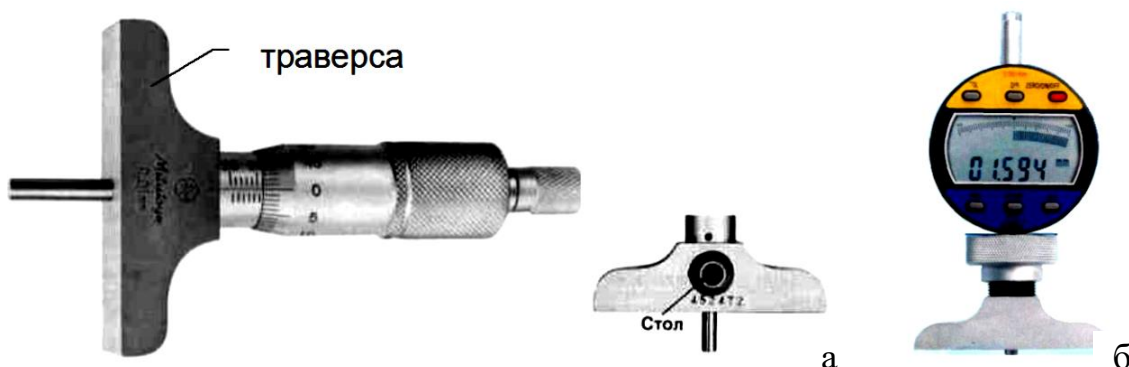
Для вимірювання товщини листа використовують товщиноміри. Мікрометри листові (МЛ) застосовують при вимірюванні товщини листового матеріалу, для чого вони мають повздовжню скобу. Їх виготовляють з нерухомим циферблатом і стрілкою, що рухається разом з барабаном (рисунок 2.4). Діапазон вимірювань може становити: 0...5, 0...10, 0...25 мм.

Для вимірювання виточок в різних деталях, висот уступів, величин підйому штовхачів (штанг) використовують мікрометричний глибиномір (рисунок 2.5). Відліковий пристрій складається з траверси з плоскою вимірювальною поверхнею і мікрометричної головки. З траверсою жорстко зв'язане стебло, в якому переміщується мікрометричний гвинт зі змінною вставкою. Мікрометричний гвинт фіксується стопором. Мікрометричний гвинт обертається разом з обертанням барабана. Храповий механізм обмежує вимірювальне зусилля в межах (700 ± 200) г.



1 - скоба; 2 – п’ятка; 3 – мікрометричний гвинт; 4 – стопор; 5 – стебло;
6 – барабан; 7– трещітка (фрикціон); 8 – циферблат; 9 – стрілка

Рисунок 2.4 – Креслення та зовнішній вигляд листового мікрометра



а – мікрометричний б – цифровий
Рисунок 2.5 – Загальний вигляд глибиномірів

Для забезпечення такого широкого діапазону вимірювань у комплект глибиноміра входять декілька змінних стрижньових вставок, що вставляються в отвір мікрометричного гвинта.

При вкручуванні мікрометричного гвинта числовий показник мікрометричного глибиноміра не зменшується, як у мікрометра, а збільшується. Тому цифри на шкалі стебла і барабана стоять у протилежному напрямку: на стеблі цифри збільшуються справа наліво, а на барабані – зліва направо.

Для вимірювання внутрішніх розмірів деталей застосовують мікрометричний нутромір. Основу мікрометричної головки складає мікрометричний гвинт (діапазон вимірювання 50-63 мм) з шістьма подовжуючими стрижнями (13, 25, 50, 100, 150,

200 мм), які дозволяють розширяти межі вимірювання. Їх можна використовувати як поодиночі, так і разом. Контрольний калібр являє собою скобу, налаштовану на розмір 50 мм, і призначений для юстування мікрометричної головки. Подовжувачі мають на одному кінці сферичний виступ для вимірювання та зовнішню різьбу, що служить для нагвинчування мікрометричної головки, а на другому кінці – внутрішню різьбу для приєднання другого продовжувача. Згвинтивши мікрометричну головку з кількома продовжувачами, можна отримати нутроміри з верхньою межею вимірювання.

Для вимірювання похибки кроку зубчатих коліс призначені мікрометри зубомірні (рисунок 2.6).

Діаметр вимірювального диска від 20 до 100 мм, діаметр 30 для діапазону більш за 100 мм. Ціна поділок 0,01 мм. Похибка вимірювань – ± 5 мкм.



Рисунок 2.6 – Зубомірний мікрометр

Мікрометричні нутроміри (рисунок 2.7) використовують для вимірювання діаметрів отворів, ширини пазів тощо. Вони складаються з мікрометричної головки і набору продовжувачів, які дозволяють розширити діапазон вимірювання.

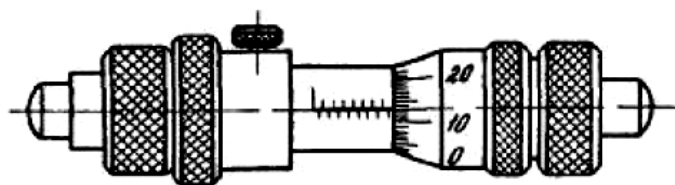


Рисунок 2.7 – Мікрометричний нутромір

2.2 Хід роботи

1 Ознайомитись з будовою мікрометричних інструментів. Накреслити ескізи мікрометра і його шкали.

2 Навчитись визначати розміри за допомогою мікрометричних інструментів.

3 Навчитись перевіряти встановлення шкали мікрометра на 0.

4 Виміряти розміри, зазначені на кресленні виданої деталі. Результати вимірів занести у таблицю протоколу. Порівняти їх з допустимими значеннями розмірів, зробити висновок про придатність деталі.

5 Нарисувати ескіз полів допусків виміряних розмірів і вказати на схемі розташування виміряних дійсних розмірів.

Контрольні питання

1 Які вимірювальні прилади належать до мікрометричних?

2 Як пов'язані між собою розміри основної шкали і шкали на барабані?

3 Назвіть основні частини мікрометричних інструментів.

4 Чим обмежується точність вимірювання мікрометричними інструментами?

5 Яка ціна поділок шкал на стеблі та на барабані?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

Контроль розмірів деталей індикаторними і важільно-зубчастими приладами

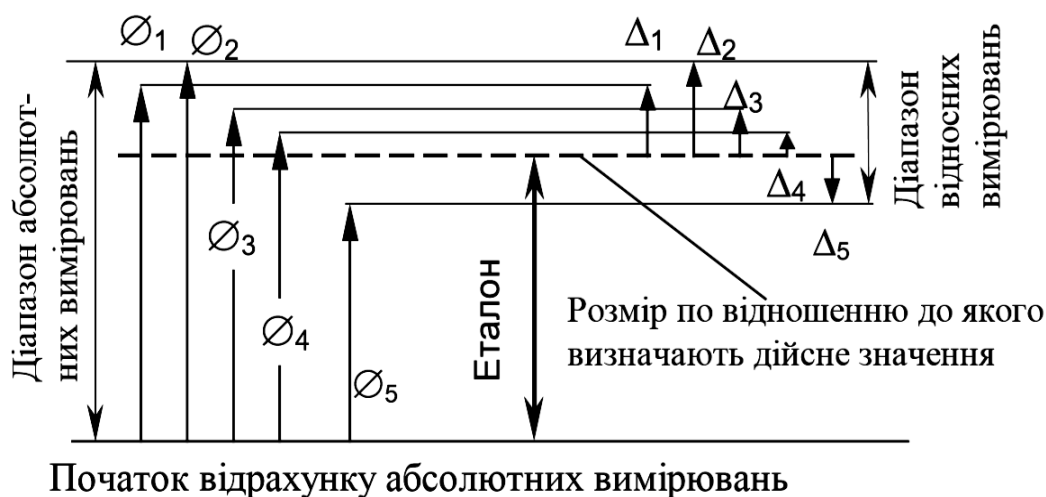
Мета роботи – вивчити будову індикаторних головок, індикаторних скоб, важільно-зубчастих скоб і мікрометрів, індикаторних нутромірів. Набути навичок користування ними. Засвоїти відносний метод вимірювання, його переваги та недоліки.

3.1 Теоретичні відомості

До групи важільно-механічних приладів належать прилади різної точності з ціною поділок від 0,01 до 0,001 мм. Ці прилади

побудовані на принципі перетворення малих переміщень вимірювального стрижня в збільшені в сотні разів переміщення стрілки шкали за допомогою зубчастих, важільно-зубчастих та інших механізмів. Важільні вимірювальні прилади не мають кінематичних пар з зовнішнім тертям, тому вони мають малу похибку і застосовуються для вимірювання розмірів виробів 5-го і 6-го квалітетів, контролю відхилення форми і розміщення поверхонь.

Метод відносного вимірювання. Абсолютні виміри базуються на прямих вимірюваннях основних величин і використанні значень фізичних констант. При відносних вимірюваннях величину порівнюють із однойменною, яка відіграє роль одиниці або прийнятої за вихідну (ДСТУ 2681-94) (рисунок 3.1).



Ø – повний розмір, Δ – відхилення від еталонного розміру

Рисунок 3.1 – Прямий та відносний методи вимірювань

Кінцеві міри довжини (КМД) (ГОСТ 9038–83). Питання єдності вимірювань у машинобудуванні посідає головне місце і визначає всі питання взаємозамінності та достовірності вимірювань. Основною одиницею довжини в СІ прийнято метр. Робочим еталоном, який відтворює одиниці довжини, є плоскопаралельні кінцеві міри довжини (рисунок 3.2). Параметр шорсткості вимірювальних поверхонь кінцевих мір $R_a = 0,063$ мкм, неробочих поверхонь – $R_a 0,63$ мкм (ГОСТ 2789–73). За призначенням міри довжини поділяються на три групи:

еталонні, зразкові і робочі. Термообробка до твердості HRC65 забезпечує високу зносостійкість.

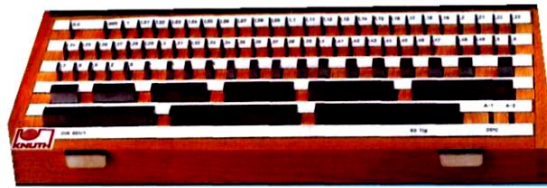


Рисунок 3.2 – Плоско-паралельні кінцеві міри довжини, 83 шт.

Кінцеві міри довжини мають форму прямокутного паралелепіпеда з двома плоскими взаємопаралельними вимірними поверхнями. Їх застосовують як робочі міри для перевірки регулювання і налагоджування для вимірювальних приладів, для безпосереднього вимірювання лінійних розмірів промислових виробів або як зразкові міри для передачі розміру одиниці довжини від первинного еталона до кінцевих мір меншої точності.

Кінцеві міри виготовляють таких класів точності: 00, 01; 0; 1; 2; 3 – зі сталі або з твердого сплаву.

Кінцеві міри комплектують в набори, різні за числом і розмірами номінальної довжини. Найбільш широко використовується набір з числом плиточок – 83 шт. Номінальні значення довжини мір змінюються в діапазоні від 1,005 до 100 мм. Градація мір в різних діапазонах відбувається з різними кроками: 0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 1; 10; 25; 50 і 100 мм.

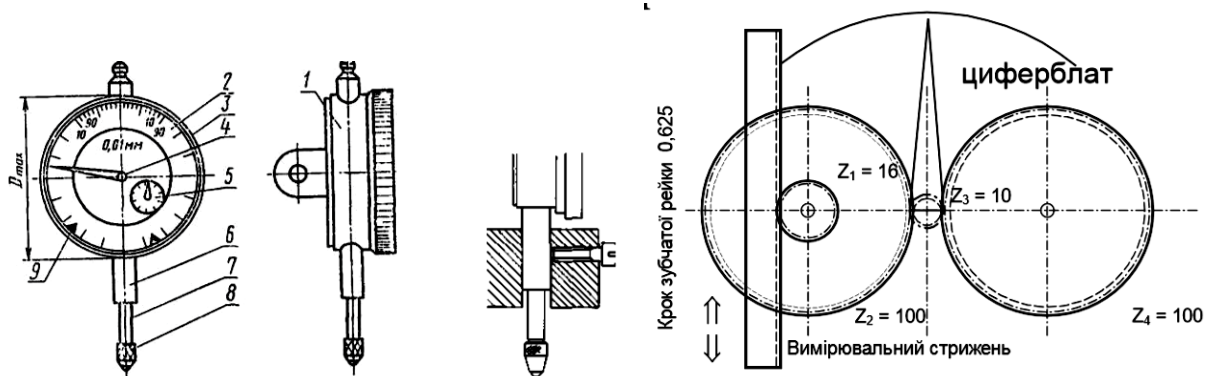
На кожній мірі нанесено її номінальне значення. На КМД, які мають розмір більше 5,5 мм, значення наноситься на неробочій поверхні.

Складати блок потрібного розміру необхідно з якомога меншого числа кінцевих мір. Спочатку слід вибирати кінцеві міри, які дозволяють одержати тисячні частки міліметрів, потім соті, десяті і нарешті цілі міліметри. Наприклад, щоб набрати розмір 24,375 мм, необхідно з набору взяти кінцеві міри у такій послідовності: $1,005+1,37+2+20 = 24,375$ мм.

Індикатори годинникового типу. До важільно-механічних приладів з зубчастою передачею відносять індикатор годинникового типу. Він широко застосовується в різних

приладах, а також разом зі штативами і стояками при вимірюванні розмірів, овальності, конусності, биття, співвісності та різних похибок форми і розміщення.

Індикатори годинникового типу випускають з ціною поділок 0,01 і 0,002 мм та межами вимірювань 0 ... 5, 0 ... 10 мм. У схемі індикатора (рисунок 3.3) при переміщенні вимірювального стрижня на 1 мм зубчасте колесо ($Z_1=16$) з стрілкою показника обертів знаходиться на його осі, робить один оберт, оскільки $10 \text{ мм} / (0,625 \times 16) = 1 \text{ мм}$. Похибки вимірювання індикаторів годинникового типу становлять від ± 2 до ± 10 мкм.



- 1 – корпус; 2 – циферблат; 3 – ободок; 4 – стрілка; 5 – вказівник;
 6 – гільза; 7 – вимірювальний стрижень;
 8 – вимірювальний наконечник; 9 – вказівник меж

Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд та кінематична схема індикатора годинникового типу

Індикатор годинникового типу має два циферблати: великий, що служить для відліку сотих часток міліметра, і малий – для відліку цілих міліметрів і який має діапазон, що відповідає інтервалу вимірювання.

На зовнішнє скельце прикріплюються вказівники, які відмічають задані межі.

Індикаторний нутромір (рисунок 3.4). Випускається з діапазоном вимірювань 10 – 18; 18 – 35; 35 – 50, 50-160 мм. Точність зчитування залежить від точності оснащення приладу індикаторної головки і може становити 0,01 або 0,005 мм. Рухомий контактний штифт оснащується кулькою з твердого сплаву.

