

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Метрологія

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів приладобудівного факультету
спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка

*Рекомендовано Вченою радою
Приладобудівного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2017

Метрологія [Текст]: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів приладобудівного факультету спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка / Уклад.: М.В. Філіппова, О.В. Волошко, С.С. Заєць – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 49 с.

*Рекомендовано Вченою радою ПБФ КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 6/17 від 26 червня 2017 р.)*

Методичні вказівки призначено для студентів приладобудівного факультету спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології У методичних вказівках наведено мету і завдання лабораторних робіт, їх зміст та обсяг. Розглянуто організаційні питання роботи над лабораторними дослідженнями, послідовність та методику виконання, наведено вимоги щодо оформлення та процесу захисту готових робіт.

Навчально–методичне видання

МЕТРОЛОГІЯ
Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів приладобудівного факультету
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Укладачі: *Філіппова Марина В'ячеславівна*, канд. техн. наук,
доц.

Волошко Оксана Вячеславівна, асистент.

Заєць Сергій Сергійович, асистент.

Відповідальний редактор *Тимчик Г.С.* д.т.н. професор

Рецензенти: *Нечай С.О.* канд. техн. наук, доц.

За редакцією укладачів

ЗМІСТ

Лабораторна робота 1	
Контроль деталей за допомогою штангенінструментів.....	4
Лабораторна робота 2	
Контроль деталей за допомогою мікрометричних інструментів	12
Лабораторна робота 3	
Вимірювання кутових розмірів за допомогою кутомірів з ноніусом.....	23
Лабораторна робота 4	
Контроль параметрів різьби на інструментальному мікроскопі.....	31
Лабораторна робота 5	
Визначення параметрів шорсткості.....	43
Лабораторна робота № 6	
Література.....	49

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Контроль деталей за допомогою штангенінструментів

Мета роботи: оволодіти практичними навичками роботи з штангенінструментом.

Завдання: вивчити пристрій, принцип вимірювання та метрологічні характеристики штангенінструментів.

Перелік інструментів та приладдя: штангенциркуль, об'єкт вимірювання та його креслення (надається викладачем).

Опис засобів вимірювання

Штангенінструмент

Для вимірювання лінійних розмірів абсолютним методом та для відтворення розмірів при розмітці деталей використовують штангенінструменти, які об'єднують під цією назвою велику групу вимірювальних засобів: штангенциркулі, штангенглибиноміри, штангенрейсмуси тощо.

Найбільш розповсюдженим є штангенциркуль [1-3], моделі якого визначаються за ДСТУ ГОСТ 166:2009 (ИСО 3599-76) .

Штангенциркуль ШЦ-1 з двостороннім розташуванням губок (рис. 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.

Штангенциркуль ШЦ-II з двостороннім розташуванням губок (рис. 1.2) використовується для зовнішніх та внутрішніх вимірювань і проведення розміточних 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 мікро гвинтом 7, переміщувати вимірювальну рамку по штанзі.

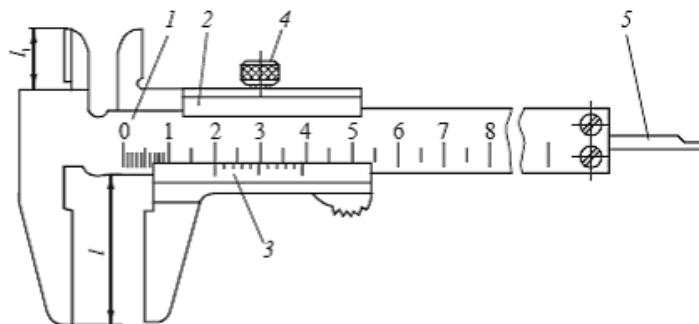


Рис. 1.1. Штангенциркуль ШЦ-I

Як правило таку подачу використовують для точного встановлення розміру при розмітці. 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.

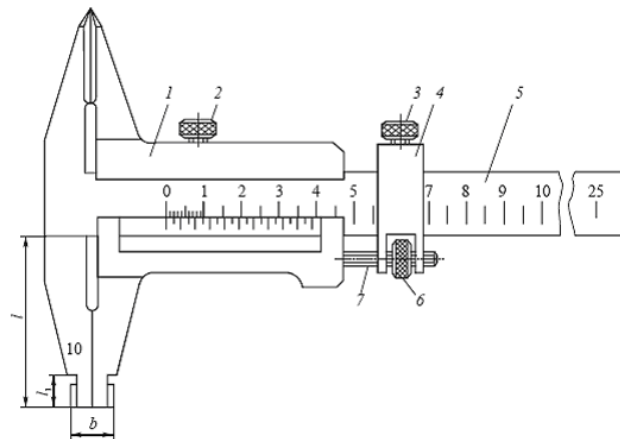


Рис. 1.2. Штангенциркуль ШЦ-II

Штангенциркуль ШЦ-III (рис. 1.3) не має верхніх гострокінцевих губок та пристрою для мікро подачі вимірювальної рамки. Він використовується для внутрішніх та зовнішніх вимірювань за допомогою таких самих, як і в ШЦ-II, нижніх губок. Ціна поділки ноніусу 0,1 та 0,05 мм, границі вимірювання від 0 до 2000 мм.

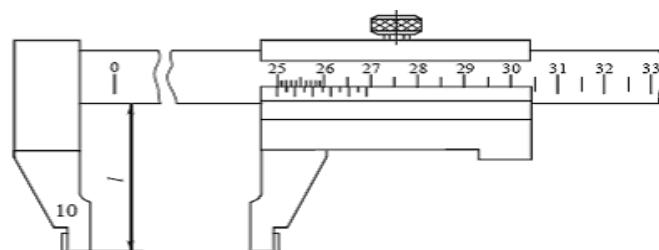


Рис. 1.3. Штангенциркуль ШЦ-III

Штангенглибиномір (рис. 1.4) застосовується для прямого вимірювання глибини виїмок і висоти уступів. Підставою

штангенглибиноміра є рамка з основою (1). Крізь рамку проходить штанга зі шкалою (2) та вимірювальною поверхнею на торці. Ноніус (4) завдано на окремій пластині і закріплено в рамці (1). Мікрометричний механізм (3) на штангенглибиномірі такий самий, як і на штангенциркулі ШЦ – II.

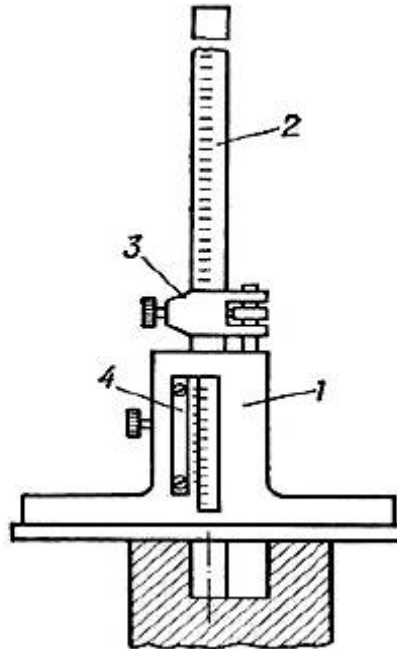


Рис. 1.4 Штангенглибиномір

Штангенрейсмас використовують для розмітки, але він може використаний і для вимірювання висоти деталей, встановлених на плиті (рис.1.5). Вони мають ціну поділки ноніуса 0,1 та 0,05 мм і границю вимірювання до 2500 мм. Штангенрейсмас 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 розмітальної ніжки 7.