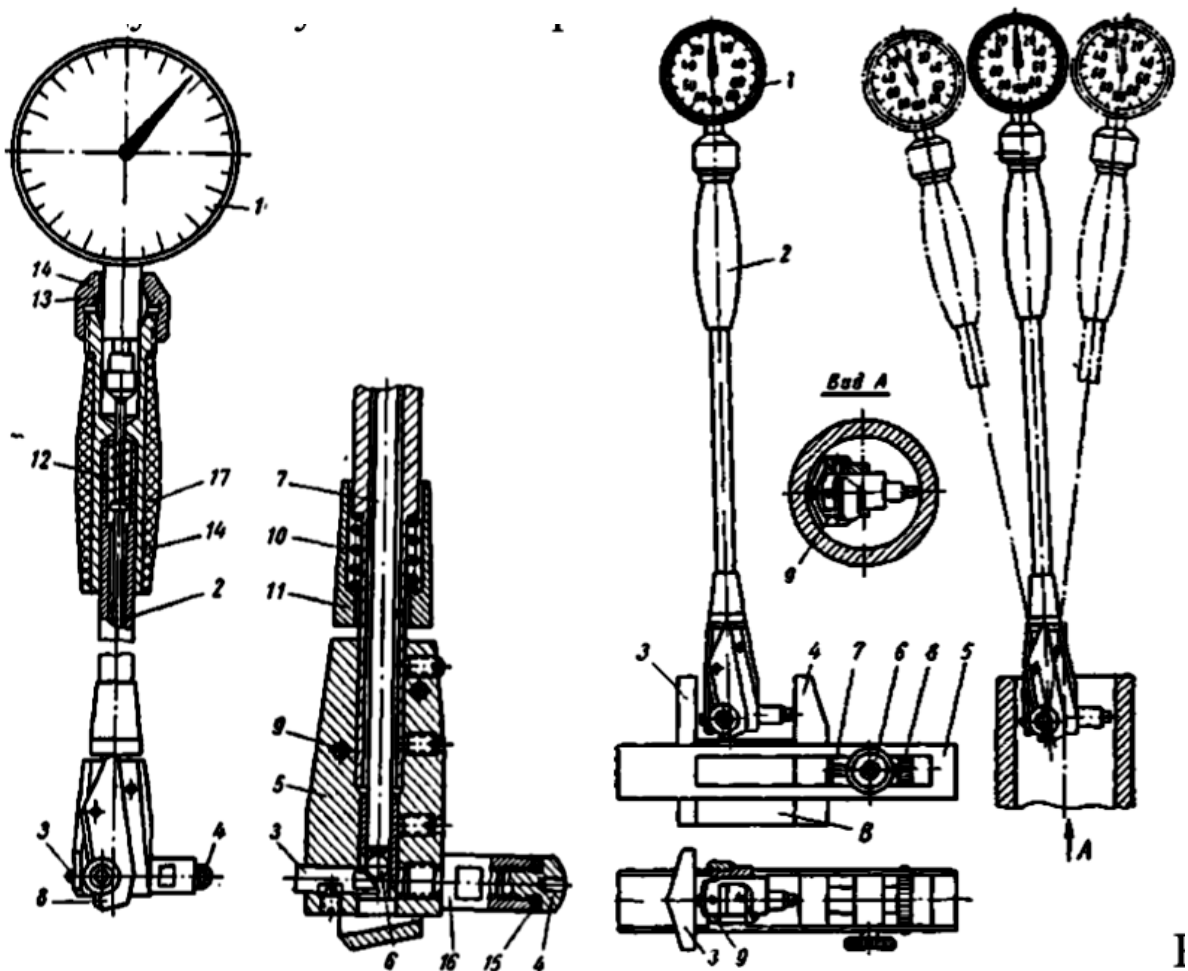


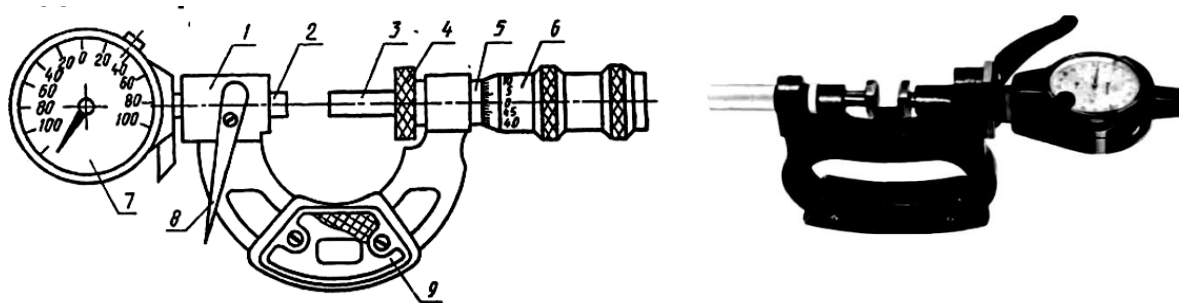
Рисунок 3.4 – Індикаторний нутромір

Вимірювання нутроміром має свої особливості. Індикатор 1 вставляється в трубку нутроміра де закріплюється цанговим затискачем. Вимірювальні стрижні – рухомий 3 та нерухомий (змінний) розташовуються в корпусі 5. Вимірювальне зусилля створюється індикатором 1 та пружиною 12. Прилад встановлюється на 0 по блоку кінцевих мір довжини або кільцю, розмір якого дорівнює номінальному діаметру або діаметру, який визначає розташування середини поля допуску. Обережно відтискаючи центруючий місток, нутромір вводять в простір отвору. Невеличким покачуванням знаходять крайнє положення великої стрілки індикатора, яке відповідає найменшій відстані між поверхнями.

Показання приладу становлять відхилення розміру отвору від розміру встановлювальної міри. Розмір діаметра дорівнює

сумі значень приладу і встановлювальної міри. Після закінчення вимірювань знову перевіряють встановлення приладу на нуль.

Індикаторні скоби (рисунок 3.5).



- 1 – корпус; 2 – п'ятка рухома; 3 – п'ятка переставна; 4 – стопор;
5 – стебло; 6 – барабан; 7 – відліковий пристрій;
8 – важіль переставний; 9 – теплоізоляційна накладка

Рисунок 3.5 – Індикаторний мікрометр та індикаторна скоба

Прилади з важільно-зубчастою передачею. Важільна скоба (ГОСТ 11098–75) – це прилад з важільно-зубчастою передачею, призначений для вимірювань зовнішніх діаметрів відносним методом (рисунок 3.6). Важільні скоби з межами вимірювання 0... 1000 мм оснащені відліковим пристроєм з ціною поділок 0,002 і 0,010 мм.

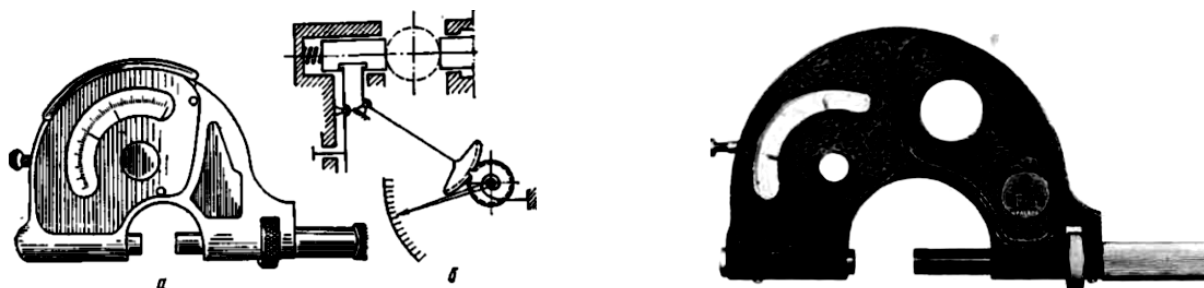


Рисунок 3.6 – Важільна скоба

Мікрометри для миттєвих вимірювань (ГОСТ 4381–87). Ціна поділок мікрометра МВ від 0,002 до 0,01 мм, межі вимірювання 50 ... 75 і 1800 ... 2000 мм для мікрометрів МВ і 0 ... 25, 25 ... 50 мм – для мікрометрів МВ. Мікрометри МВ, крім мікрометричної головки, мають важільно-відліковий пристрій з ціною поділки шкали 0,002 мм. Мікрометри МВ з верхньою

межею вимірювання понад 150 мм мають пересувні або змінні п'ятки і вмонтовані в скобі важільно-чутливий або індикаторний відліковий пристрій.

Важільні мікрометри використовують як для відносних, так і для абсолютних вимірювань. При вимірюваннях великої кількості деталей важільним мікрометром користуються як скобою. В цьому разі прилад встановлюють на нуль (відповідно до номінального розміру деталі) або по шкалі мікрометричної головки, або за кінцевими мірами (рисунок 3.7).

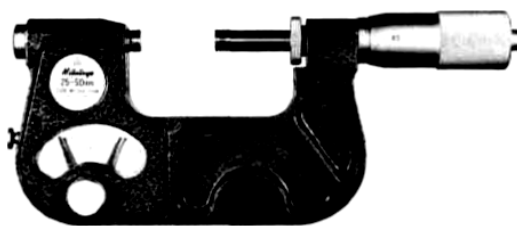
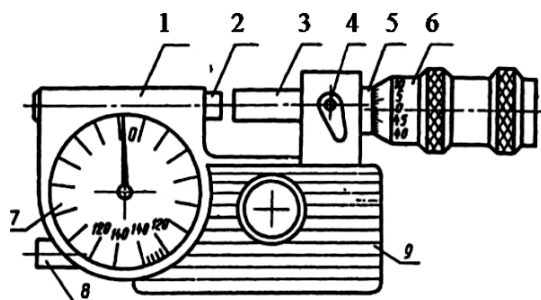


Рисунок 3.7 – Мікрометр важільний (МВ) загальний вигляд

Важільний мікрометр з миттєвою індикацією. Важільний мікрометр має п'ятку, яка чуттєво реагує на дотик, визначаючи початок функціонального вимірювання (рисунок 3.8).



- 1 – корпус; 2 – п'ятка рухома; 3 – п'ятка переставна; 4 – стопор;
5 – стебло; 6 – барабан; 7 – відліковий індикатор;
8 – важіль; 9 – теплоізолючі накладки

Рисунок 3.8 – Важільний мікрометр

Зусилля вимірювань: 5-10 Н. Мікрометр має великий діаметр циферблату для легкого зчитування показань. Ціна поділок індикатора: 0,01мм. Зворотний хід п'ятки становить ≈ 2 мм. Рухома п'ятка та шкала з двома рухомими індикаторами

дозволяють проводити швидке визначення входження дійсних розмірів деталі в допустимі граничні межі. Вимірювальні поверхні виготовлюють з твердого сплаву.

3.2 Хід роботи

1 Вивчити будову і принцип дії індикаторних головок, індикаторних скоб, важільно-зубчастих скоб і мікрометрів, індикаторних нутромірів.

2 Вибрати прилади для виконання необхідних вимірювань.

3 Виставити прилади на необхідні розміри за допомогою КМД.

4 Індикаторним нутроміром виміряти внутрішній діаметр циліндра (креслення в протоколі), а індикаторною скобою – зовнішній діаметр. Результати вимірів занести в таблицю і, порівнявши їх з допустимими розмірами, визначити придатність деталі. Виміри робити в кількох осьових і радіальних напрямках.

5 Статистично обробити результати вимірювань.

6 Оформити протокол лабораторної роботи.

Контрольні питання

1 Чим відрізняються прямі вимірювання від відносних?

2 Які переваги надає відносний метод вимірювань?

3 Яка точність вимірювань важільно-механічних приладів?

4 Як здійснюється контроль виробів пружинно-вимірювальними головками?

5 Які прилади використовують для відносних методів вимірювання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Вибір і перевірка придатності універсальних вимірювальних засобів

Мета роботи – навчитись робити зважений висновок вибору вимірювальних інструментів відповідно до розмірів і допусків на виготовлення елементів деталей. Практично ознайомитися з

системою забезпечення єдності мір і опанувати методику перевірки одного з вимірювальних інструментів (з мікрометричним гвинтом) на точність, набути навичок з набирання заданих розмірів з КМД.

4.1 Теоретичні відомості

Правильний вибір вимірювальних засобів залежно від точності контрольованої деталі має велике практичне значення. Вибір засобів вимірювання без врахування їх точності призводить до небажаних наслідків. Користування не досить точним інструментом приводить до того, що деталі, прийняті за результатами вимірювання як придатні, можуть виявитися непридатними чи навпаки. При складанні деталі, перевірені не досить точним інструментом, можуть дати інші зазори або натяги, ніж це передбачав конструктор. Коли ж застосовують надмірно точний, отже, й дорожчий та складніший в обслуговуванні інструмент, зростає вартість виготовлення і відновлення деталі.

При виборі вимірювальних засобів і методів контролю виробів враховують сукупність метрологічних, експлуатаційних і економічних показників. До метрологічних показників відносяться: допустима похибка вимірювального приладу або інструмента, ціна поділки шкали, поріг чутливості, границі вимірювання та ін. До експлуатаційних і економічних показників відносяться вартість і надійність вимірювальних засобів, тривалість роботи (до ремонту), час, затрачений на налагодження і процес вимірювання, маса, габаритні розміри і робоче навантаження.

Основним фактором є допустима похибка вимірювальних засобів, що впливає з стандартизованого визначення дійсного розміру, як і розміру, який одержуємо в результаті вимірювання з допустимою похибкою.

Допустимі похибки вимірювання. Похибки вимірювання, встановлені ГОСТ 8.051–81, є найбільшими допустимими похибками вимірювання, до яких входять, власне, всі складові, що залежать від вимірювальних засобів, установлювальних мір, температурних деформацій, базування тощо.

Значення допустимих похибок вимірювання встановлено залежно від номінальних розмірів і допусків на виготовлення. Значення похибок встановлено для квалітетів ІТ2–ІТ17, для номінальних розмірів до 500 мм. Значення похибок з заокругленням, враховуючи реальні значення похибок вимірювання, такі: до 35 % (для ІТ2 – ІТ5), до 30 (для ІТ6 – ІТ9), від 20 % (для ІТ10 і грубіших).

Допустимі похибки вимірювання наведено в таблиці 4.1. Це випадкові і невраховані систематичні похибки вимірювання.

Таблиця 4.1 – Граничні похибки вимірювання лінійних розмірів

Квалітети	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Інтервали розмірів, мм	Допустимі похибки вимірювання, мкм												
До 3	1,4	1,8	3	3	6	8	12	20	30	50	80	120	200
Св. 3 до 6	1,6	2,0	3	4	8	10	16	30	40	60	100	160	240
Св. 6 до 10	2,0	2,0	4	5	9	12	18	30	50	80	120	200	300
Св. 10 до 18	2,8	3	5	7	10	14	30	40	60	90	140	240	380
Св. 18 до 30	3	4	6	8	12	18	30	50	70	120	180	280	440
Св. 30 до 50	4	5	7	10	16	20	40	50	80	140	200	320	500
Св. 50 до 80	4	5	9	12	18	30	40	60	100	160	240	400	600
Св. 80 до 120	5	6	10	12	20	30	50	70	120	180	280	440	700
Св. 120 до 180	6	7	12	16	30	40	50	80	140	200	320	500	800
Св. 180 до 250	6	8	12	18	30	40	60	100	160	240	380	600	1000
Св. 250 до 315	8	10	14	20	30	50	70	120	180	260	440	700	1100
Св. 315 до 400	9	10	16	24	40	50	80	120	180	280	460	800	1200
Св. 400 до 500	9	12	18	26	40	50	80	140	200	320	500	800	1400

Випадкову складову похибки можна виявити практично при всіх видах вимірювання. Цю частину похибки інколи приймають за всю похибку вимірювання. Ось чому в стандарті було визнано за необхідне окремо вказати, що випадкова частина похибки вимірювання не повинна перевищувати 0,6 нормованої допустимої похибки вимірювання. Обмежити невраховану систематичну похибку вимірювання неможливо, бо для її безпосереднього визначення необхідно мати зразкові міри, що, особливо при точних вимірюваннях, практично зробити неможливо.

Порядок вибору вимірювальних засобів (ЗВ). Метрологічна служба бере участь у виборі конкретних вимірювальних засобів з урахуванням умов вимірювання. Ця служба повинна встановити,

якою мірою реально існуючі умови вимірювання відповідають вимогам до умов вимірювання, а також враховувати специфічні особливості виробництва (застосування вимірювальних засобів, їх наявність та ін.).

Для проведення вимірювання з похибками, що не перевищують припустимих за ГОСТ 8.051–81 значень, необхідно мати відомості про значення похибок вимірювання різними вимірювальними засобами в різних умовах їх застосування. Такі відомості про похибки вимірювання вимірювальних засобів, які серійно випускаються спеціалізованими заводами для зовнішніх і внутрішніх вимірювань, наведено в нормативно-технічних документах і в РД 50-98-86.

Найбільш оптимально проводити вибір засобів вимірювання серед універсальних, які набули широкого визнання, за нормованими метрологічними характеристиками. В окремих випадках можна створювати і свої особисті ЗВ, але після цього необхідно проводити їх атестацію в метрологічних центрах Держстандарту (ДСТУ 3215-95, 3400-96). З попередніх робіт ми вже знаємо існуючі УЗВ, які відповідають існуючим державним і міжнародним стандартам.

Знаючи граничні похибки УЗВ і граничні похибки вимірювання лінійних розмірів (таблиця 4.1) можна легко побудувати графік діапазонів використання УЗВ, в залежності від точності вимірюваної деталі і її розмірів (рисунок 4.1).

Повірка точності засобів вимірювальної техніки. Державні випробування засобів вимірювальної техніки проводять з метою забезпечення єдності вимірювань, використання вимірювальної техніки, яка відповідає встановленим метрологічним нормам і правилам (ДСТУ 2708-2006). Для засобів вимірювальної техніки, які підлягають повірці, встановлено такі види повірки: первинна, періодична, позачергова, інспекційна та експертна. Первинній повірці підлягають ЗВТ під час випуску з виробництва та ремонту. Періодичній повірці підлягають ЗВТ, які перебувають в експлуатації.