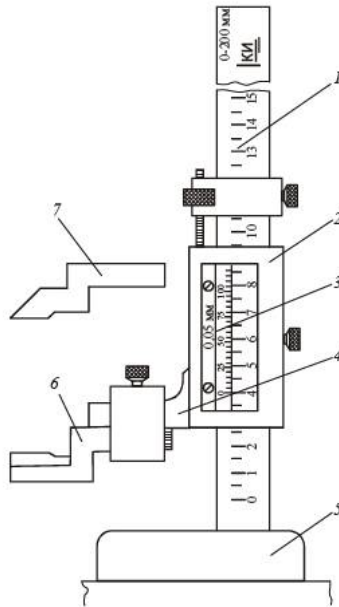


Рис. 1.5. Штангенрейсмус

При розмітці вертикальних поверхонь штангенрейсмус з встановленими за шкалою та ноніусом розміром переміщується по плиті вздовж заготівки, яку необхідно розмітити. Гостряк розміточної ніжки наносить на поверхню заготівки горизонтальну лінію.

Відліковий пристрій

В основу конструкції відлікового пристрою входять штанга (рис.1.5) (вимірювальна лінійка) з нанесеною на неї основною шкалою з інтервалом поділу 1 мм. Кожне п'яте поділ шкали штанги відзначено подовженим штрихом, а кожне десяте - штрихом більш довгим з відповідним числом сантиметрів.

По штанзі вільно переміщується вимірювальна рамка, на скосі якої (навпроти міліметрової шкали штанги) нанесена додаткова шкала, що має назву ноніус. Ноніус використовують для відліку дробових часток міліметра. Відлік вимірювань ноніуса заснований на різниці інтервалів поділок основної шкали і додаткової шкали ноніуса. Ноніус має невелике

число поділок n (10, 20 або 50 ділень-штрихів). Нульовий штрих ноніуса виконує роль стрілки і дозволяє відраховувати розмір в міліметрах на основній шкалі.

Ціна поділки ноніуса дорівнює ціні поділки основної шкали $a = 1$ мм, поділену на число поділок шкали ноніуса n :

$$c = a/n,$$

Використовують ноніуси (рис 1.5) з ціною поділки 0,1; 0,05 та в деяких випадках 0,02 мм. Інтервал ділення шкали ноніуса b залежить від прийнятого значення модулю γ , який обирається з ряду 1; 2; 3; 4 тощо. Але зі збільшенням модулю збільшується довжина додаткової шкали ноніуса, а також габаритні розміри всього відлікового пристрою.

Інтервал ділення шкали ноніуса b визначають за формулою:

$$b = \gamma \cdot a - c,$$

де γ - модуль ноніуса, який характеризує розтягнутість шкали ноніуса або співвідношення між значеннями інтервалів основної шкали та ноніуса.

Довжина шкали ноніуса:

$$l = n \cdot b = (\gamma \cdot n - 1) \cdot a.$$

Для зручності відліку дробових частин міліметра найчастіше випускають штангенінструменти з модулем шкали ноніуса – 2.

Визначення розміру деталі. Якщо нульовий штрих додаткової шкали ноніуса співпав з яким-небудь штрихом основної шкали, то значення вимірювальної величини відліковують тільки за основною шкалою в мм.

Якщо нульовий штрих не співпадає ні з одним штрихом основної шкали, тоді відлік складається з двох частин. Ціле число в міліметрах беруть за основною шкалою зліва від нульового штриха ноніуса та додають до нього долі міліметра, отримані множенням ціни поділки

ноніуса на порядковий номер штриха, шкали ноніуса, що співпав з штрихом основної шкали.

Приклад вимірювання за допомогою штангенциркулю показано на рис. 1.6

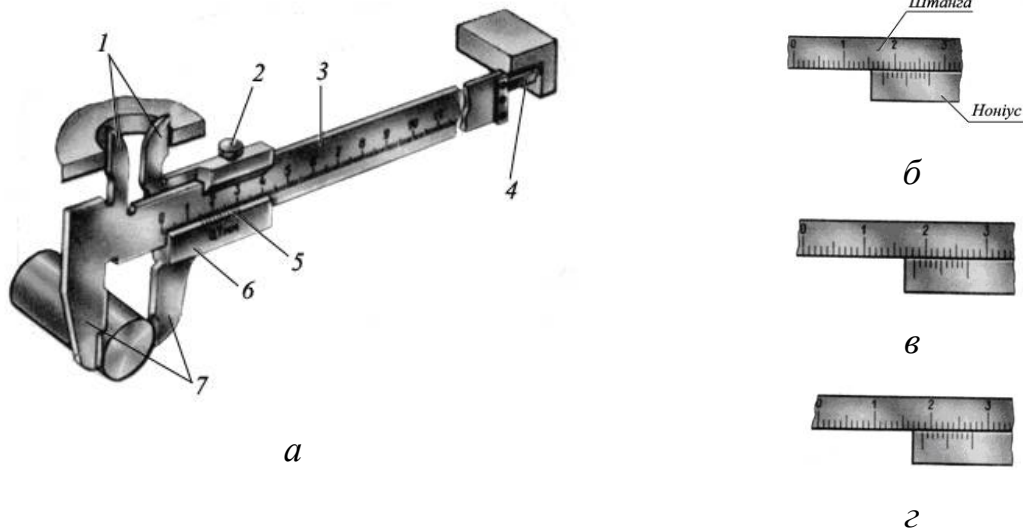


Рис. 1.6. Приклад вимірювання деталей за допомогою штангенциркулю: а — вимірювання елементів деталей штангенциркулем ШЦ-1; б — розмір вимірювальної величини 18 мм; в — розмір вимірювальної величини 18,2 мм; г — розмір вимірювальної величини 18,4 мм; 1 — губки для внутрішніх вимірювань; 2 — затиск; 3 — штанга; 4 — лінійка глибиноміра; 5 — шкала-ноніус; 6 — рамка; 7 — губки для зовнішніх вимірювань

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією по техніці безпеки при проведенні лабораторних робіт.
2. Вивчити конструкції штангенінструменту.
3. Накреслити ескіз деталі за вказівкою заданих розмірів.
4. Виміряти розміри деталі.
5. Охарактеризувати деталі по розміру.

Контрольні питання

1. Назвіть типи штангенінструменту.
2. Моделі штангенциркулів, їх конструктивні особливості і призначення.
3. Як відраховуються при вимірах цілі і дробові частки міліметрів?
Пристрій ноніуса.
4. Для яких цілей маркується товщина губок у деяких моделях штангенциркулів?
5. Для чого служить штангенглибиномір?
6. Для чого служить штангенрейсмус?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Контроль деталей за допомогою мікрометричних інструментів

Мета роботи: оволодіти практичними навичками роботи з мікрометричним інструментом

Завдання: вивчити пристрій, принцип вимірювання та метрологічні характеристики мікрометричних інструментів.

Перелік інструментів та приладдя: мікрометр, об'єкт вимірювання та його креслення (надається викладачем).

Опис засобів вимірювання

Мікрометричні інструменти

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 обертається у нерухомій мікрогайці.

У відповідності до ГОСТ 6507-80 [1-3] випускають наступні 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.

На рис. 2.1 показано конструкцію та схеми гладкого мікрометра. Основою мікрометра є скоба 1, а перетворювальним пристроєм служить гвинтова пара, що складається з мікрометричного гвинта 3 та мікрометричної гайки, закріпленої всередині стебла 5, які часто називають мікропарою. У скобу 1 запресовані п'ятка 2 і стебло 5. Вимірювана деталь охоплюється вимірювальними поверхнями мікрогвинта 3 і п'ятки 2. Барабан 6 приєднаний до мікрогвинта 3 корпусом тріскачки 7. Для наближення мікрогвинта 3 до п'ятки 2 його обертають за барабан або за тріскачку 8 за годинниковою стрілкою (від себе), а для видалення мікрогвинта від п'ятки його обертають проти годинникової стрілки (на себе). Закріплюють мікрогвинт у потрібному положенні стопором 4.

При щільному зіткненні вимірювальних поверхонь мікрометра з поверхнею вимірюваної деталі тріскачка прокручується з легким тріском, при цьому обмежується вимірювальне зусилля мікрометра. Результат вимірювання розміру мікрометром відраховується як сума відліків за шкалою стебла 5 і барабана 6. Слід пам'ятати, що ціна поділки шкали

стебла становить 0,5 мм, а шкали барабана — 0,01 мм. Крок різьби мікропари (мікрогвинт і мікрогайка) $P = 0,5$ мм.

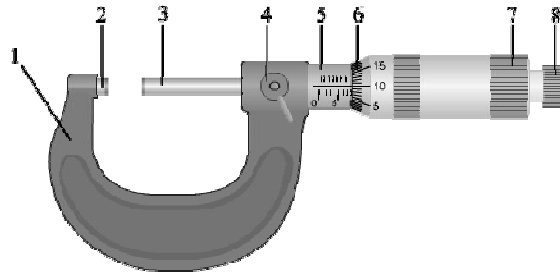


Рис. 2.1. Мікрометр гладкий:

1 — скоба; 2 — п'ятка; 3 — мікрометричний гвинт; 4 — стопор; 5 — стебло; 6 — барабан; 7 — корпус тріскачки; 8 — тріскачка

Кількість поділок барабана — 50. Якщо зрушити барабан на одну поділку його шкали, то торець мікрогвинта переміститься відносно п'ятки на 0,01 мм, оскільки $0,5 \text{ мм} : 50 = 0,01 \text{ мм}$.

Показання за шкалами гладкого мікрометра відлічують у такому порядку: спочатку за шкалою стебла 5 читають значення штриха, найближчого до торця скоса барабана 6 (на рис. 2.2 — це число 15,00 мм). Далі за шкалою барабана читають значення штриха, найближчого до поздовжнього штриха стебла (на рис. 2.2 — це число 0,20 мм). Додавши обидва значення, отримують показання мікрометра (на рис. 2.2 — це значення 15,20 мм).

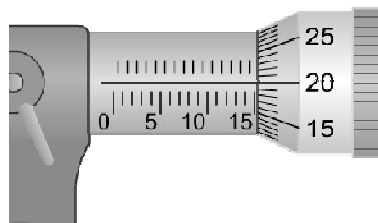


Рис. 2.2. Відлік показань за шкалами гладкого мікрометра

Мікрометричні глибиноміри (рис. 2.3) призначені для виміру глибини пазів, канавок, висоти уступів тощо. При вимірюванні глибиномір встановлюють підставою 2 на деталь, що перевіряється, і доводять вимірювальний наконечник 3 до контакту з поверхнею западини, обертаючи мікрогвинт за тріскачку 1.

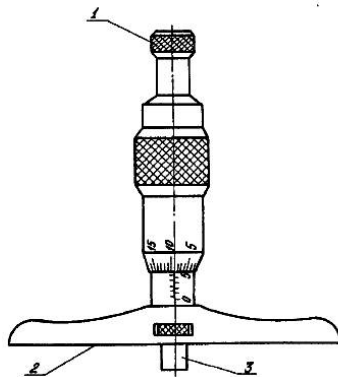


Рис. 2.3. Мікрометричний глибиномір

Мікрометричні нутроміри (рис.2.4) використовують для вимірювання діаметрів отворів, ширини пазів тощо. Вони складаються власне з мікрометричної головки і набору подовжувачів, які дозволяють розширити діапазон вимірювання.

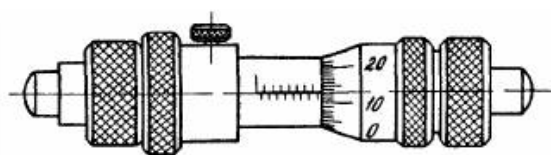


Рис. 2.4. Мікрометричний нутромір

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією по техніці безпеки при проведенні лабораторних робіт.
2. Вивчити конструкції мікрометричного інструменту.
3. Накреслити ескіз деталі за вказівкою заданих розмірів.
4. Виміряти розміри деталі.
5. Дати висновок про придатність деталі по кожному розміру.

Контрольні питання

1. Види мікрометричних інструментів.
2. Влаштування мікрометрів.
3. Як знімати показання мікрометра? Налаштування мікрометра на нуль.
4. Для чого служить тріскачка?
5. Пристрій мікрометричного глибиноміра.
6. Пристрій мікрометричного нутроміра.

ЛАБОРАТОРНА РАБОТА №3

Вимірювання кутових розмірів за допомогою кутомірів з ноніусом

Мета роботи: вивчити методику та техніку вимірювання кутових розмірів кутомірами з ноніусами

Завдання: виміряти кутоміром кутові розміри деталі та надати висновок про її придатність за цими розмірами

Перелік інструментів та приладдя: кутомір транспортний або універсальний, об'єкт вимірювання та його креслення (надається викладачем).

Опис засобів вимірювання

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).

Кутоміри транспортні

Кутоміри транспортні призначені для вимірювання зовнішніх кутів різних виробів. Крім того, конструкції даних кутомірів дозволяє проводити розмітку деталей на площині.