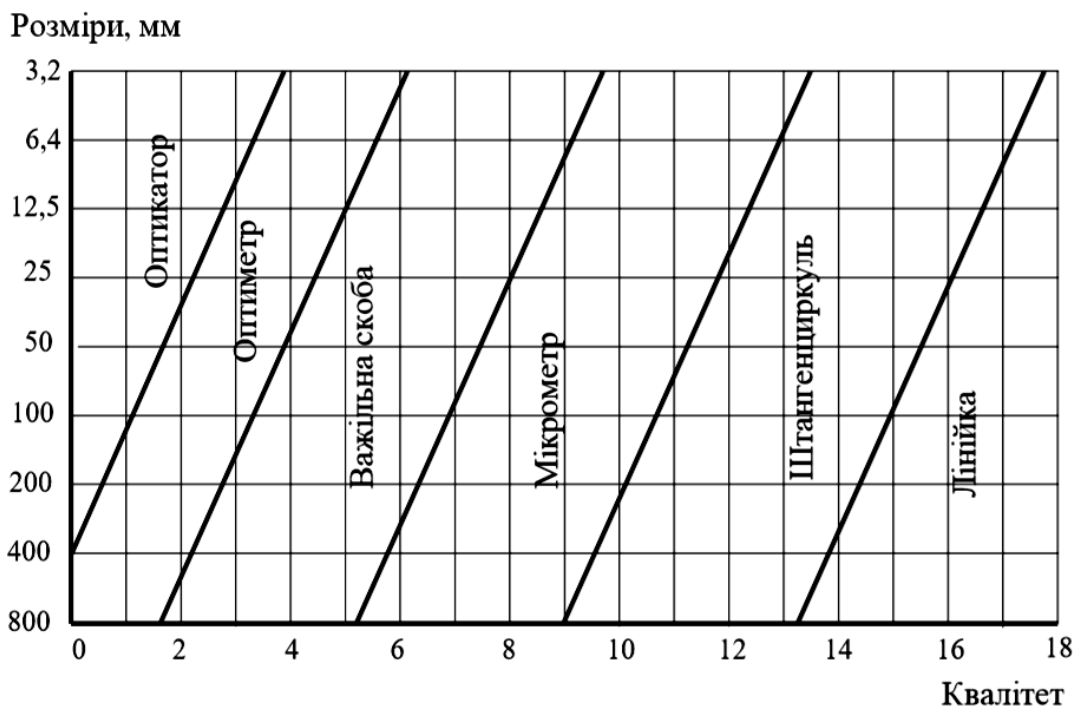


Рисунок 4.1 – Схема діапазонів використання вимірювальних інструментів

Інспекційну повірку проводять під час здійснення державного метрологічного нагляду, щоб перевірити придатність ЗВТ до застосування. Державні контрольні випробування проводять у порядку державного метрологічного нагляду за засобами вимірювальної техніки, які серійно випускаються на Україні або ввозяться на її територію. Їх проводять раз на три роки. За результатами державних випробувань складають акт.

Повірка точності мікрометричних засобів. Відповідно до мікрометричних ЗВТ, які знаходяться на підприємствах, необхідно проводити періодично інспекційну повірку, під час якої перевіряється: похибка подачі, повірка площинності вимірювальної площини. Періодична інспекція засобів вимірювання дозволяє визначити відповідність вимогам нормативних документів.

Найбільш просто перевірити мікрометр для вимірювання зовнішніх розмірів. Для цього використовують комплект плоскопаралельних мір довжини. Відповідно до завдання складаємо блоки різних розмірів для контролю точності подачі мікрометра по всій його довжині. Набір плиток робимо, починаючи з вибору плитки, розмір якої збігається з найменшим

порядком заданого розміру. Розміри кінцевих мір довжини, які складають інспекційні розміри, заносимо до таблиці вимірювань.

Після заповнення таблиці перевіряємо подачу мікрометра відповідно до визначених розмірів. Для цього послідовно вимірюємо один за одним набрані в блоки з КМД розміри. Результати показань інспекційної повірки мікрометра заносимо до Акту атестації мікрометричного інструменту. Враховуючи методи статистичної обробки результатів, вимірювання проводимо тричі. Визначивши похибку мікрометра, робимо висновок відповідності.

Періодична інспекція паралельності та площинності вимірювальної площини. Внаслідок викривлення початкової форми необхідно перевіряти площинність розташування паралельності розташування п'яточок мікрометричних ЗВТ.

4.2 Хід роботи

- 1 Визначити допустимі межі розмірів деталей.
- 2 Визначити метрологічні характеристики вимірювальних засобів.
- 3 Обґрунтувати вибір вимірювальних приладів і виміряти задану деталь.
- 4 Ознайомитися із системою забезпечення єдності мір, системою перевірки точності вимірювальної техніки на підприємствах. Перевірити точність мікрометра МК за допомогою плоскопаралельних КМД.

Контрольні питання

- 1 Назвіть принципові положення щодо вибору вимірювальних засобів.
- 2 Як визначають допустимі похибки вимірювання?
- 3 Як оцінюють вплив похибок вимірювання за приймальним контролем?
- 4 Основні складові похибок та їх вплив на вимірювання лінійних розмірів.
- 5 Види суб'єктивних похибок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

Контроль і нормування параметрів шорсткості поверхонь деталей

Мета роботи – ознайомитись з параметрами контролю шорсткості деталей машин. Вивчити основні методи контролю і нормування параметрів шорсткості поверхонь. Набути практичних навичок вимірювання шорсткості.

5.1 Теоретичні відомості

Враховуючи вплив шорсткості поверхні на експлуатаційні характеристики деталі, її нормують виходячи з функціонального призначення поверхні деталі. ДСТУ 2409-93 встановлює перелік параметрів і типів, напрямків нерівностей, які застосовуються при визначенні вимог і контролі шорсткості поверхні, а також їх числові значення.

Базова довжина (L) – довжина базової лінії, яка використовується для виділення нерівностей, що характеризують шорсткість поверхні (рисунок 5.1). Вимоги до шорсткості поверхні в межах базової довжини визначаються параметрами шорсткості (одного або декількох). До таких параметрів відносять:

R_a – середнє арифметичне відхилення профілю; визначається із абсолютних значень відхилення профілю (параметр R_a дає більш якісну оцінку шорсткості і тому він є переважним);

R_z – висота нерівностей профілю за десятьма точками. Визначається як середнє абсолютних значень п'яти найбільших виступів і п'яти найбільших западин профілю;

R_{max} – найбільша висота профілю – відстань між лінією виступів профілю і лінією западин профілю;

S_m – середнє значення кроку нерівностей профілю ;

S – середній крок місцевих виступів профілю;

t_p – відносна опорна довжина профілю.

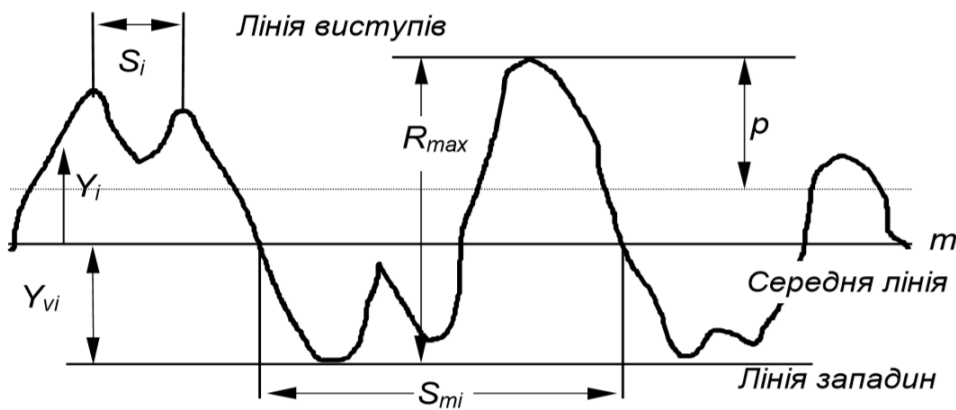


Рисунок 5.1 – Профілограма та основні параметри шорсткості

Засоби вимірювання шорсткості поверхні. Якість поверхні впливає на функціонування, експлуатацію або зовнішній вигляд деталей та готових виробів. Велике значення має ретельний контроль шорсткості [17, 18].

Для такого порівняльного контролю на око або на дотик використовуються зразки шорсткості. Їх широко використовували на початку 20-го століття для безпосереднього контролю в умовах виробництва шорсткості поверхні (післяопераційний контроль) (таблиця 5.1). Результати контролю шорсткості поверхні зразками порівняння залежать від кваліфікації оператора і є значною мірою суб'єктивними.

Таблиця 5.1 – Вплив виду обробки на величини шорсткості поверхні деталей

Точіння, розточування, стругання чорнове	13-12	50-12,5	Точіння, розточування, стругання чистове	10-8	12,5-2,5
Точіння, розточування, стругання тонке	7-6	1,25-0,32	Свердлування без кондуктора $\varnothing < 15$	12	12,5-6,3
Фрезерування чорнове	11	12,5-6,3	Свердлування по кондуктору	11-10	6,3-3,2
Фрезерування чистове	10-8	2,5-0,63	Зенкерування чистове	11-10	6,3-2,5
Зенкерування чорнове	11-10	6,3-3,2	Розвертування подвійне	7-6	1,25-0,63
Розвертування однократне	9-8	2,5-1,25	Шліфування попереднє	9-8	2,5-1,25
Протягування звичайне	8-7	2,5-1,25	Шліфування чистове	8-6	1,25-0,35

Продовження таблиці 5.1

Протягування точне	7-6	1,25-0,63	Шліфування прецизійне	6-5	0,32-0,16
Нарізування різьби мітчиками	8-6	6,3-3,2	Притирання, доведення, алмазна обробка	6-5	0,16
Нарізування різьби різцями	8-6	6,3-1,25	Хонінгування: попереднє	7-6	1,16-0,04
Нарізування різьби фрезою	8	6,3-1,6	Хонінгування прецизійне	6-5	0,08-0,02
Накатування роликами	8-7	1,25-0,63	Суперфініш		0,16-0,04

В наш час, в епоху квантифікації, уніфікації, допусків й глобалізації виробництва (міжнародної кооперації) суб'єктивні перевірки не є досить коректними і юридично обґрунтованими. Сучасні засоби вимірювання шорсткості дозволяють не тільки визначати об'єктивні параметри шорсткості, але й реєструвати їх, оброблювати статистичними програмами.

Шорсткість за допомогою приладів можна вимірювати контактним і безконтактним способами. До контактних приладів відносять профілограф-профілометри – це (щуповий) прилад послідовного перетворення профілю, який використовується для вимірювання шорсткості поверхні.

Профілометри безпосередньо показують шорсткість контрольованої поверхні за параметром R_a , а профілографи записують профіль контрольованої поверхні у вигляді профілограми, за якою можна визначити параметри R_a , R_z , R_{max} , S_m , S і t_p . Довжина траси, яка при вимірюванні ощупується голкою, включає одну або декілька базових довжин.

Профілометр, призначений для вимірювання параметрів шорсткості поверхні, складається з привода, підсилюючого пристрою та вимірювального датчика. Як метод детекції використовується перепад індуктивності, а як щуп використовується конусний наконечник з алмазу, який має радіус вимірювальної голки $5 \text{ мкм} \pm 1,25 \text{ мкм}$, яка загострюється під кутом $90 \pm 10^\circ$ і має зусилля вимірювання: 1-4 мН (0,4 г.с). Індуктивний датчик має діапазон вимірювання перепадів висоти профілю: 0,2 мм (ход 0,3 мм).

Швидкість привода під час вимірювань: 0,5 мм/с і ≈ 2 мм/с під час повернення. Діапазон вимірювань приладу можна вибрати в межах 10-30 мм.

Вертикальне збільшення приладу визначається настроюванням підсилювача і становить від 103 до 105 разів, горизонтальне збільшення визначається відношенням швидкостей протягування датчика (0,2; 1,0; 10 мм/хв) та паперу реєструючого приладу (20; 40; 80; 1200; 1400; 1600 мм/хв).



Рисунок 5.2 – Компактний прилад вимірювання шорсткості

Компактний прилад вимірювання шорсткості (рисунок 5.2) має підсилювач, датчик індуктивності, дисплей, привод та детектор, вбудований зразок шорсткості, який дозволяє вимірювати з високою достовірністю шорсткість в будь-яких умовах виробництва. Простота вимірювань дозволяє вимірювати невеликі деталі без додаткових встановлювальних пристроїв. Пристрій дозволяє вибрати базову довжину (0,25, 0,8 або 2,5 мм) і точність вимірювання: високу ($R_{\max} = \pm 19,99$ мкм з кроком дискретності 0,01 мкм) та низьку ($R_{\max} = \pm 199,9$, крок дискретності 0, 1 мкм).

Оцінка результатів здійснюється за допомогою програмного забезпечення, яке може оцінювати шорсткість по одному з 24 вибираємих параметрів, які відповідають різним міжнародним стандартам: ISO, ASME, DIN, JIS, ГОСТ, ДСТУ. Параметри, які самостійно вибирає комп'ютер – R_a , R_z .

Контроль шорсткості безконтактним методом оптичними інструментами. До безконтактних вимірювальних приладів відносять прилади світлового перерізу, мікроінтерферометри, мікропрофілометр та ін. Для вимірювання шорсткості поверхонь, до яких важко добратися (головним чином, це внутрішні поверхні), застосовують імперсійно-

репліковий мікроінтерферометр. За допомогою безконтактних приладів світлового перетину вимірюють не саму поверхню, а її відбиток (репліку). Прилади дозволяють вимірювати нерівності в діапазоні від 1 до 10 мкм [3].

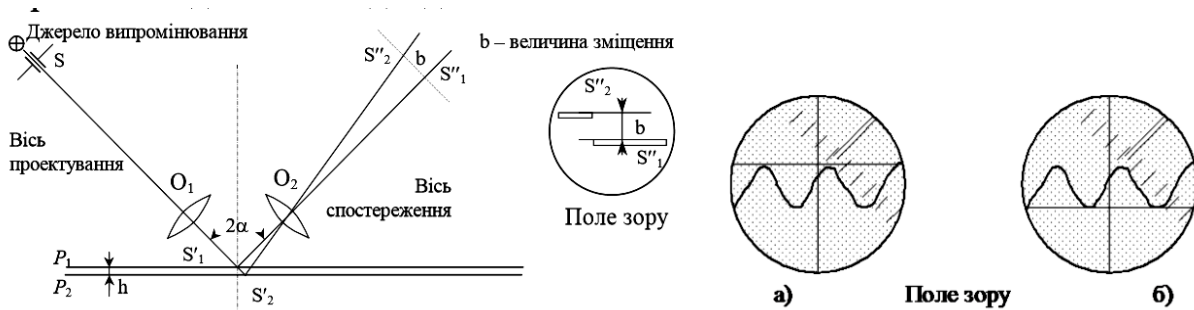


Рисунок 5.3 – Оптична схема вимірювань шорсткості методом світлового перетину

Деталь в полі зору орієнтують таким чином, щоб розташувати напрям нерівностей перпендикулярно зображенню щілини.

Обертанням барабанчика об'єктива сполучають лінію перехрестя з найвищою точкою виступу нерівностей (рисунок 5.3, а) і роблять перший відлік по шкалі, видимій в окуляр; за положенням подвійного штриха відраховують цілі міліметри, а за шкалою на барабані – десяткові і соті частки міліметра. Потім сполучають лінію перехрестя з нижньою точкою западини нерівності (рисунок 5.3, б) і роблять другий відлік. Висоту мікронерівності визначають за формулою, мкм,

$$h = \beta \times a , \quad (5.1)$$

де β – коефіцієнт, обирається за таблицю;

a – відстань, що відповідає висоті вимірюваної нерівності в сотих частках міліметра.

Лазерний скануючий профілограф-профілометр (рисунок 5.4). Метод механічного сканування поверхні вже досяг своєї максимальної якості і не може задовольнити сучасні вимоги щодо швидкого або дистанційного вимірювання параметрів шорсткості. Лазерний скануючий профілограф-профілометр – новий перспективний безконтактний високочутливий

вимірювальний прилад для визначення шорсткості й дефектів поверхонь деталей машин.

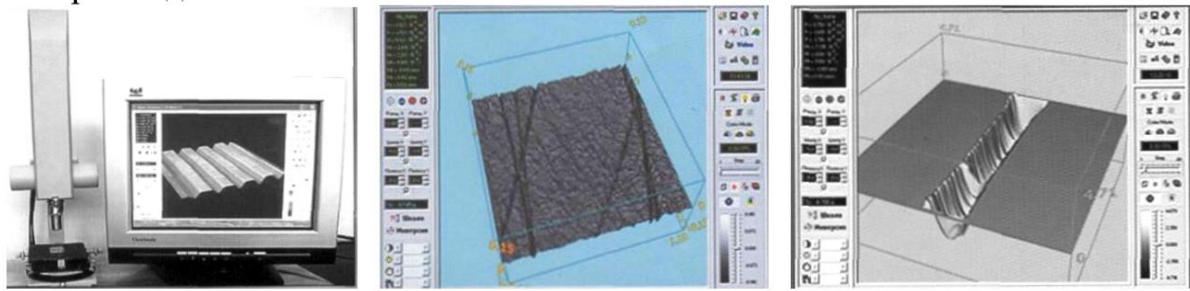


Рисунок 5.4 – Лазерний скануючий профілограф-профілометр

До головних переваг приладу відносять: сканування відбувається лазерними променями, можливо уздовж обраної лінії або в режимі растрового сканування; бічний огляд внутрішніх поверхонь порожнин (діаметром не менш 10 мм); дає можливість одержання сучасного тривимірного зображення досліджуваної поверхні; дозволяє отримувати достовірну інформацію про об'єкти в відбитому, минаючому та розсіяному випромінюванні; одержувати фотовідповідне зображення, а також диференційно-фазове фотовідповідне зображення, що відкриває широку перспективу для досліджень.

Принцип дії приладу побудований на акустооптичному скануванні об'єктів (не механічному) двома пучками лазерного випромінювання, які по черзі розщеплюються по двох ортогональних напрямках, що дозволяє одержати тривимірне диференційно-фазове зображення, яке забезпечує високу чутливість до зміни профілю поверхні по висоті (до 1 нанометра) і хороший віброзахист, у сполученні з використанням швидкодіючих двокоординатних акустооптичних пристроїв керування лазерним випромінюванням, що дає можливість одержувати двовимірну диференційно-фазову інформацію про поверхні об'єкта дослідження шляхом його растрового сканування.

Програмне забезпечення дозволяє робити експорт даних у текстовий файл, вибрати режим сканування (крок, швидкість, розмір поля зору), швидко перемикає режими (каналів) – амплітудний, фазовий, на провіт, відбиття, (амплітудний –

візуалізація, фазовий – можливість виміру профілю [висоти]), вимір лінійних розмірів, параметрів шорсткості та ін. параметрів, робити визначення параметрів заданих областей, отримувати тривимірне зображення сканованого об'єкта з можливістю збільшення, перегляд зображення у різних ракурсах, довідкова система.

5.2 Хід роботи

1 Вивчити систему нормування параметрів шорсткості поверхонь відповідно до стандарту, прилади і методи їх контролю.

2 Визначити шорсткість поверхонь вала методом порівняння з атестованими зразками шорсткості. Встановити, чи відповідає вона поставленим вимогам.

3 Ознайомитись з засобами вимірювання шорсткості. Зробити контрольні вимірювання шорсткості заданої поверхні деталі (чи еталона шорсткості). Встановити, чи відповідає вона вимогам креслення (чи установити відповідність показань приладу еталону шорсткості). Дані занести в таблицю. Вивчити параметри шорсткості для різних видів обробки.

Проставити на кресленні розміри і параметри шорсткості, відхилення форми та розташування (рисунок 5.5).

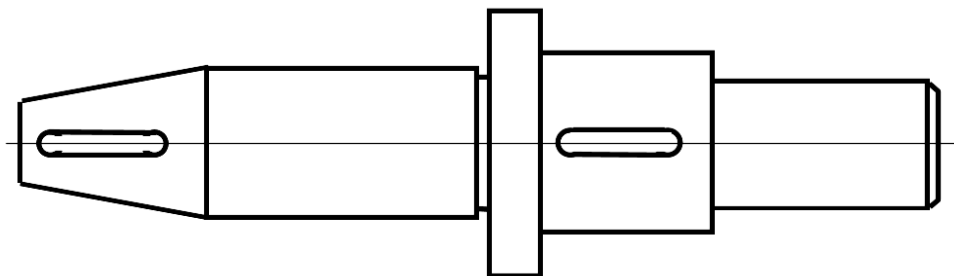


Рисунок 5.5 – Креслення деталі

Контрольні питання

1 Якими методами визначаються параметри шорсткості поверхонь і здійснюється їх контроль?

2 Як впливають параметри шорсткості на експлуатаційні показники (взаємозамінність, надійність, якість) деталей машин?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

Методи перевірки геометричних параметрів елементів деталей машин

Мета роботи – навчитись контролювати параметри: геометричних форм і відносного розташування поверхонь; вивчити методи вимірювань відхилень геометричної форми і розташування поверхонь деталей; набути практичних навичок використання вимірювальних приладів для контролю відхилень форм і розташування.

6.1 Теоретичні відомості

Під перевітками геометричних параметрів розуміють перевірки розмірів, форм і розміщення елементів верстатів, а також їх зміщень по відношенню до базових елементів.

Методи і засоби вимірювань встановлюються в нормативних документах (ТД). Засоби вимірювань, яким необхідно надавати перевагу, забезпечують відлік відхилень у тих же одиницях, у яких вони задані в нормативних документах і технічній документації.

Послідовність вимірювань потрібно обирати так, щоб число переустановлень засобів вимірювань було мінімальним.

6.1.1 Перевірка відхилення форми. Методи перевірки прямолінійності

Прямолінійність лінії у двох взаємно перпендикулярних площинах. Лінія вважається прямою на заданій довжині, якщо зміна відстані від її точок до двох взаємно перпендикулярних площин, паралельних основному напрямку лінії, не перевершує значення, заданого для кожної площини.

Площини відліку вибираються таким чином, щоб лінія їх перетину була паралельною прямій лінії, що проходить через дві точки, відповідно розміщені на контрольованій лінії. Ці дві точки повинні знаходитись близько до кінців вимірюваного відрізка прямої.

Вимірювання вивірjuвальною лінійкою. Лінійку встановлюють на двох опорах, розміщених у точках, які відповідають мінімальному прогину.

Вимірювання виконують переміщенням уздовж лінійки повзунка, одна частина якого спирається на вимірювальну поверхню, а на другій знаходиться індикатор, вимірювальний наконечник якого контактує з лінійкою (рисунок 6.1).

Лінійку виставляють таким чином, щоб отримати однакові показання на кінцях лінії (наприклад, за допомогою регульованих опор), відхилення лінії АВ відносно прямої лінії АВ, що з'єднує дві крайні точки, можна визначити безпосередньо (рисунок 6.1).

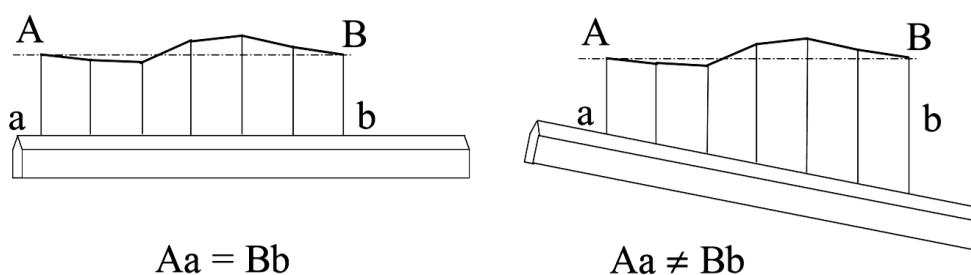


Рисунок 6.1 – Вимірювання вивірjuвальною лінійкою

Лінійку можна встановити без отримання однакових показань на кінцях лінії, побудувати графік відліків і за ним визначити відхилення від прямої АВ (рисунок 6.1).

Вимірювання рівнем. Під час вимірювання спиртовим рівнем базовою площиною вважається горизонтальна площина, яка визначена рівнем. Вимірювання виконують послідовно у рівновіддалених одна від одної точках. Потім зняті показання наносять на графік нахилів і вимірюють відстань між основним напрямком ХУ та лінією АВ (рисунок 6.2).

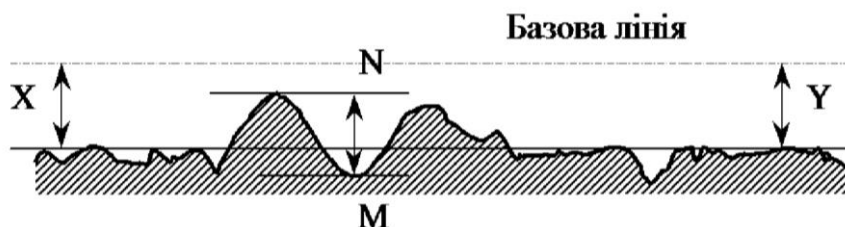


Рисунок 6.2 – Графік нахилів

Відхилення MN , які вимірюють перпендикулярно до цієї лінії, не повинні перевищувати заданий допуск.

6.1.2 Перевірка площинності пучком прямих ліній

Перед перевіркою визначають теоретичну ідеальну площину (рисунок 6.3). Для цього на перевірюваній поверхні вибирають три точки a , b , c (нульові), на які встановлюють три плоско-паралельні кінцеві міри однакової висоти, верхні поверхні яких визначають базову площину, з якою буде порівнюватись перевірювана поверхня. Потім на базовій поверхні вибирають четверту точку d , яку відмічають набором кінцевих мір регульованої висоти.

На ці кінцеві міри накладають вивірювальну лінійку і за допомогою наборів кінцевих мір визначають відхилення перевірюваної поверхні від лінійки.

Вивірювальну лінійку накладають у точках a і c , а в точці e підставляють набір кінцевих мір, який торкається нижньої поверхні лінійки. Таким чином, верхні поверхні кінцевих мір у точках a , b , c і e знаходяться в одній площині. Потім встановлюють лінійку у точках b , e і визначають положення точки d установленням у цій точці набору кінцевих мір таким чином, щоб верхня поверхня набору знаходилась у площині, що визначається верхніми поверхнями вже кінцевих мір. Переміщаючи послідовно лінійку в точки a і d , а потім в точки b і c , визначають місцезнаходження усіх проміжних точок на поверхні, що лежать між точками a і d , b і c .

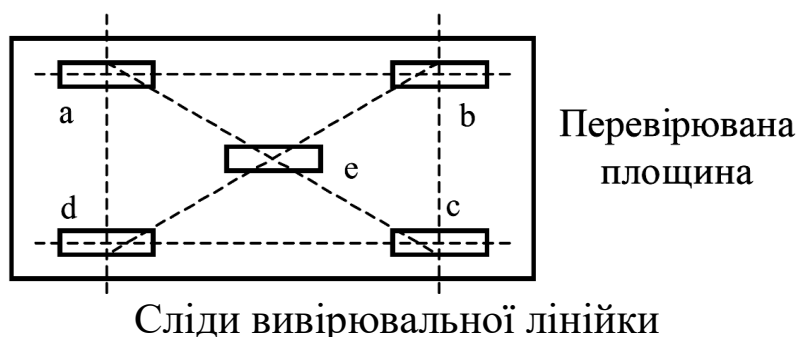


Рисунок 6.3 – Схема вивірення площинності пучком прямих ліній

Перевірка площинності оптичними методами. Внаслідок викривлення початкової форми необхідно перевіряти площинність та паралельності розташування п'яточок мікрометричних ЗВТ. Перевірка проводиться згідно з ГОСТ 01121-75 (рисунок 6.4).

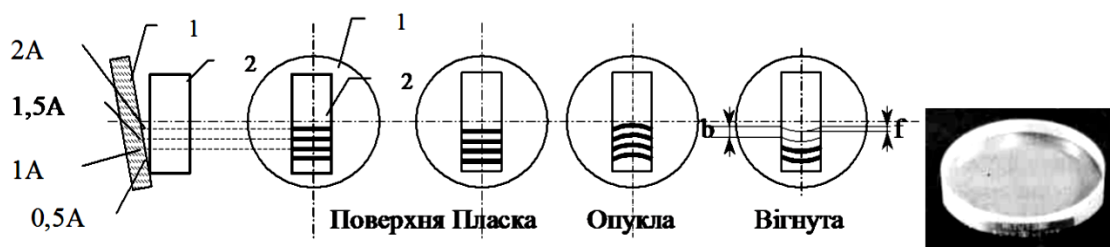


Рисунок 6.4 – Схема визначення площинності оптичним методом (сапфіровими мірами)

Для перевірки площинності використовують оптичні площинні та паралельні міри, які виготовлюють з сапфіру (оптичні площинні міри з сапфіру мають твердість в 10 разів більше, ніж у скла, і виконують двох типів для контролю площинності (похибка 0,1 мкм) та паралельності (похибка 0,2 мкм). Дійсна площинність оптичних мір задається з однієї сторони). Оптична інспекція є найбільш легкодоступним засобом перевірки площинності та паралельності. Досить порахувати лише кількість кольорових інтерференційних смуг.

Через те, що допустимі відхилення можуть бути не однаковими у різних напрямках, перевірку проводять у поздовжньому, поперечному та діагональному напрямках. Відхилення від площинності задається окремо для увігнутості або випуклості.

6.1.3 Методи перевірки круглості машинним методом

Максимальна величина для вимірювання зовнішньої округлості становить 250 мм, для вимірювання внутрішньої округлості – 130 мм. Точність провертання робочого стола становить 0,04 мкм, швидкість обертання – 4 об/хв. Машина дозволяє робити центрування деталей в діапазоні ± 2 мм, нівелювання – $\pm 0,75$ мм; діапазон вимірювань детектора

становить $\pm 2,50$ мкм; діаметр щупа становить 0,1 мм; зусилля вимірювання складає 70-100 мН (таблиця 6.1). Пристрій дозволяє автоматичне регулювання ексцентричності в межах повної шкали, має 7-розрядний цифровий LCD дисплей. Машина має функцію автоматичного регулювання ексцентричності. Діапазон встановлення на нуль ± 10 мкм. Машина має високоточний еталон круглості – кулька.

Таблиця 6.1 – Діапазони вимірювання

Збільшення	$\times 100$	$\times 200$	$\times 500$	$\times 1000$	$\times 2000$	$\times 5000$	$\times 10000$
Діапазон вимірювань, мкм	± 250	± 125	± 50	± 25	$\pm 12,5$	± 5	$\pm 2,5$
Розподільна здатність, мкм	20	10	4	2	1	0,4	0,2

Контроль круглості звичайними методами (рисунок 6.5). В більшості випадків контроль круглості можна провести за допомогою індикатора. При цьому треба встановлювати нашу деталь в призмі, щоб позбутися огранювання. Найбільш часто використовують призми з кутами 60° і 90° .

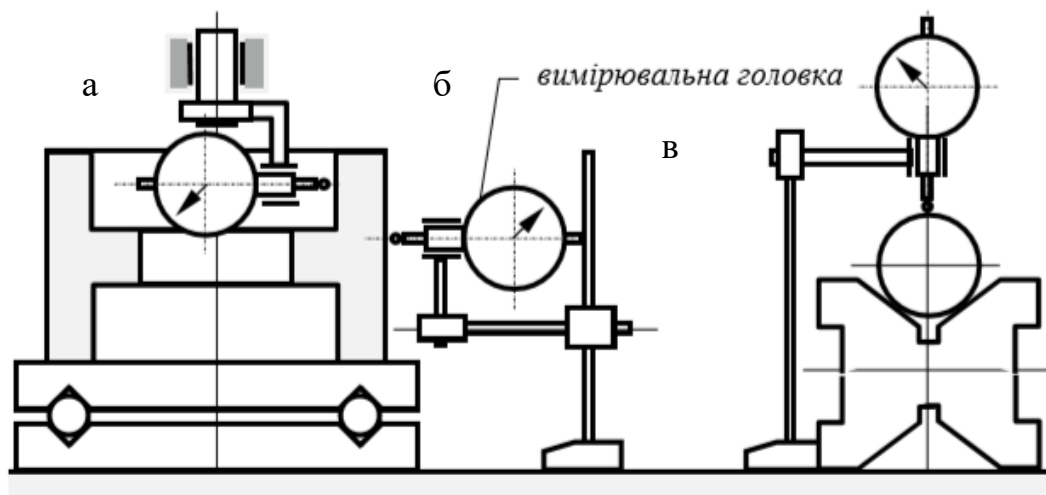


Рисунок 6.5 – Схема контролю круглості за допомогою індикатора

6.1.4 Методи перевірки циліндричності

В більшості випадків контроль циліндричності проводять за допомогою індикатора, вимірюючи круглість (по колу) і прямолінійність (вздовж твірної) одночасно.

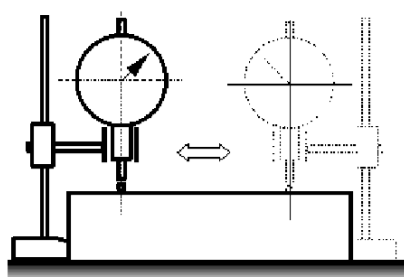
6.1.5 Перевірка відхилення розташування [1-5]. Методи перевірки паралельності

Існують різні види вимірювань паралельності: між двома площинами (рисунок 6.6, а) між двома осями (рисунок 6.6, б); між віссю та площиною (рисунок 6.6, в).

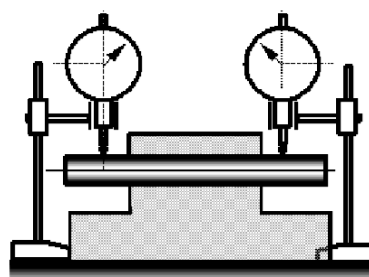
Лінія вважається паралельною площині, якщо під час вимірювання відстані від цієї лінії до площини в різних точках максимальне відхилення, виміряне на визначеній довжині, не перевищує заданого значення.

Дві лінії вважаються паралельними, якщо одна з них паралельна двом площинам, що проходять через іншу лінію. При цьому допустимі відхилення не обов'язково однакові в обох площинах.

Дві площини вважаються паралельними, якщо під час вимірювання відстані між ними в різних точках на поверхнях і, у крайньому разі, у двох напрямках отримане максимальне відхилення на заданій довжині не перевищує заданого значення.



а – паралельності площин



б – паралельності осі та площини

Рисунок 6.6 – Схеми вимірювань

За максимальне відхилення приймається різниця між найбільшим та найменшим значенням, отриманим у результаті вимірювань у заданих площинах у межах заданої довжини.

При вимірюванні паралельності двох площин вимірювальний прилад встановлюють на стояк з плоскою основою і переміщують на задану відстань в одній з площин. Вимірювальний наконечник ковзає по іншій площині (рисунок 6.7, а). Цю перевірку найкраще проводити за двома взаємно перпендикулярними напрямками.

Перевірку паралельності двох осей проводять у двох площинах, у площині, що проходить через дві осі (мається на увазі площина, що проходить через одну з двох осей і, наскільки це можливо, ближче до другої осі), потім у другій площині, яка перпендикулярна, за можливості, до першої.