Технічні характеристики кутомірів транспортних наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики кутомірів транспортних

Параметр	Тип 1		Тип 4
	Модель		
	2УМ	5УМ	4УМ
Діапазон вимірювання, град	0...180		
Діапазон показань, град	0...90		
Ціна поділки основної шкали, град	1		
Значення відліку за ноніусом, хв.	2	5	15
Гранична похибка, хв.	±2	±5	±10

Кутомір транспортний (рис. 3.1) складається з основи 2, на яку нанесена основна шкала з ціною поділки 1 градус, нерухомої (жорстко закріпленої на основі) лінійки 1 та рухомої лінійки 10, що обертається за віссю 7 одночасно з ноніусом 5. Для точного встановлення лінійки 10 у визначеному положенні використовується мікрометричний гвинт 4, який обертається при закріпленому стопорному гвинті 3. Стопорний гвинт 6 використовується для закріплення лінійки 10 у визначеному положенні, а косинець 8, встановлюється на лінійці 10 за допомогою хомутика 9, - для вимірювання кутів від 0 до 90°.

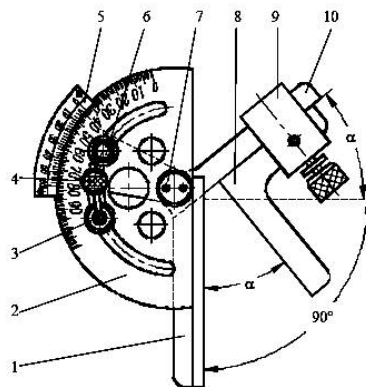


Рис. 3.1. Кутомір транспортний

1 – лінійка; 2 – основа; 3,6 – стопорний гвинт; 4 – мікрометричний гвинт; 5 – ноніус; 7 – вісь; 8 – косинець; 9 – хомутик; 10 – рухома лінійка

Кутомір універсальний

Кутомір універсальний призначено для вимірювання зовнішніх та внутрішніх кутів різних виробів. Технічні характеристики наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики кутоміра універсального

Параметр	Значення
Діапазон вимірювання зовнішніх кутів, град.	0...360
Діапазон вимірювання внутрішніх кутів, град.	40...180
Діапазон показань, град.	0...360
Ціна поділки основної шкали, град.	1
Значення відліку за ноніусом, хв.	2
Гранична похибка, хв.	±2

Кутомір універсальний (рис. 3.2) складається з основи 1, на яку нанесено основну шкалу з ціною поділки 1° , сектора 4 з закріпленим на ньому ноніусом 3, косинця 2, що встановлюється на секторі 4 за допомогою хомутика 6 та змінної лінійки 7, з'єднаної з косинцем 2 хомутиком 8. З основою 1 жорстко з'єднана вимірювальна лінійка 5, а сектор 4 має можливість переміщення відносно основи 1 разом з ноніусом 3. Стопорний гвинт 9 використовується для фіксації вимірювальної лінійки 5.

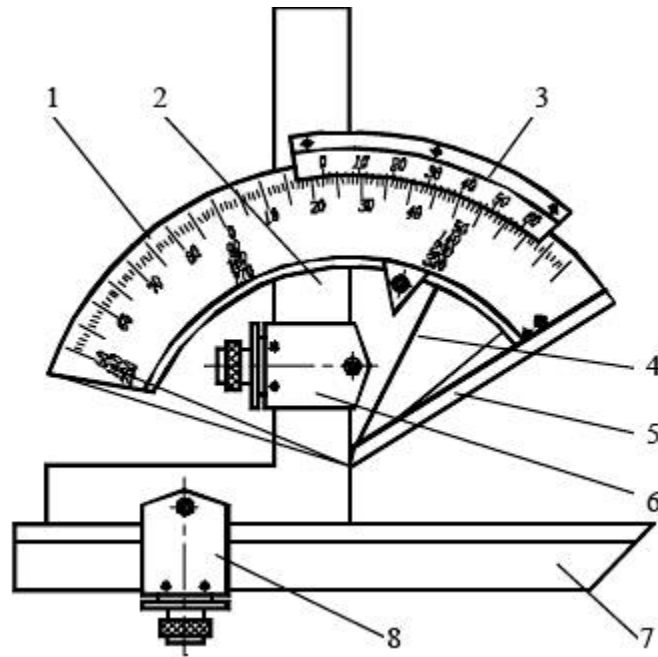


Рис. 3.2. Кутомір універсальний

1 – основа; 2 – угодник; 3 – ноніус; 4 – сектор; 5 – вимірювальна лінійка; 6,8 – хомутик; 7 – лінійка, що знімається; 9 – стопорний гвинт

Методика вимірювання кутів виробів за допомогою кутомірів

Вимірювання кутів транспортним кутоміром виконується шляхом накладення на сторони деталі, яке утворює кут, що вимірюється, лінійок 1 та 10 кутоміра (рис. 4.1) для вимірювання тупих кутів ($90^\circ + \square$) або лінійки 1 та косинця 8 при вимірюванні гострих кутів \square . Накладання здійснюється таким чином, щоб між лінійками кутоміра та сторонами деталі не було видимого проміжку.

Значення вимірювального кута відраховують за основною шкалою на основі 2 та за шкалою ноніуса 5. перший штрих шкали ноніуса, позначений цифрою «0», я початком даної шкали та одночасно покажчиком значення вимірювального кута за основною шкалою. Якщо штрих шкали ноніуса «0» співпадає з будь-яким штрихом основної шкали,

то значення вимірювального кута відраховується тільки за основною шкалою. Якщо цей штрих не співпадає ні з одним штрихом основної шкали, то відлік складають з двох частин: значення кута, кратне 1° , визначають за найближчим до нульового штриху шкали ноніуса меншому значенню основної шкали; до цього значення додають значення кута в хвилинах, яке визначається штрихом шкали ноніуса, що співпадає зі штрихом основної шкали, наприклад, кут $39^\circ 6'$ на рис. 3.3



Рис. 3.3. Шкали кутоміра

Вимірювання зовнішніх та внутрішніх кутів універсальним кутоміром здійснюють за схемами, що показані на рис. 4.4.

Зовнішні кути в діапазоні від 0° до 50° вимірюють за допомогою косинця 2 та лінійки 7, поєднуючи сторони вимірюваного кута з вимірювальними поверхнями лінійок 5 та 7 (рис. 3.4, а), а кути в діапазоні від 50° до 140° вимірюють при знятому косинці 2 та встановленій на його місці лінійці 7 (рис. 3.4, б). Вимірювальні поверхні короткої сторони косинця 2 та лінійки 5 при знятій лінійці 7 (рис. 3.4, в) використовують для вимірювання зовнішніх тупих кутів від 140° до 180° та внутрішніх тупих кутів від 180° до 230° . Внутрішні кути в діапазоні від 40° до 180° вимірюють при знятих косинці 2 та лінійки 7 (рис. 3.4., г).