Під час перевірки площини, що проходить через дві осі (рисунок 6.7, б), вимірювальний прилад встановлюють на стояк з основою відповідної форми, щоб він ковзав по циліндру, який є однією з двох осей, а вимірювальний наконечник ковзає по циліндру, що є другою віссю.

Під час перевірки паралельності осі та площини вимірювальний прилад установлюють на стояк з плоскою опорою і переміщують по площині на задану відстань. Вимірювальний наконечник ковзає по циліндру, що є віссю (рисунок 6.7, в).

Найменшу відстань визначають у кожній точці вимірювання при невеликому переміщенні вимірювального приладу у напрямі, перпендикулярному осі.

У разі поворотної осі перевірка проводиться в середньому положенні і двох крайніх.

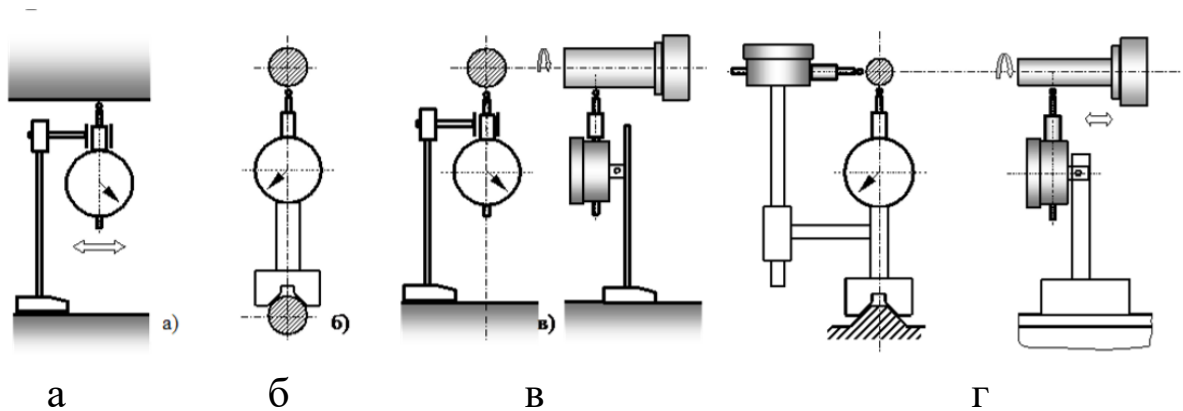


Рисунок 6.7 – Приклади вимірювань

Під час визначення паралельності осі відносно лінії перетину двох площин вимірювальний прилад установлюють на стояк з основою відповідної форми, що опирається на дві площини. Прилад переміщують на задану відстань уздовж прямої лінії перетину, при цьому вимірювальний наконечник ковзає по циліндру, що є віссю (рисунок 6.7, г). Перевірку, якщо можливо, проводять у двох взаємно перпендикулярних площинах, найбільш важливих для роботи верстата.

Перевірка рівновіддаленості. «Рівновіддаленість» визначається відстанню від осей до базової площини. Рівновіддаленість існує, якщо площина, що проходить через осі, паралельна базовій площині. Ці осі можуть бути різними або тими ж, але займати різні положення після повороту.

Вимірювання рівновіддаленості двох осей чи осі обертання відносно площини – це перевірка паралельності.

Спочатку проводять перевірку паралельності обох осей заданої площини, потім перевірку їх рівновіддаленості від цієї площини за допомогою одного й того ж індикатора, вимірювальний наконечник якого торкається двох циліндричних оправок, що є цими осями (рисунки 6.8).

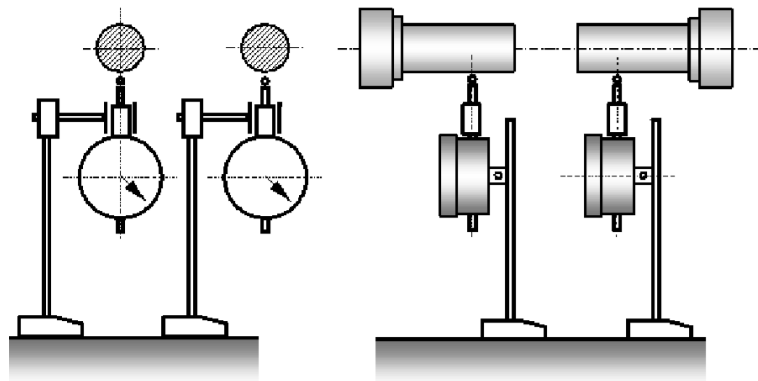


Рисунок 6.8 – Схема перевірки рівновіддаленості

Необхідно враховувати різницю радіусів перевірюваних перерізів, якщо діаметри цих оправок неоднакові.

6.1.6 Методи перевірки перпендикулярності

Дві площини, дві прямі лінії або пряма і площина вважаються перпендикулярними, якщо відхилення від паралельності відносно вивірювального косинця не перевищує заданого значення. Косинець встановлюють на одну з площин і перевіряють паралельність вільної сторони до другої площини відповідно до рисунка 6.9.

Вивірювальним косинцем може бути метрологічний косинець чи рамний рівень, або він може складатись з кінематичних площин чи ліній.

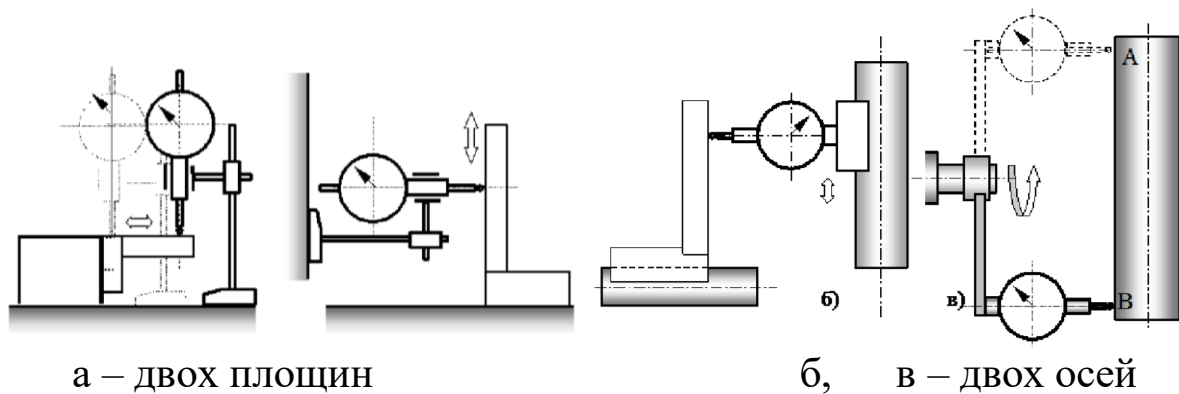


Рисунок 6.9 – Схеми контролю перпендикулярності

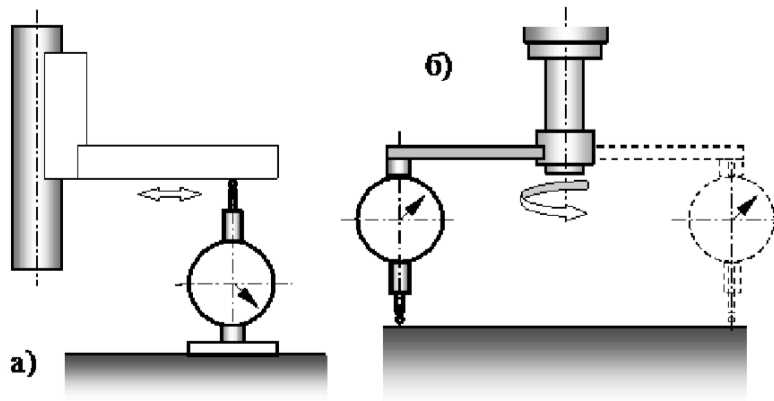
Перпендикулярність двох осей між собою перевіряється вивірвальним косинцем з відповідною основою, яку встановлюють на циліндр, що є однією з осей (рисунок 6.9, б). після чого вимірювання зводиться до перевірки паралельності.

У випадку, коли одна з двох осей є віссю обертання, індикатор, що закріплений на тримач, який пов'язаний з оправою, що є віссю обертання, в точках А і В торкається циліндра, який є другою віссю (рисунок 6.9, в). Визначають різницю показань на відстані АВ. Якщо друга вісь також є віссю обертання, то циліндр, що є нею, встановлюють у середнє положення за біттям у площині вимірювання відповідно до методу перевірки паралельності.

Методи визначення перпендикулярності осі до площини. В першому випадку косинець з відповідною основою притуляють до циліндра, що є віссю (рисунок 6.10, а). Паралельність вільної сторони відносно площини перевіряють у двох перпендикулярних напрямках відповідно до методу перевірки паралельності.

В другому випадку індикатор на тримачі встановлюють на шпинделі так, щоб вимірювальний наконечник був паралельний з віссю обертання. Під час обертання шпинделя індикатор повинен описувати коло, площина якого перпендикулярна осі обертання.

Відхилення від паралельності між площиною кола і перевірюваною площиною визначається заміром перевірюваної площини вимірювальним наконечником. Це відхилення визначають відношенням різниці показань індикатора в діаметрально протилежних точках до діаметра кола, що описується індикатором (рисунок 6.10, б).



а – вісь нерухома б – вісь є віссю обертання

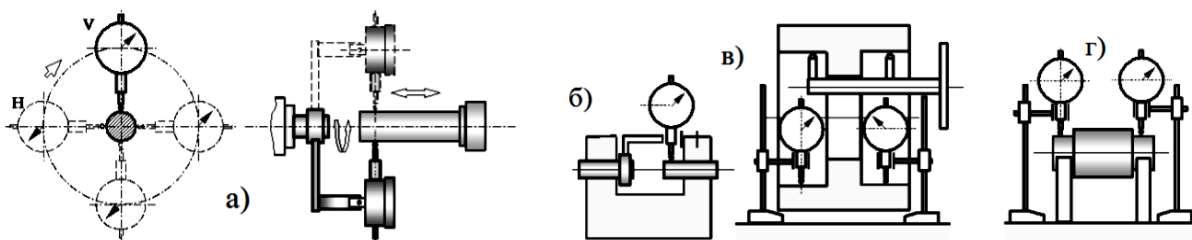
Рисунок 6.10 – Схема визначення перпендикулярності осі до площини

Якщо перевірювана площина не задана, індикатор обертають на 360° . І визначають найбільшу різницю показань приладу. Якщо площини, які треба перевірити, задані, то для кожної з них визначають різницю показань у двох положеннях зі зміщенням індикатора на 180° .

6.1.7 Методи перевірки нахилу (див. наступну лабораторну роботу)

6.1.8 Методи перевірки співвісності

Вимірювальний прилад установлюють на тримач і повертають на 360° навколо осі. Вимірювальний наконечник упирається в заданому перерізі А в циліндр, що є другою віссю (рисунок 6.11, а). Будь-яке відхилення показань відповідає подвійній похибці співвісності. Перевірку слід проводити і в другому перерізі Б.



а – шпинделя; б, в – отворів за допомогою оправок;

г – ступінчатого вала за допомогою призм

Рисунок 6.11 – Схеми контролю співвісності

У випадку з горизонтальними осями необхідно використовувати дуже жорсткі тримачі. Якщо потрібна дуже висока точність, слід використовувати одночасно два вимірювальних прилади, встановлені зі зміщенням на 180° , щоб унеможливити вплив прогинів.

Якщо одна із осей є віссю обертання, тримач, що несе вимірювальний прилад, можна закріпити до оправки, що є віссю, навколо якої відбувається обертання. Якщо вимірювальний прилад повинен обертатись навколо нерухомого циліндра, його закріплюють на втулку, яка обертається з мінімальним зазором. Довжина втулки повинна бути достатньою, щоб максимально зменшити вплив зазора.

Якщо напрям допустимих відхилень від співвісності двох осей (або двох ліній) не має значення, то допуск на співвісність задається у вигляді: «відхилення від співвісності осі 1 відносно осі 2 ... мкм або ... мм на заданій довжині».

6.1.9 Методи перевірки симетричності

Під час контролю симетричності приймається площина (вісь) симетрії елемента, що має більшу довжину в площині, паралельній площині симетрії, при однакових довжинах – площина симетрії елемента з допуском розміру за більш точним квалітетом в напрямку, перпендикулярному площині симетрії, а при однакових довжинах і квалітетах – площина симетрії елемента з більшим розміром в напрямку, перпендикулярному їй. При визначенні не вказаних допусків симетричності за номінальний розмір приймається більший з номінальних розмірів симетричного елемента, що розглядається, або базового (рисунок 6.12, розмір В). За визначальний допуск розміру приймається допуск розміру (розмір В або b) елемента, що розглядається, або базового симетричного елемента за більш грубим квалітетом.

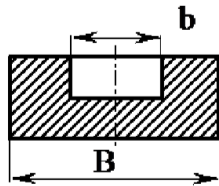


Рисунок 6.12 – Приклад вибору номінального розміру симетричного елемента при контролі симетричності

6.1.10 Методи перевірки точності позиціювання

Перевірку точності позиціювання проводять згідно з ГОСТ 27843-88.

6.1.11 Перевірка параметрів обертання. Методи перевірки радіального биття

До виникнення радіального биття приводить відхилення деталі від круглості в площині, перпендикулярній осі, яка проходить через задану точку. Виміряне радіальне биття, в загальному випадку, є результатом: радіального зміщення осі (ексцентриситет); некруглості деталі і похибки вальниць.

Методи вимірювання радіального биття. У випадку зовнішніх поверхонь вимірювальний наконечник індикатора торкається перевірюваної поверхні, яка обертається. Покази індикатора знімаються за повільного обертання шпинделя на один оберт (рисунок 6.13).

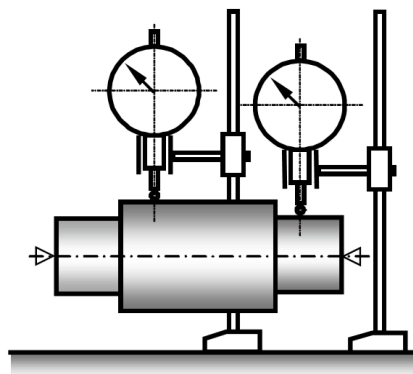


Рисунок 6.13 – Схема вимірювань радіального биття

Для вала величину відхилення від круглості визначають різницею між діаметром описаного кола і найменшим вимірним діаметром вала.

Вимірювання радіального биття для внутрішніх поверхонь здійснюється за допомогою контрольної оправки, яку встановлюють в отвір (якщо отвір малий і індикатор не можна використовувати безпосередньо). Виступаючу циліндричну частину оправки використовують для перевірки відповідно до попереднього пункту. Перевірку необхідно проводити у двох перерізах, наприклад А і В, віддалених один від одного на задану відстань. Одну перевірку необхідно провести біля посадочного кінця отвору, а другу – на визначеній відстані від кінця.

Операції перевірки слід повторити не менше чотирьох разів і кожного разу повертати оправку на 90° відносно шпинделя. Потім визначити середнє значення показань, знятих під час вимірювання. Зазначені методи стосуються тільки шпинделів на вальницях ковзання, кулькових або роликових. У кожному випадку радіальне биття вимірюють спочатку у вертикальній площині, а потім – у горизонтальній.

За величину допуску радіального биття приймають величину допустимого відхилення траєкторії точок в одному перерізі поверхні обертання. Величину допуску зазначають без знака. У разі необхідності проведення перевірки радіального биття тільки в заданій площині або тільки на заданій довжині слід зазначити цю площину або довжину.

Перевірка періодичного осьового биття. Періодичне осьове биття вимірюють на перевірюваному вузлі так, щоб його вісь (центр) збігалася з віссю обертання (рисунок 6.14).

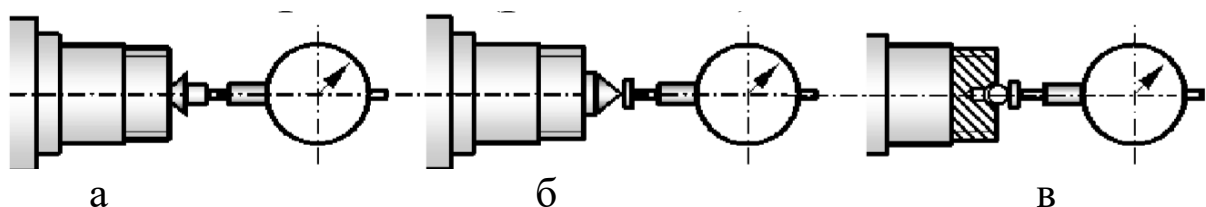


Рисунок 6.14 – Схема вимірювань осьового биття

Перевірюваний вузол повертають не менше ніж на два оберти. Осьове биття дорівнює найбільшій алгебраїчній різниці показів приладу. В порожнистий шпиндель вставляють коротку

оправку з плоским торцем, перпендикулярним осі, в яку спирається заокруглений вимірювальний наконечник (рисунок 6.12, а). Можна використовувати оправку з округленим торцем і вимірювальний наконечник з плоским кінцем (рисунок 6.12, б).

У випадку існування центрального отвору в нього вставляють сталеву кульку, в яку упирають плоский кінець вимірювального наконечника (рисунок 6.14, в).

6.1.12 Методи перевірки торцевого биття

Торцеве биття визначають за відстанню між двома площинами що перпендикулярні осі, між якими переміщуються точки поверхні під час обертання.

Показувальний прилад установлюють поза перевірюваним вузлом так, щоб його вимірювальний наконечник торкався перевірюваної поверхні і був перпендикулярним до неї (рисунок 6.15). Вимірювальний наконечник повинен знаходитись від осі обертання на заданому радіусі. Перевірюваний вузол повертають не менше ніж на два оберти.

Торцеве биття за кожного вимірювання дорівнює найбільшій алгебраїчній різниці показань вимірювального приладу. Результати вимірювання містять величину осьового биття.

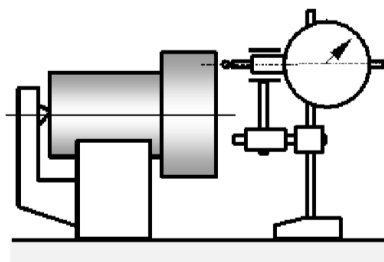


Рисунок 6.15 – Схема вимірювань торцевого биття

Допуск на торцеве биття є максимально допустима відстань між двома площинами, перпендикулярними осі обертання, між якими переміщуються точки торцевої поверхні під час обертання. Допуск включає похибки форми торцевої поверхні, її нахил до осі обертання, радіальне зміщення та періодичне осьове биття шпинделя.

6.2 Зміст роботи

1 Визначити основні методи вимірювань відхилень форми та розташування для елементів деталей машин.

2 Вивчити основні методи контролю відхилень форми та розташування.

3 Зробити ескізи деталей, які контролюються, та позначити в умовному вигляді схеми вимірювання відхилень форми та розташування.

4 Визначити відхилення форми та розташування для заданих деталей.

5 Визначити розміри радіального і торцевого биття заданого валика, а також його циліндричність на середньому діаметрі. Визначити придатність вала за цими параметрами. Результати вимірів занести в таблицю протоколу

Контрольні питання

1 Що таке відхилення форми?

2 Методи і засоби вимірювання відхилень форми.

3 Методи і способи вимірювання сумарного відхилення розміщення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

Контроль кінчних елементів деталей машин

Мета роботи – навчитись вимірювати кути та конуси призматичних елементів деталей машин, засвоїти систему допусків кутових розмірів.

7.1 Теоретичні відомості

Існують наступні методи вимірювань кутів і конусів: вимірювання порівнянням з жорсткими одномірними зразковими кутовими мірами (кутові міри, шаблони, кутники, конусні калібри); визначення величини кута в кутових мірах (гоніометричні); визначення і перерахунок лінійних величин на основі тригонометричних функцій.

Міри кутові призматичні (КМП). Кутові міри призначені для зберігання і передачі одиниці плоского кута, для перевірки та градування кутомірних приладів і кутових шаблонів, а також для безпосереднього контролю кутів деталі. Кутові міри являють собою сталеві призми трьох типів, вимірювальні поверхні яких утворюють між собою один або кілька визначених робочих кутів [22] (рисунок 7.1).

Блок або одна кутова міра іноді використовуються як міра порівняння, а величина лінійної похибки під час вимірювання деталі може визначатися за допомогою індикаторної головки.

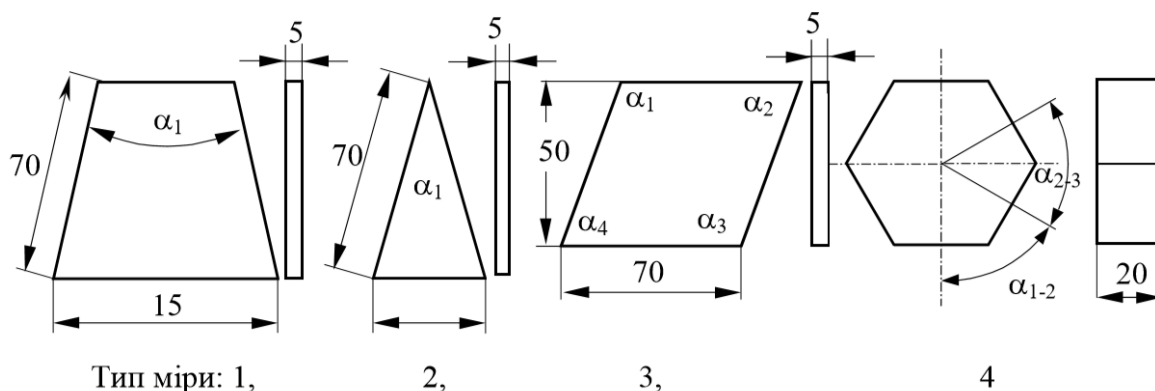


Рисунок 7.1 – Види призматичних кутових мір

Трикутні міри охоплюють розміри від 10° до 79° (крок дискретності 1°), від $15^\circ 10'$ до $15^\circ 50'$ (крок дискретності $10'$), від $15^\circ 01'$ до $15^\circ 09'$ (крок дискретності $1'$) та чотирикутні з розмірами від 80° до 100° .

Кутові міри (КМ) випускаються чотирьох розрядів точності – 00, 0, 1 та 2 і періодично атестують. За допомогою струбцин їх збирають в блоки (рисунок 7.2). З'єднання відбувається за допомогою клинів, ними пронизують отвори в струбцинах та КМП.

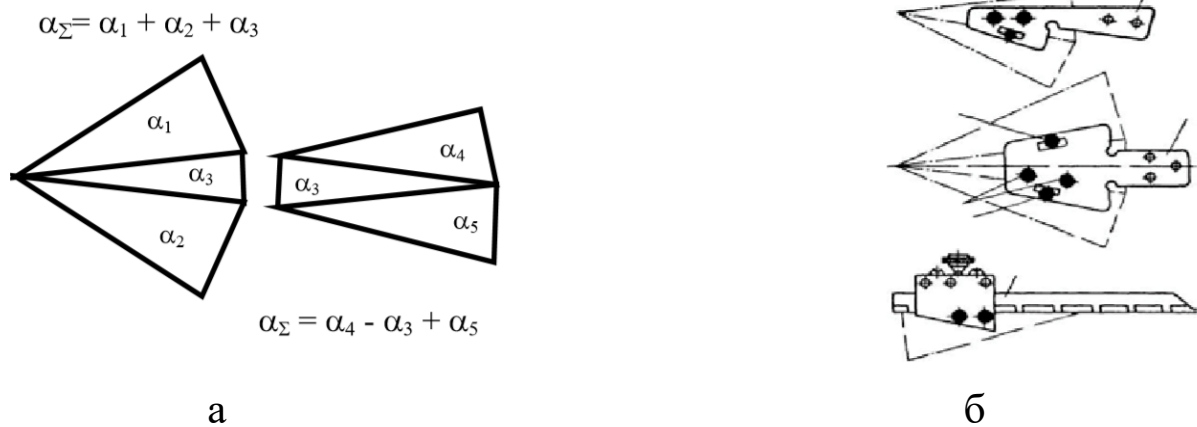


Рисунок 7.2 – Набір кутів за допомогою КМ (а) та закріплення КМ в струбцинах (б)

Вимірювання та контроль кутових розмірів здійснюється різними засобами залежно від потрібної точності – за допомогою кутових мір та шаблонів, кутників.

Вимірювання кутів визначається за рахунок різниці кутів міри та деталі, яке визначають за величиною просвіту між їх поверхнями. Цей метод дає похибку $\approx 2 \div 5$ мкм. Коли світлова щіль має найменше значення, оцінка робиться за «зразком». Просвіт, величину якого необхідно оцінити, порівнюють з набором атестованих просвітів і за їх ідентичністю визначають їх величину.

Під час вимірювання кутів міри використовують таким чином: блок кутових мір з кутом, що дорівнює номінальному, прикладають до однієї сторони кута, який перевіряється, а другу сторону порівнюють візуально на просвіт. У разі потреби кут блока набору додається або зменшується.

Вимірюваний кут можливо вимірювати і гоніометричним методом, порівнюючи його зі шкалою лімбу на оптичних приладах.

Кутоміри з ноніусом. Кутоміри з ноніусом випускають трьох типів: тип – 1 модель 2УМ та 5УМ, тип 4 – модель 4УМ, тип 2 – модель 127. В залежності від конструкції розрізняють кутоміри транспортні (моделі 2УМ, 5УМ, 4УМ) та універсальні (модель 127) (рисунок 7.3), для яких величина відрахунку за ноніусом становить $2'$, ціна поділки основи -1° .

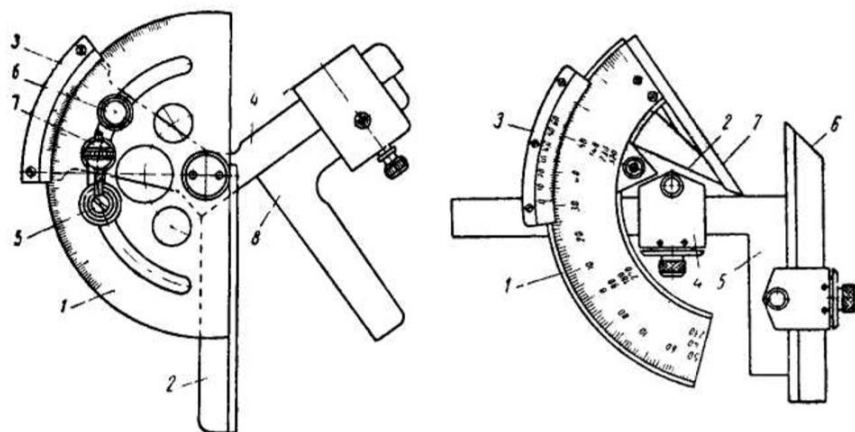


Рисунок 7.3 – Кутоміри з ноніусом

На основі 1 наноситься основна шкала з ціною поділки 1° і сектора 2 з закріпленим на ньому ноніусом. Сектор рухається по дузі відносно основи. За допомогою затискача 4 можна закріплювати кутник 5, на який в свою чергу чіпляється знімна лінійка. Основна шкала кутоміра наноситься на дугу в 130° . На рисунку 7.4 показано, як за допомогою різних комбінацій досягається можливість вимірювати кути в діапазоні до 320° .

Тригонометричні методи вимірювання кутів. Синусна лінійка. Синусна лінійка являє собою плиту з двома закріпленими на ній циліндричними роликками однакового діаметра і розташованими на строго визначеній відстані один від одного – 100 мм [5, 22].

Ця лінійка застосовується для вимірювання кутів з високою точністю і має прямокутну форму з двома опорами на кінцях у вигляді роликків однакового діаметра. Коли лінійка опирається на плиту роликками, кут вимірювання дорівнює 0. Для настроювання на заданий кут під правий ролик підкладають блок кінцевих мір довжини, висота h якого підбирається так, щоб покази індикатора не змінювались під час переміщення вздовж твірної конуса. Кут визначається за формулою

$$\sin \alpha = L / h, \quad (7.1)$$

де L – базова довжина синусної лінійки (відстань між осями роликків) – 100 мм.

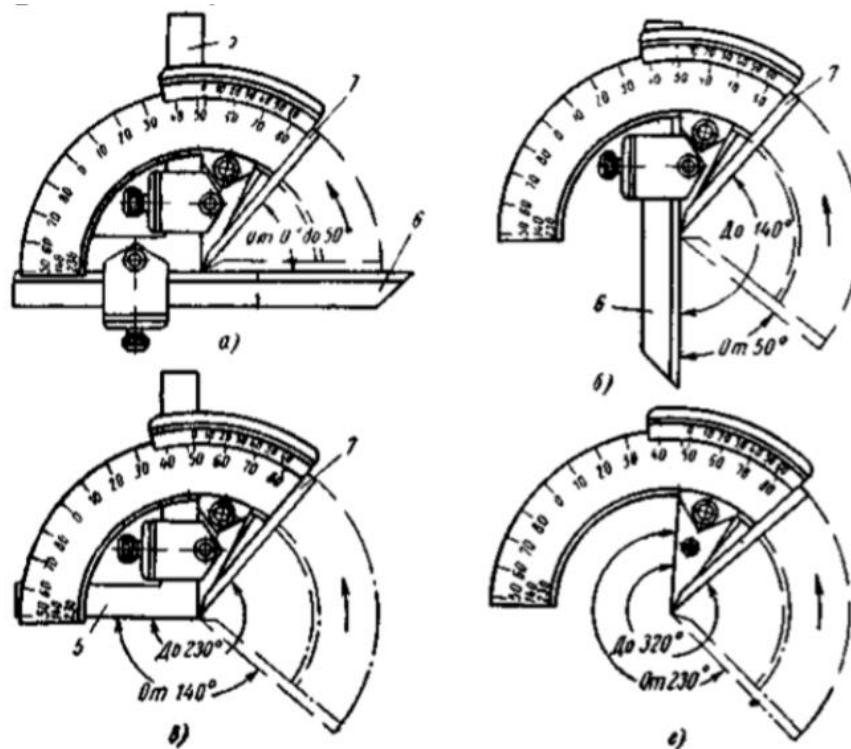


Рисунок 7.4 – Діапазони вимірювань кутомірами з ноніусом

Схему вимірювань кута α конусного калібра-пробки навести в протоколі (рисунок 7.5).

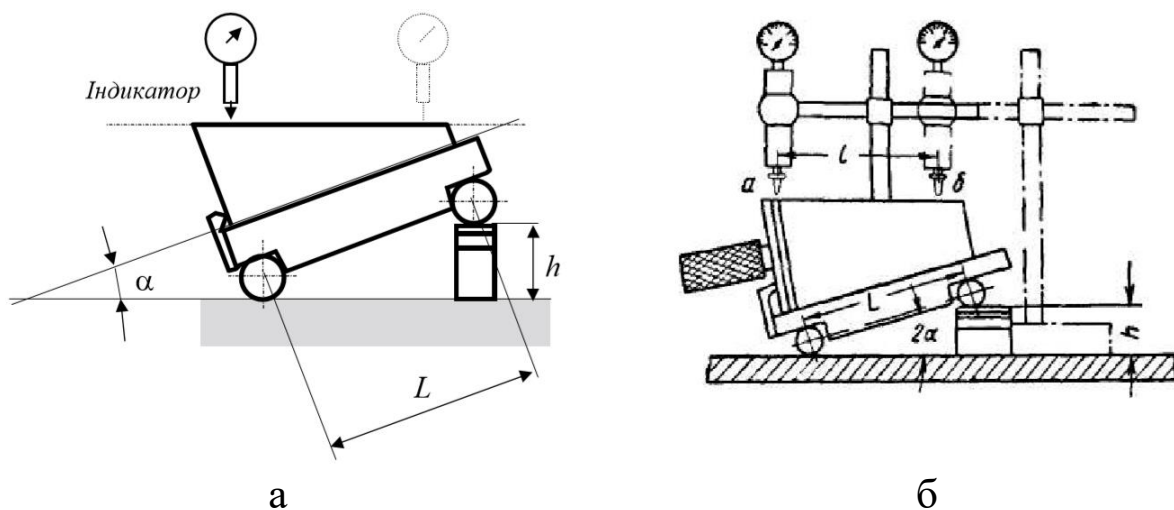


Рисунок 7.5 – Вимірювання кута призматичної деталі (а) та визначення конусності (б)

Вимірювання конусності калібрами-кільцями. Вимірювання зовнішніх кутів з точністю $2'$ та грубіше проводять калібрами-кільцями (рисунок 7.6, а). Їх по черзі одягають на конус та визначають відстань одnobічних сторін кілець, які контактують з

конічною поверхнею. Синус половини кута конуса вираховують за формулою

$$\sin \alpha / 2 = (D - d) / 2l, \quad (7.2)$$

де l - вимірjana відстань між контактуючими поверхнями кілець, що контактують з конусом.

Вимірювання внутрішніх кутів калібрами-кульками. Вимірювання внутрішніх кутів з точністю 2' та більш грубо проводять відкаліброваними кульками діаметрами D і d (рисунок 7.6, б).

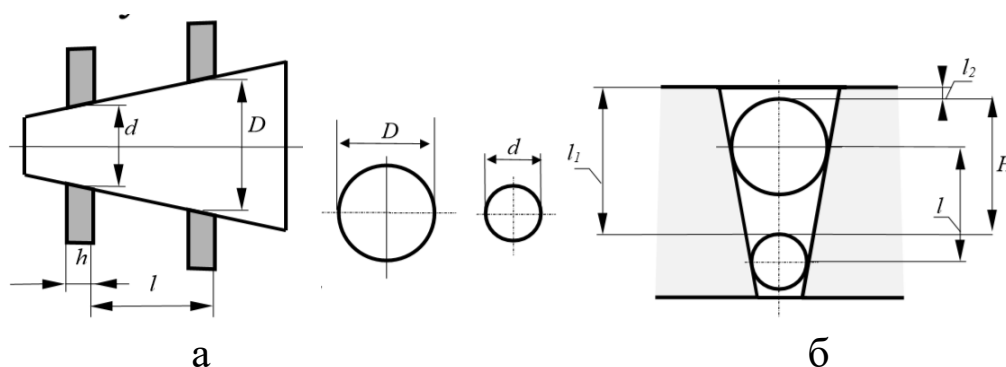


Рисунок 7.6 – Вимірювання зовнішнього кута калібрами-кільцями (а) та вимірювання внутрішнього кута конуса каліброваними кульками (б)

Їх по черзі вставляють в конічну втулку та вимірюють розміри l_1 та l_2 , наприклад, глибиноміром. Синус половини кута конуса знаходять за формулою

$$\sin \alpha / 2 = (D - d) / 2l, \quad (7.3)$$

де l – відстань між центрами кульок.