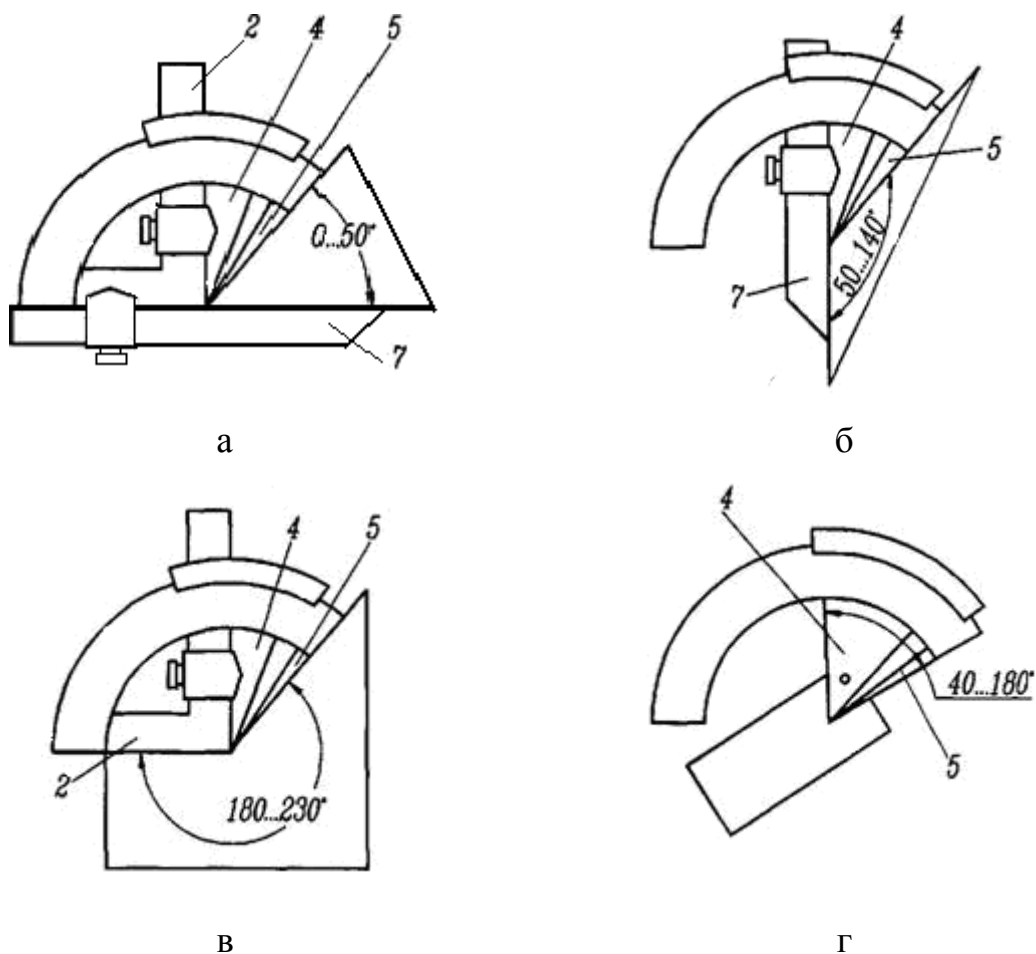


Рис. 3.4. Схеми вимірювання універсальним кутоміром
 а, б – зовнішніх кутів; в, г – внутрішніх кутів

Правила відліку значень, що вимірюються універсальним кутоміром, кутів аналогічні правилам відліку за шкалою транспортирного кутоміра.

Визначення похибки значень кутоміра з ноніусом

Визначення похибки значень кутоміра виконують по кутовим мірам не менш ніж в 5-7 точках, розташованих рівномірно по основній шкалі ноніуса, при відокремленому та закріпленому стопорному гвинті 6 транспортирного або гвинті 9 універсального кутоміра. Для перевірки використовують кутові міри 1-го класу точності з кутами $15^{\circ}10'$; $30^{\circ}20'$; $45^{\circ}30'$; $60^{\circ}40'$; $75^{\circ}50'$ та $134^{\circ}30'$. Значення придатних кутомірів при

суміщені їх вимірювальних поверхонь з вимірювальними поверхнями кутових мір не повинні відрізнятись від дійсних розмірів кутових мір більш ніж на величину граничної похибки, яка вказана в технічних характеристиках кутоміра.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією по техніці безпеки при проведенні лабораторних робіт.
2. Вивчити конструкції транспортного та універсального кутомірів.
3. Вибрати деталь.
4. Накреслити ескіз деталі за вказівкою заданих кутових розмірів.
5. Виміряти кутові розміри деталі вказаним кутоміром. Багаторазові здійснюються при закріплених стопорних гвинтах 6 (транспортний кутомір) або 9 (універсальний кутомір) з числом одиничних вимірювань $n \geq 5$. Результати вимірювань заносять в таблицю, виконану по формі таблиці 4.3.
6. Визначають за кресленням граничні (найбільший та найменший) кутові розміри деталі.
7. Дати висновок про придатність деталі по кожному кутовому розміру.

Таблиця 3.3.

Результати вимірювань кутових розмірів деталі

Номер спостереження		Вимірюємі кути, град. та хв.			
		α	β	γ	δ
1					
2					
3					
Граничні розміри, град. та хв.	найбільший				
	найменший				
Висновок про придатність кута					

Контрольні питання

1. Назвіть одиниці вимірювання кутових розмірів?
2. Скільки ступенів точності кутових розмірів встановлює ГОСТ 8908-81?
3. Як позначають стандартний допуск кутового розміру?
4. Яке призначення кутомірів?
5. Які типи кутомірів Ви знаєте та які їх метрологічні характеристики?
6. Яка методика вимірювання транспортирним кутоміром?
7. Як здійснюється відлік за ноніусом кутоміра?
8. Як здійснюється визначення похибки значень кутоміра та які кутоміри є придатними?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

Контроль параметрів різьби на інструментальному мікроскопі

Мета роботи: оволодіти методикою вимірювання геометричних параметрів метричної різьби та провести оцінку її придатності.

Завдання: вивчити принцип вимірювання параметрів різьби на інструментальному мікроскопі.

Перелік інструментів та приладдя: Мікроскоп інструментальний (БМІ), креслення деталі, деталей, стандарти на метричну різьбу.

Теоретичні відомості

В приладобудуванні найбільш розповсюдженими є метричні циліндричні кріпильні різьби. Профіль та основні параметри метричної різьби, загальні для зовнішньої та внутрішньої деталей встановлені ГОСТ 24705-2004 та показані на рис. 4.1.

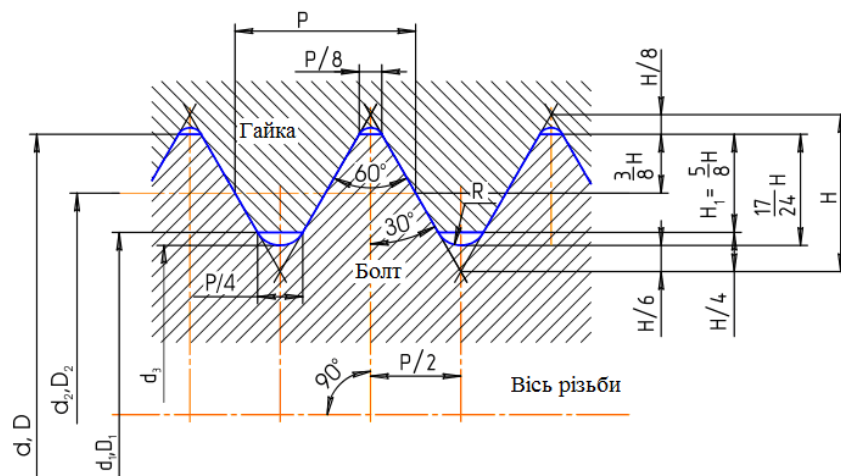


Рис. 4.1 Метрична різьба

Основними параметрами метричної різьби (загальними для зовнішньої (болт) та внутрішньої (гайка)) є: d, D - зовнішній діаметр; d_1, D_1 - внутрішній діаметр; d_2, D_2 - середній діаметр; P - крок різьби; $\alpha = 60^\circ$ - кут профілю різьби; $\alpha/2 = 30^\circ$ - половина кута профілю; H - висота вхідного профілю; H_1 - робоча висота профілю.

Визначення основних параметрів стандартизовані ГОСТ 11708-02. Деталі різьбової пари спрягаються за бічною стороною профілю різьби, тому що як для зовнішньої, так і для внутрішньої різьби обов'язково встановлюються допуски [4,5] на середній діаметр d_2, D_2 . Допуски на зовнішній діаметр (d, D) та внутрішній діаметр (d_1, D_1) побудовані таким чином, щоб забезпечити гарантований зазор в з'єднанні за вказаними параметрами. Відхилення від номінальних розмірів кроку та половини кута профілю окремо не нормуються, а компенсуються зміною середнього діаметру. Значення середнього діаметру різьби, збільшеного у болта та зменшеного у гайки на величину діаметральних компенсацій похибки кроку P та половини кута α , отриманих в результаті виготовлення та вимірювання має назву приведений середній діаметр:

для зовнішньої різьби (болт):

$$d_2^{np} = d_2^{sum} + f_p + f_\alpha,$$

для внутрішньої різьби (гайка):

$$d_2^{np} = d_2^{sum} - (f_p + f_\alpha),$$

Залежності для визначення f_α та f_p дають можливість привести відхилення кроку та половини кута профілю до одного (діаметрального) напрямку та до однієї розмірності (мкм). Стандартний допуск на середній d_2 - комплексний допуск, який враховує як похибку власне середнього діаметру Δd_2 , так і значення діаметральних компенсацій f_α та f_p , що

отримані на основі вимірювань дійсних значень кроку та половини кута профілю:

$$Td_2(TD_2) = \Delta d_2(\Delta D_2 + f_p + f_\alpha),$$

Різьба є придатною, якщо виконані наступні умови:

$$d_{2\min}(D_{2\min}) \leq d_2^{np}(D_2^{np}) \leq d_{2\max}(D_{2\max}).$$

В залежності від призначення різьби встановлюються допуски [4,5], положення полів яких визначається для болта основними відхиленнями - h, g, e, d та ступенями точності (по середньому діаметру - 4,6,7,8; по зовнішньому діаметру - 4,6,8); для гайки основними відхиленнями - H, G та ступенями точності (по середньому діаметру - 4,5,6,7; по внутрішньому - 5,6,7).

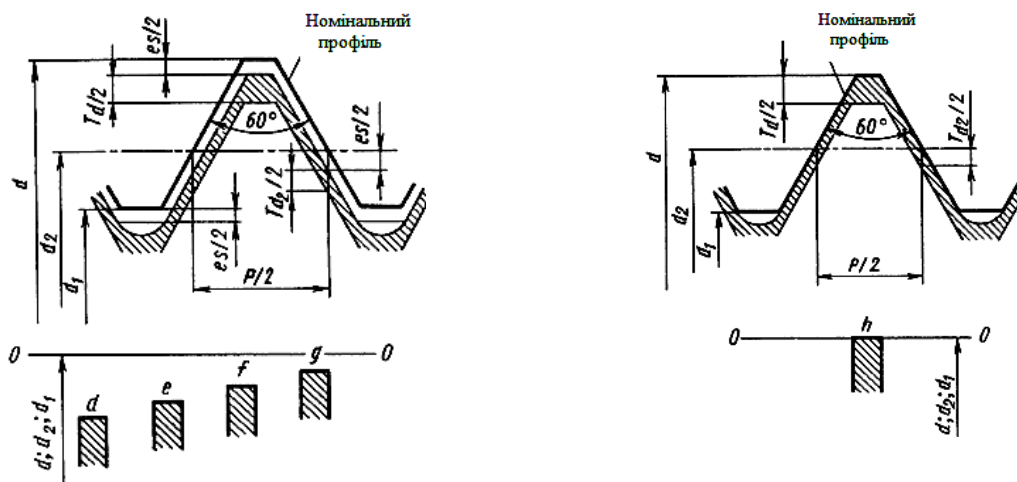


Рис. 4.2. Розташування полів допуску для болта

Позначення поля допуску різьби, як поєднання поля допуску по d_2 та по d для болта і по D_2 та D_1 для гайки, складається з позначення полів допуску: d_2, D_2 - розташованих на першому місці, d для болта або D_1 для гайки - на другому місці, наприклад, $7h6h, 4H5H$.

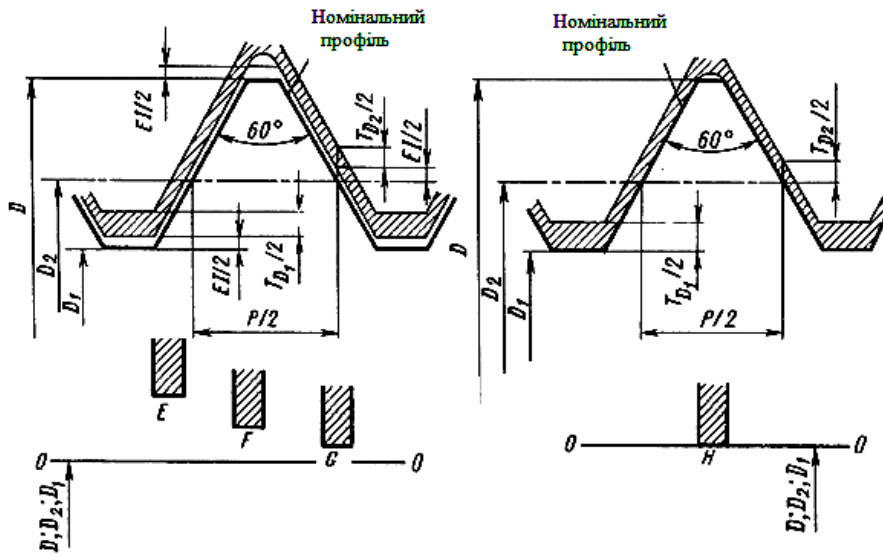


Рис. 4.3 Розташування полів допуску для гайки

Інструментальний мікроскоп

Призначений для вимірювання лінійних та кутових розмірів деталей проєкційним безконтактним методом. Найбільш простим є великий інструментальний мікроскоп БМИ модель.