Контроль кутів калібрами-пробками та калібрами-втулками. Конусні калібри використовують для контролю за базовідстанню m та на фарбу. Зовнішні конуси контролюють калібрами-втулками, внутрішні – калібрами-пробками. Торці конусів, що контролюються, не повинні в спряженні з калібром виходити за межі рисок або уступів. При контролі на фарбу

калібр покривають шаром фарби завтовшки 1-5 мкм і з'єднують з деталлю, повертаючи на $3/4$ оберту. За кількістю плям фарби визначають ступінь прилягання. Норми точності в звичайному випадку задаються у відсотках від площини поверхні (рисунок 7.7).

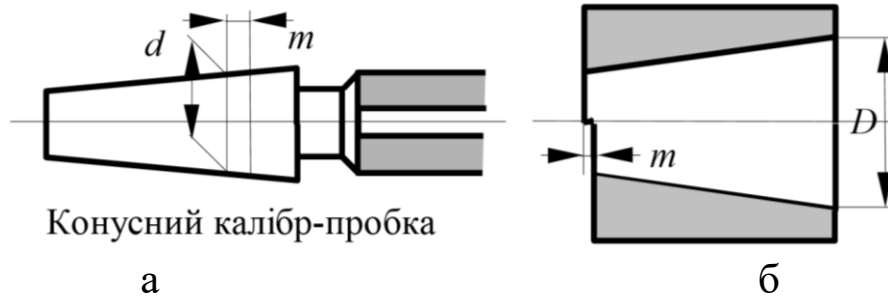


Рисунок 7.7 – Конусний калібр-пробка (а)
та конусний калібр-втулка (б)

7.2 Зміст роботи

- 1 Визначити заданий викладачем кут за допомогою кутових мір.
- 2 Визначити кут призми і конусність конуса за допомогою синусної лінійки.
- 3 Визначити кут внутрішнього конуса за допомогою каліброваних кульок.
- 4 Визначити зовнішню конусність за допомогою калібрів-кілець.
- 5 Визначені значення занести в таблиці і зробити висновки.

Контрольні питання

- 1 Як вимірюють зовнішні кути та конусність?
- 2 З якою точністю можна вимірювати кути та конусність?
- 3 Як вимірюють внутрішні кути та конусність?
- 4 Що прийнято за одиницю виміру кута?

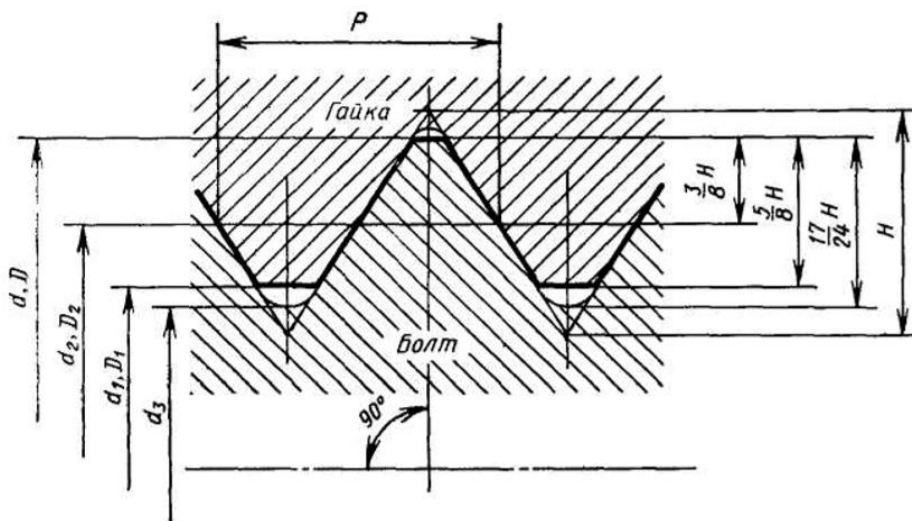
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

Контроль та визначення параметрів різьбових з'єднань

Мета роботи – ознайомитись практично з методами вимірювання та контролю параметрів різьб та різьбових з'єднань.

8.1 Теоретичні відомості

В приладобудуванні найбільш розповсюдженими є метричні циліндричні кріпильні різьби (рисунок 8.1).



d – зовнішній діаметр зовнішньої різьби (болта); D – зовнішній діаметр внутрішньої різьби (гайки); d_2 – середній діаметр болта; D_2 – середній діаметр гайки; d_1 – внутрішній діаметр різьби болта; D_1 – внутрішній діаметр гайки; P – крок різьби; H – висота вихідного трикутника; R – номінальний радіус заокруглення западини болта; H_1 – робоча висота профілю

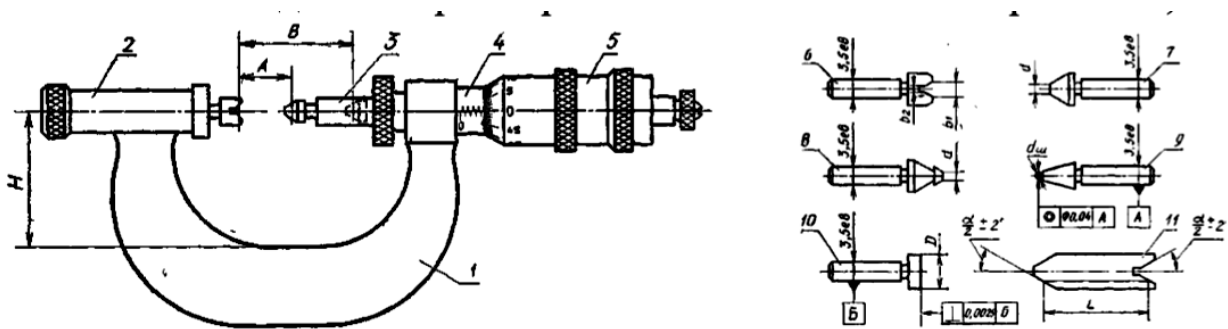
Рисунок 8.1 – Схема профілю метричної різьби з умовними позначеннями її параметрів

Існує два види контролю різьб: диференційний (за елементами) і інтегральний (комплексний).

При диференційному, або контролі за елементами, перевіряють окремі елементи різьби: зовнішній діаметр болта (d) і внутрішній діаметр гайки (D_1), середній діаметр ($d_2=D_2$), крок (P) і половину кута профілю ($\Delta\alpha/2$).

Всі ці види контролю застосовують при перевірці відповідних видів різьби (у ходових гвинтів, мітчиків, нарізних калібрів і контркалибрів) і настроюванні нарізних верстатів. У звичайних кріпильних різьбах поелементній перевірці підлягають тільки зовнішній діаметр болта, внутрішній діаметр гайки, крок різьби і довжина різьбової частини.

Вимірювання параметрів різьби за допомогою мікрометра зі вставками [23]. При відносно неточних вимірюваннях середнього діаметра користуються різьбовим мікрометром – ГОСТ 4380–86 (рисунок 8.2).



- 1 – скоба; 2 – п'ятка; 3 – мікрометричний гвинт; 4 – стебло;
 5 – барабан; 6 – V-подібна призматична вставка; 7, 8 – конічні вставки;
 9 – кулькова вставка; 10 – плоска вставка; 11 – встановлювальна міра

Рисунок 8.2 – Мікрометр зі вставками для вимірювання різьб

Різьбовий мікрометр відрізняється від звичайного мікрометра лише вставками 6–8. Одна вставка (6) призматична. Під час вимірювань d_2 вона торкається обох зовнішніх боків профілю різьби. Друга вставка (7) конічна. При вимірюванні d_2 вона заходить у западину різьби. До різьбового мікрометра додається набір парних вставок (6–8), які призначені для вимірювань різьб з різними кроками. Номер змінних вставок залежить від кроку різьби. Для метричної різьби вони призначені для кроків 0,4 – 0,5; 0,6 – 0,9; 1 – 1,75; 2 – 3; 3,5 – 5; 5,5 – 7 (рисунок 8.3).

Різьбовий мікрометр з межами вимірювання 0-25 мм барабаном встановлюють на нуль зі зведеними разом різьбовими вставками. При великих розмірах мікрометр встановлюють на нуль за допомогою установлювальної міри 11. Гранична похибка

різбових мікрометрів коливається в межах 0,1-0,15 мм (приблизно в два рази більша, ніж похибка гладких мікрометрів з тими ж межами вимірювання).

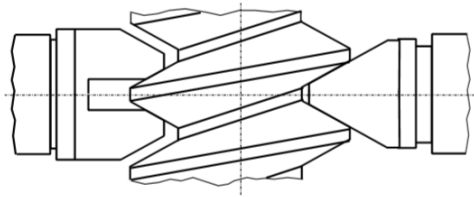


Рисунок 8.3 – Схема вимірювання середнього діаметра різьби мікрометром зі вставками

Вимірювання середнього діаметра різьби звичайним мікрометром. Контроль середнього діаметра різьби і мітчиків відбувається за допомогою трьох каліброваних прутків певного діаметра (відповідно до кроку різьби), які вкладають в западини різьби і визначають мікрометром або оптиметром розмір M (рисунок 8.4)

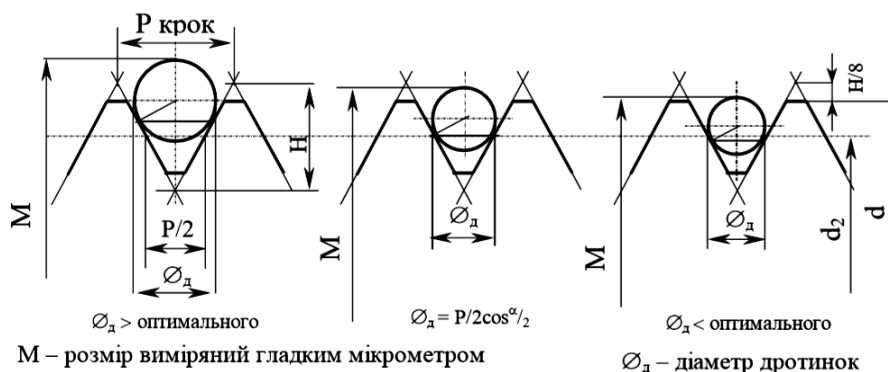


Рисунок 8.4 – Вимірювання середнього діаметра різьби методом трьох вимірювальних прутків M – визначений мікрометром зовнішній розмір (різьби з урахуванням прутків)

Під час вимірювання прутки можуть вільно підвішуватись на кронштейні або закріплюватись в башмаках, які мають центральний отвір, який надівається на вимірювальні кінці приладів (рисунки 8.5, 8.6).

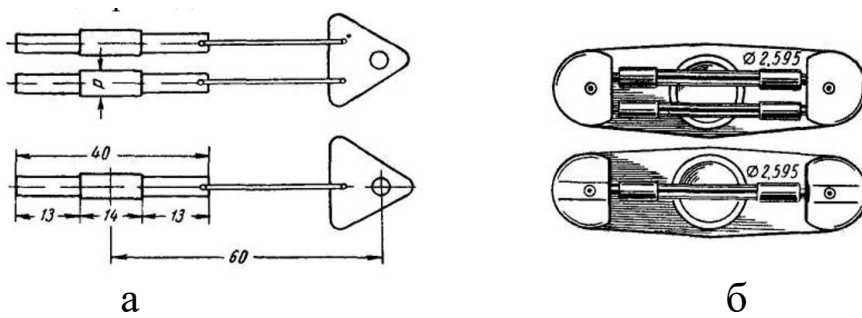


Рисунок 8.5 – Прутки вимірювальні на прив'язках (а), в башмаках (б)

Для метричної різьби середній діаметр обчислюють за формулою

$$d_2 = M - 3d_d + 0,866025 P, \quad (8.1)$$

де d_d – діаметр прутка, мм;

P – крок різі контрольованої, мм.

Вимірювання за допомогою прутків використовують не тільки в метричних, але й в інших видах різьби, наприклад трапецієподібної, трубної, упорної. Діаметр прутків підраховують за формулою $\varnothing_d = P/2\cos\alpha/2$, для метричної різі ця формула виглядає як $\varnothing_d = 0,5773P$.

Крок	0,3	0,5	1,0	1,25	1,5	2,0	3,0
\varnothing_d	0,170	0,2890	0,577	0,724	0,866	1,154	1,732

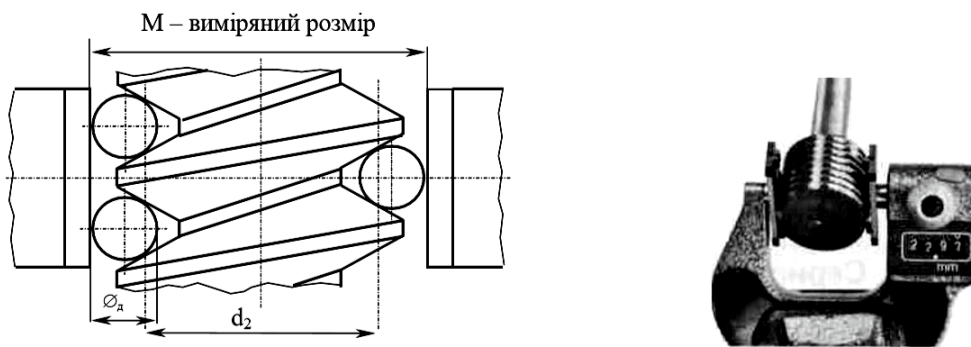


Рисунок 8.6 – Схема і приклад визначення розміру М гладким мікрометром

Вимірювання параметрів різьби інструментальним мікроскопом. Зовнішні і внутрішні діаметри різьби вимірюють на

інструментальному мікроскопі, визначаючи лінійні переміщення стола, на якому закріплюється деталь, на основі лімба мікрометричної головки механізму подачі.

Попередньо риски окулярної сітки мікроскопа орієнтують відповідно контурам об'єкту вимірювань. Переміщаючи деталь у напрямку вимірювання, суміщують обрану як орієнтир риску окулярної сітки з першою границею розміру (при вимірюванні кроку різьби, це може бути сторона одного з виступів різьби, див. рисунок 8.7, (2), а).

Фіксують показання шкал мікроподачі в першому положенні. Об'єкт вимірювання переміщають до тих пір, доки обрана риска окулярної сітки збігається з протилежною границею вимірювання (при вимірі кроку різьби це буде однойменна сторона сусіднього виступу), після чого фіксують покази шкал лімба мікроподачі в другому положенні. Шуканий розмір визначається як різниця показань шкал у першому і в другому положеннях: $X = X_{\text{кінц}} - X_{\text{поч.}}$

Відлік шкали мікроподач мікроскопа аналогічний відліку шкал мікрометра.

Половину кута профілю точної різьби (до п'ятого ступеня точності) можна вимірювати за допомогою мікроскопа (універсального або інструментального). Для гвинтів 6 і 7-го ступеня точності користуються граничними профільними шаблонами або кутомірами. У кріпильних різьбах перевіряють не половину кута профілю, а кут профілю за допомогою шаблонів.

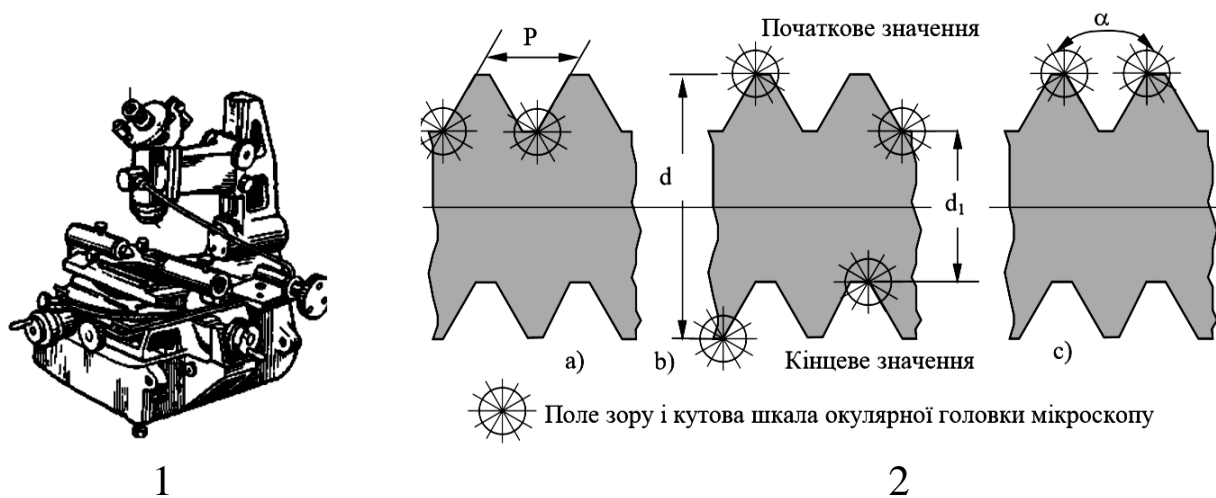


Рисунок 8.7 – Великий інструментальний мікроскоп (1) та схема вимірювань різьби на оптичному мікроскопі (2)

Результати вимірювань занести в таблицю протоколу. Порівнявши їх з припустимими граничними розмірами, визначити придатність деталей.