Великий інструментальний мікроскоп має основу 1, на який встановлено вимірювальний стіл 2, стійка 3, тубус 4 з окулярною голівкою 7 та кожух 6 освітлювача.

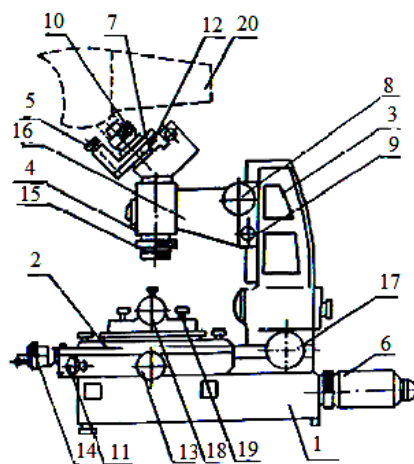


Рис. 4.4 Схема великого інструментального мікроскопу

Вимірювальний стіл приладу може переміщуватись в двох взаємно перпендикулярних напрямках за допомогою мікро гвинтів (в поздовжньому напрямку мікро гвинта 13, в поперековому напрямку мікро гвинта 14). Також він може обертатись навколо власної вісі на 360° за допомогою голівки 2. В потрібному положенні стіл закріплюється стопорним гвинтом. Для відліку повороту на циліндричній поверхні столу нанесені градусні поділки від 0° до 360° , а на нерухомій частині столу закріплено ноніус, за допомогою якого забезпечується точність відліку в $3'$. Уповільнений рух столу та полозок здійснюється амортизатором.

Для закріплення деталі, яка має центрові отвори, використовуються бабки з центрами 18, які встановлюються на верхню плиту вимірювального столу, так щоб осьова лінія центрів була паралельна поздовжньому напрямку столу. Положення центрів фіксується гвинтами 19.

Тубус 4, жорстко пов'язано з кронштейном 16, що має напрямні. Кронштейн може зміщуватись по напрямленню стійки за допомогою рукояток 8 рейкової передачі та закріплюватись на необхідній висоті фіксатором 9.

Перед вимірюванням параметрів різьби стійку мікроскопу нахиляють на кут підйому різьби. Нахил здійснюється за допомогою маховичка 17. Кут нахилу визначається за шкалою, нанесеної на гільзі маховичка. Ціна поділки шкали 30° .

Окулярна голівка 7 призначена для виконання лінійних та кутових вимірювань. В корпусі окуляру знаходиться скляна пластинка зі штриховою сіткою (рис.5.5) та кругова шкала, що поділяє по колу на 360° . Пластинка зі штриховою сіткою та лімба градусної шкали пов'язані між собою та мають загальний центр обертання.

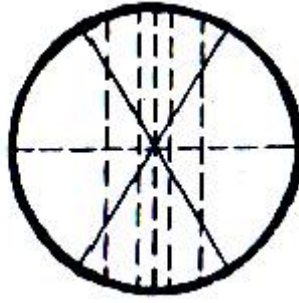


Рис. 4.5 Штрихова сітка окуляру

Штрихова сітка спостерігається в поля зору окуляру 10 центрального мікроскопу, а градусна та хвилинна шкали – в полі зору відлікового кутомірного окуляру 5. Оберт кутомірної шкали здійснюється за допомогою маховика 12.

З метою отримання збільшеного зображення контрольованої деталі та полегшення роботи на великому інструментальному мікроскопі може бути встановлено проєкційний пристрій 20. Освітлення градусної шкали у відліковий мікроскоп направляється від джерела світла, розташованого під окулярною голівкою, крізь віконце з дзеркалом.

Підготовка приладу до вимірювання

1. Ввімкнути прилад в мережу та провести його налаштування. Для цього, обертаючи окуляр 10 (рис.4.4) штрихової окулярної голівки, досягти чіткого зображення штрихової сітки з перехрестям.
2. Обертаючи окуляр 5, отримати чітке зображення штрихів кутових шкал мікроскопу. Шкали освітити за допомогою дзеркальця, розташованого під окулярною голівкою, обертаючи маховиком 12 окулярну пластинку, повернути шкалу так, щоб нульове ділення основної

градусної шкали співпадало з нульовим діленням додаткової шкали (рис. 4.6, а).

3. Встановити колонку мікроскопу з оптичною голівкою перпендикулярно столу мікроскопу (досягти нульового положення по шкалі барабану маховика 17).

4. Видану для вимірювання деталь закріпити в центрах 18, розташувати її над серединою предметного столика.



Рис. 4.6 Шкала

5. Сфокусувати тубус мікроскопу. Для цього переміщуючи тубус 4 рукояткою 8, досягти чіткого зображення профілю деталі. Закріпити кронштейн 16 фіксатором 9. Перевірити паралельність напрямлення повздовжнього столу з віссю центрів, тобто віссю встановленої на них деталі.

Вимірювання кроків профілю та визначення діаметральної компенсації похибки кроку

Значення n кроків різьби вимірюють між однойменними сторонами профілю (правою та лівою).

1. Кількість витків - n визначають з умови, що довжина згвинчення дорівнює висоті стандартної гайки, тобто $0,8d(D)$:

$$n = \frac{0,8d}{P},$$

де d - номінальний зовнішній діаметр; P - номінальне значення кроку.

2. Підрахувати номінальне значення n кроків:

$$P_n = nP,$$

3. Виміряти P_n кроків, для чого перехрестя кроків штрихової окулярної сітки встановити близько на середину бічної сторони профілю, маховиком 12 повернути окулярну сітку до збігу вертикальної штрихової лінії з бічною стороною профілю. Зняти значення за шкалою повздовжнього мікрогвинта 13 (1-й відлік).

4. Обертанням мікрогвинта 13 перемістити деталь на n кроків до положення, при якому вертикальна лінія також буде співпадати з бічною стороною профілю. Зняти значення мікрогвинта (2-й відлік). Різницю значень мікрогвинта 13 при двох відліках, по лівій стороні профілю – вимірний розмір n кроків $P_{нлі}$.

5. Аналогічно виміряти P_n кроків по правій стороні профілю $P_{нпра}$.