У невідповідальних різьбових з'єднаннях та ремонтному виробництві крок кріпильної різьби перевіряють за допомогою профільних шаблонів (рисунок 8.8). Крок різьби визначають, порівнюючи на дотик номінальні кроки різі та шаблону. Профільні шаблони випускаються двох варіантів з кутом профілю 55° і 60° [8, 22].

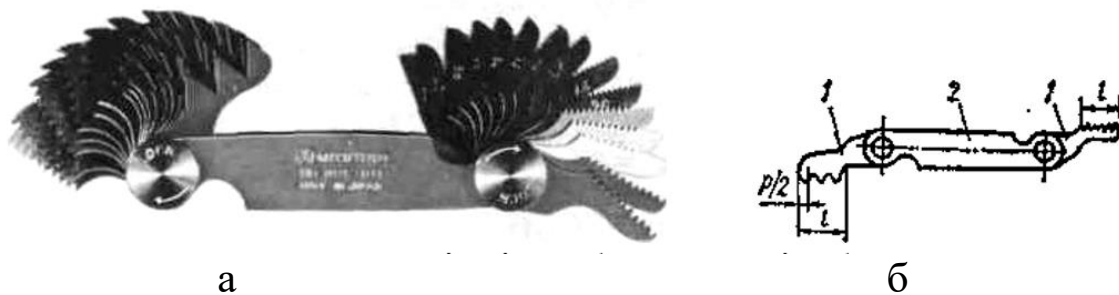


Рисунок 8.8 – Різьбові шаблони (а) і обойма (б)

Комплексний контроль різьб. Додержання розмірів різьби болта і гайки забезпечується комплексним методом перевірки, що базується на застосуванні різьбових граничних калібрів: різьбових кілець або скоб – для комплексної перевірки зовнішньої різьби, різьби пробок – для комплексної перевірки внутрішньої різьби.

Прохідні різьбові калібри (ПР) мають повний профіль і довжину, що дорівнює довжині згвинчування. Вони є ніби прототипами спряженої деталі. Непрохідні різьбові калібри (НЕ) мають укорочений профіль і служать для перевірки середнього діаметра різьби найменшого – для болта, найбільшого – для гайки. Тільки за цієї умови в сумарний допуск входять діаметральні компенсації відхилень кроку і половини кута профілю.

В умовах індивідуального виробництва комплексний контроль різьби зазвичай здійснюється за допомогою нової спряженої деталі (болта або гайки).

8.2 Зміст роботи

- 1 Ознайомитись з методами контролю різьби.
- 2 Ознайомитись з інструментами і методами вимірювання різьб.
 - 2.1 Здійснити контроль елементів зовнішньої різьби заданої деталі. Зовнішній діаметр $\varnothing d$ гладким мікрометром, середній діаметр $\varnothing d_2$ – різьбовим мікрометром.
 - 2.2 Визначити розмір різьби за допомогою калібрів дротиків.
 - 2.3 Визначити параметри різьби за допомогою оптичного мікроскопа.

Контрольні питання

- 1 Основні параметри метричної різьби і методи їх визначення.
- 2 Якими засобами вимірюють параметри різьб?
- 3 Які похибки різьб ви знаєте?
- 4 Який параметр різьби є визначальним для утворення різьбових з'єднань?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Гаврилюк В. І. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання: навч. посіб. Київ: Вища школа, 1990.

2 Кирилюк Ю. Е., Якимчук Г. К. Допуски и посадки : справочник. Изд. 3-е, перераб. и доп. Киев : Основа, 2005. 296 с

3 Якимчук Г. К., Кирилюк Ю. Є., Саранча Г. А. Взаємозамінність, стандартизація, метрологія та технічні вимірювання: підручник /за ред. Г. К. Якимчука. Київ : «Основа», 2006. 560 с.

4 Кирилюк Ю. Е. Допуски и посадки. Довідник. Київ : Вища школа, 1989. 136 с.

5 ДСТУ 2500–94. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми. Київ : Держстандарт України, 1994. 57 с.

6 ДСТУ 2234–93. Калібри. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1993. 14 с.

7 ДСТУ 3012–95. Підшипники кочення та ковзання. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1995. 78 с.

8 ДСТУ 2497–94. Різьба та різьбові з'єднання. ТВ. Київ : Держстандарт України, 1994. 48 с.

9 ДСТУ ГОСТ 520:2014. Подшипники качения. Общие технические условия (ГОСТ 520-2011, ИДТ; ISO 492:2002, NEQ; ISO 199:2005, NEQ). Киев : ГП «УкрНИУЦ», 2014. 74 с.

10 ДСТУ 2870-94. Метрологія. Вимірювання часу та частоти. Київ : Держстандарт України, 1994. 48 с.

11 ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення (ТВ). Київ, 1994. 72 с.

12 ДСТУ 3231-95. Еталони одиниць фізичних величин. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування. Київ : Держстандарт України, 1995. 26 с.

13 ДСТУ 3:2008. Метрологія. Відповідність засобів вимірювальної техніки законодавчим вимогам. Київ : Держстандарт України, 2008. 21 с.

14 ДСТУ 5:2007. Метрологія. Повірочні схеми для засобів вимірювальної техніки. Правила розроблення. Київ : Держстандарт України, 2007. 12 с.

15 ДСТУ 8.061:2014. Метрологія. Повірочні схеми. Зміст і побудова. Київ : Держстандарт України, 2014. 30 с.

16 ДСТУ 8:2008. Метрологія. Еталони. Вибір, визначення, застосування, зберігання та документація. Київ : Держстандарт України, 2008. 12 с.

17 ДСТУ 2413-94. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994. 41 с.

18 ДСТУ 2409-94. Вимірювання параметрів шорсткості. ТВ. Київ : Держстандарт України, 1994. 25 с.

19 ДСТУ 2232-93. Базування та бази в машинобудуванні. ТВ. Київ : Держстандарт України, 1993. 36 с.

20 ДСТУ 2498-94. ОНВ. Допуски форми та розташування поверхонь. ТВ. Київ : Держстандарт України, 1994. 112 с.

21 ISO 5458-2001. Технічні вимоги до геометричних виробів і встановлення геометричних допусків. Позиційні допуски. Київ : Держстандарт України, 2001. 15 с.

22 ДСТУ 2499-94. Основні норми взаємозамінності. Конуси та конічні з'єднання. Київ : Держстандарт України, 1994. 40 с.

23 ДСТУ 2497-94. Різьба та різьбові з'єднання. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994. 48 с.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Значення допусків, мкм

Ква- літет	Інтервал розмірів, мм												
	≤3	>3 ≤6	>6 ≤10	>10 ≤18	>18 ≤30	>30 ≤50	>50 ≤80	>80 ≤120	>120 ≤180	>180 ≤250	>250 ≤315	>315 ≤400	>400 ≤500
01	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1,0	1,2	2,0	2,5	3	4
0	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	1,2	1,5	2	3	4	5	6
1	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
15	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000
17	1000	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600	5200	5700	6300
18	14000	1800	2200	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200	8100	8900	9700

Допуск T будь-якого квалітету визначають за формулою

$$T = a \times i, \quad (\text{A.1})$$

де a – число одиниць допуску, яке залежить від квалітету і не залежить від номінального розміру.

Таблиця А.2

Ква- літет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>a</i>	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

i – одиниця допуску залежить тільки від розміру. Для розмірів ≤ 500 мм: $i = 0.45\sqrt[3]{D} + 0.001D$ мм; для розмірів > 500 мм: $i = 0.004D + 2.1$.

Таблиця А.3

Інтервал розмірів	≤ 3	>3 ≤ 6	>6 ≤ 10	>10 ≤ 18	>18 ≤ 30	>30 ≤ 50	>50 ≤ 80	>80 ≤ 120	>120 ≤ 180	>180 ≤ 250	>250 ≤ 315	>315 ≤ 400	>400 ≤ 500
<i>i_{mid}</i>	0,56	0,75	0,91	1,10	1,32	1,58	1,87	2,19	2,54	2,91	3,23	3,55	3,90

Таблиця А.4 – Основні відхилення валів, МКМ

інтервали розмірів	верхнє відхилення, $es (-)$										нижнє відхилення, $ei (+)$														
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>s</i>	<i>t</i>	<i>u</i>	<i>v</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>za</i>	<i>zb</i>	<i>zc</i>		
	всі квалітети										всі квалітети														
до 3	270	140	60	20	14	6	2	4	+2	0	2	4	6	10	14	18	20	20		26	32	40	60		
понад 3 до 6	270	140	70	30	20	10	4	4	-2	1	4	8	12	15	19	23	28	28		35	42	50	80		
понад 6 до 10	280	150	80	40	25	13	5	5	-2	1	6	10	15	19	23	28	34	34		42	52	67	97		
понад 10 до 14	290	150	95	50	32	16	6	6	-3	1	7	12	18	23	28	33	40	40		50	64	90	130		
понад 14 до 18	290	150	95	50	32	16	6	6	-3	1	7	12	18	23	28	33	39	45		60	77	108	150		
понад 18 до 24	300	160	110	65	40	20	7	8	-4	2	8	15	22	28	35	41	47	54	63		73	98	136	188	
понад 24 до 30	300	160	110	65	40	20	7	8	-4	2	8	15	22	28	35	41	48	55	64	75		88	118	160	218
понад 30 до 40	310	170	120	80	50	25	9	9	-5	2	9	17	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274	
понад 40 до 50	320	180	130	80	50	25	9	9	-5	2	9	17	26	34	43	54	70	81	97	114	136	180	242	325	
понад 50 до 65	340	190	140	100	60	30	10	10	-7	2	11	20	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405	
понад 65 до 80	360	200	150	100	60	30	10	10	-7	3	11	20	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480	
понад 80 до 100	380	220	170	120	72	36	12	12	-9	3	13	23	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585	
понад 100 до 120	410	240	180	120	72	36	12	12	-9	3	13	23	37	54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690	
понад 120 до 140	460	260	200	145	85	43	14	14	-11	3	15	27	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800	
понад 140 до 160	520	280	210	145	85	43	14	14	-11	3	15	27	43	65	100	134	199	228	280	340	415	535	700	900	
понад 160 до 180	580	310	230	145	85	43	14	14	-11	3	15	27	43	68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000	
понад 180 до 200	660	340	240	170	100	50	15	15	-13	4	17	31	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150	
понад 200 до 225	740	380	260	170	100	50	15	15	-13	4	17	31	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250	
понад 225 до 250	820	420	280	170	100	50	15	15	-13	4	17	31	50	84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350	
понад 250 до 280	920	480	300	190	110	56	17	17	-16	4	20	34	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550	
понад 280 до 315	1050	540	330	190	110	56	17	17	-16	4	20	34	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700	
понад 315 до 355	1200	600	360	210	125	62	18	18	-18	4	21	37	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900	
понад 355 до 400	1350	680	400	210	125	62	18	18	-18	4	21	37	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100	
понад 400 до 450	1500	760	440	230	135	68	20	20	-20	5	23	40	68	126	232	330	490	595	740	920	1150	1450	1850	2400	
понад 450 до 500	1650	840	480	230	135	68	20	20	-20	5	23	40	68	132	252	360	540	660	820	1000	1300	1600	2100	2600	

Продовження таблиці А.4

інтервали розмірів	нижнє відхилення, $EL(+)$										верхнє відхилення, $ES(-)$																			
	A	B	C	D	E	F	G	J(+)	K	M	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	Δ, мм						
	всі квалітети								8	7	6	до8	до8	до8	до8	всі квалітети														
до 3	270	140	60	20	14	6	2	6	4	2	0	-2+Δ	-2	-4	6	10	14	18	20	26	32	40	60	0	0	0				
понад 3 до 6	270	140	70	30	20	10	4	10	6	5	-1+Δ	-4+Δ	-4	-8+Δ	12	15	19	23	28	35	42	50	80	3	4	6				
понад 6 до 10	280	150	80	40	25	13	5	12	8	5	-1+Δ	-6+Δ	-6	-10+Δ	15	19	23	28	34	42	52	67	97	3	6	7				
понад 10 до 14	290	150	95	50	32	16	6	15	10	6	-1+Δ	-7+Δ	-7	-12+Δ	18	23	28	33	40	50	64	90	130	3	7	9				
понад 14 до 18	290	150	95	50	32	16	6	15	10	6	-1+Δ	-7+Δ	-7	-12+Δ	18	23	28	33	39	45	60	77	108	150	3	7	9			
понад 18 до 24	300	160	110	65	40	20	7	20	12	8	-2+Δ	-8+Δ	-8	-15+Δ	22	28	35	41	47	54	63	73	98	136	188	4	8	12		
понад 24 до 30	300	160	110	65	40	20	7	20	12	8	-2+Δ	-8+Δ	-8	-15+Δ	22	28	35	41	48	55	64	75	88	118	160	218	4	8	12	
понад 30 до 40	310	170	120	80	50	25	9	24	14	10	-2+Δ	-9+Δ	-9	-17+Δ	26	34	43	48	60	68	80	94	112	148	200	274	5	9	14	
понад 40 до 50	320	180	130	80	50	25	9	24	14	10	-2+Δ	-9+Δ	-9	-17+Δ	26	34	43	54	70	81	97	114	136	180	242	325	5	9	14	
понад 50 до 65	340	190	140	100	60	30	10	28	18	13	-2+Δ	-11+Δ	-11	-20+Δ	32	41	53	66	87	102	122	144	172	226	300	405	6	11	16	
понад 65 до 80	360	200	150	100	60	30	10	28	18	13	-3+Δ	-11+Δ	-11	-20+Δ	32	43	59	75	102	120	146	174	210	274	360	480	6	11	16	
понад 80 до 100	380	220	170	120	72	36	12	34	22	16	-3+Δ	-13+Δ	-13	-23+Δ	37	51	71	91	124	146	178	214	258	335	445	585	7	13	19	
понад 100 до 120	410	240	180	120	72	36	12	34	22	16	-3+Δ	-13+Δ	-13	-23+Δ	37	54	79	104	144	172	210	254	310	400	525	690	7	13	19	
понад 120 до 140	460	260	200	145	85	43	14	41	26	18	-3+Δ	-15+Δ	-15	-27+Δ	43	63	92	122	170	202	248	300	365	470	620	800	7	15	23	
понад 140 до 160	520	280	210	145	85	43	14	41	26	18	-3+Δ	-15+Δ	-15	-27+Δ	43	65	100	134	199	228	280	340	415	535	700	900	7	15	23	
понад 160 до 180	580	310	230	145	85	43	14	41	26	18	-3+Δ	-15+Δ	-15	-27+Δ	43	68	108	146	210	252	310	380	465	600	780	1000	7	15	23	
понад 180 до 200	660	340	240	170	100	50	15	47	30	22	-4+Δ	-17+Δ	-17	-31+Δ	50	77	122	166	236	284	350	425	520	670	880	1150	9	17	26	
понад 200 до 225	740	380	260	170	100	50	15	47	30	22	-4+Δ	-17+Δ	-17	-31+Δ	50	80	130	180	258	310	385	470	575	740	960	1250	9	17	26	
понад 225 до 250	820	420	280	170	100	50	15	47	30	22	-4+Δ	-17+Δ	-17	-31+Δ	50	84	140	196	284	340	425	520	640	820	1050	1350	9	17	26	
понад 250 до 280	920	480	300	190	110	56	17	55	36	25	-4+Δ	-20+Δ	-20	-34+Δ	56	94	158	218	315	385	475	580	710	920	1200	1550	9	20	29	
понад 280 до 315	1050	540	330	190	110	56	17	55	36	25	-4+Δ	-20+Δ	-20	-34+Δ	56	98	170	240	350	425	525	650	790	1000	1300	1700	9	20	29	
понад 315 до 355	1200	600	360	210	125	62	18	60	39	29	-4+Δ	-21+Δ	-21	-37+Δ	62	108	190	268	390	475	590	730	900	1150	1500	1900	11	21	32	
понад 355 до 400	1350	680	400	210	125	62	18	60	39	29	-4+Δ	-21+Δ	-21	-37+Δ	62	114	208	294	435	530	660	820	1000	1300	1650	2100	11	21	32	
понад 400 до 450	1500	760	440	230	135	68	20	66	43	33	-5+Δ	-23+Δ	-23	-40+Δ	68	126	232	330	490	595	740	920	1150	1450	1850	2400	13	23	34	
понад 450 до 500	1650	840	480	230	135	68	20	66	43	33	-5+Δ	-23+Δ	-23	-40+Δ	68	132	252	360	540	660	820	1000	1300	1600	2100	2600	13	23	34	

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
з дисципліни

*«ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ
ТА ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ»*

Відповідальний за випуск Волошина Л. В.

Редактор Решетилова В. В.

Підписано до друку 19.06.20 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 5,25. Тираж 5. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.