6. Визначити середню вимірну величину n кроків:

$$P_{нсс} = \frac{P_{нлів} + P_{нпра}}{2},$$

7. Розрахувати похибку виготовлення n кроків:

$$\Delta P_n = P_{нсп}^{вим} - P_n,$$

8. Розрахувати величину діаметральної компенсації кроку:

$$p = 1,732\Delta P_n,$$

Вимірювання величини половини кута профілю різьби та визначення діаметральної компенсації її похибки

При вимірюванні кута профілю різьби необхідно розрізнити ліву ($\alpha/2_{лів}$) та праву ($\alpha/2_{прав}$) частини кута профілю α , які прийнято

вимірювати окремо. Для компенсації помилок вимірювання $\alpha/2_{\text{лів}}$ та $\alpha/2_{\text{прав}}$ вимірюють обидві сторони профілю деталі (рис. 4.7).

1. Встановити кутомірну сітку в нульове положення за допомогою маховика 12.
2. Обертаючи штрихову сітку маховиком 12 та переміщуючи вимірювальний стіл з закріпленим в центрах деталлю за допомогою мікрогвинтів 13 та 14 сумістити вертикальну штрихову лінію сітки з бічною стороною профілю різьби, при цьому рекомендовано залишати між ними невеликий зазор для контролю паралельності

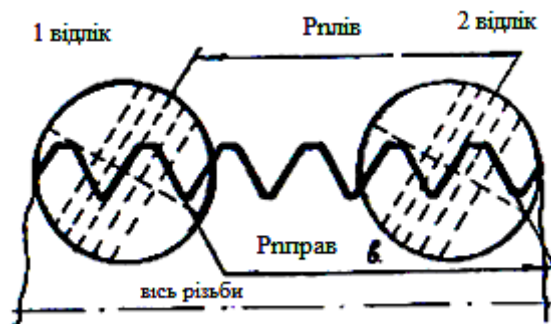


Рис. 5.7 Схема вимірювання

3. Спостерігаючи в кутомірній окуляр 5, зняти відлік за кутовою шкалою. Значення градусної та хвилинної шкали буде дорівнювати значенню половини кута профілю $\alpha/2$. При вимірюванні $\alpha/2$ на іншій стороні профілю значення буде відповідати $360^\circ - \alpha/2$.
4. Розрахувати середнє значення по лівій та правій частинах різьби:

$$\alpha/2_{\text{прав}} = \frac{\alpha/2_{(1)} + \alpha/2_{(2)}}{2},$$

$$\alpha/2_{\text{лів}} = \frac{\alpha/2_{(3)} + \alpha/2_{(4)}}{2},$$

5. Розрахувати похибки:

$$\Delta\alpha/2_{\text{прав}} = \Delta\alpha/2_{\text{прав}} - \alpha/2; \Delta\alpha/2_{\text{лів}} = \Delta\alpha/2_{\text{лів}} - \alpha/2,$$

де $\alpha/2 = 30^\circ$.

$$\Delta \frac{\alpha}{2} = \frac{\left| \Delta \frac{\alpha}{2_{\text{прав}}} \right| + \left| \Delta \frac{\alpha}{2_{\text{лів}}} \right|}{2},$$

6. Розрахувати діаметральну компенсацію похибки половини кута профілю:

$$\alpha = 0,36 \cdot 10^{-3} P \Delta \alpha / 2,$$

де P - номінальний крок різьби, мм; $\Delta \alpha / 2$ - виміряна похибка половина кута, хв.

Вимірювання зовнішнього діаметру різьби

Номінальний розмір зовнішнього діаметру d вказується в позначенні різьби.

1. Встановити кутомірну шкалу в нульове положення (рис. 4.6, а) за допомогою маховика 12.
2. Сумістити горизонтальну штрихову лінію окулярної сітки з виступами різьби. Провести відлік по мікро гвинту 14 поперекового суміщення вимірювального столику.
3. Перемістити мікро гвинтом 14 вимірювальний стіл до знаходження в полі зору окуляру 10 протилежного краю різьби. Сумістити горизонтальну штрихову лінію окулярної сітки з виступами різьби та провести другий відлік. Різниця значень за мікро гвинтом 15 визначає значення зовнішнього діаметру $d^{\text{вим}}$.
4. Провести вимірювання зовнішнього діаметру ще в двох поперекових зрізах профілю, суміщаючи деталь за допомогою мікрогвинта 13, приблизно на 1-2 кроки.

Вимірювання внутрішнього діаметру різьби

Номінальний розмір внутрішнього діаметру d_1 визначається відповідно до ГОСТ 24705-2004 за наступною формулою:

$$d_1 \approx d - 1,083P,$$

Порядок вимірювання такий самий, як і для зовнішнього діаметру.

Вимірювання середнього діаметру різьби

Номінальний розмір середнього діаметру d_2 визначається відповідно до ГОСТ 24705-2044 за наступною формулою:

$$d_2 \approx d - 0,65P,$$

1. Встановити кутомірну шкалу в нульове положення, за допомогою маховика 12.
2. З метою отримання чіткого зображення різьбового профілю нахилити стійку 3 з тубусом 4 на кут, рівний куту підйому різьби $\phi = 18,25P/d_2$. Кут ϕ визначається за шкалою барабану маховика 17.
3. Встановити перехрестя штрихової окулярної сітки на середину бічної сторони профілю різьби. Провести відлік за мікро гвинтом 14 поперекового суміщення вимірювального столу.
4. Нахилити стійку з тубусом на кут ϕ в протилежну сторону та обертанням мікрогвинта 14 перемістити вимірювальний стіл з деталлю до спів падіння перехрестя штрихової окулярної сітки з бічною стороною протилежного краю профілю різьби. Провести другий відлік. Різниця значення мікрогвинта 14 визначає виміряне значення середнього діаметру $d_2^{вим}$.
5. Провести вимірювання діаметру d_2 ще в двох поперекових перерізах профілю різьби по правій та лівій його сторонам.

6. Визначити середнє значення d_2 :

$$d_{2cp}^{вим} = \frac{d_{2(1)}^{вим} + d_{2(2)}^{вим} + d_{2(3)}^{вим}}{3}.$$

7. Визначити середнє значення приведеного середнього діаметру:

$$d_{2cp}^{np} = d_{2cp}^{вим} + f_p + f_a.$$

8. За допомогою таблиць ГОСТ 24705-2004 визначити, відповідно вказаних в позначені полів допуску параметрів зразка, граничні відхилення діаметрів різьби, побудувати схеми полів допуску.

9. Порівняти дійсні значення діаметрів різьби з граничними, зробити висновок про придатність різьби деталі. При перевірці придатності різьби за середнім діаметром, необхідно використовувати залежності 4.4

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Визначення параметрів шорсткості

Мета роботи: оволодіти структурою параметрів шорсткості, методики визначення значень параметрів, позначення на кресленнях.

Завдання: вивчити принцип визначення параметрів шорсткості.

Теоретичні відомості

Шорсткість поверхні – сукупність мікронерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділена за допомогою базової довжини.

Шорсткість поверхні виробів незалежно від матеріалу і способу виготовлення (отримання поверхні) можна оцінювати кількісно одним або декількома параметрами [7].

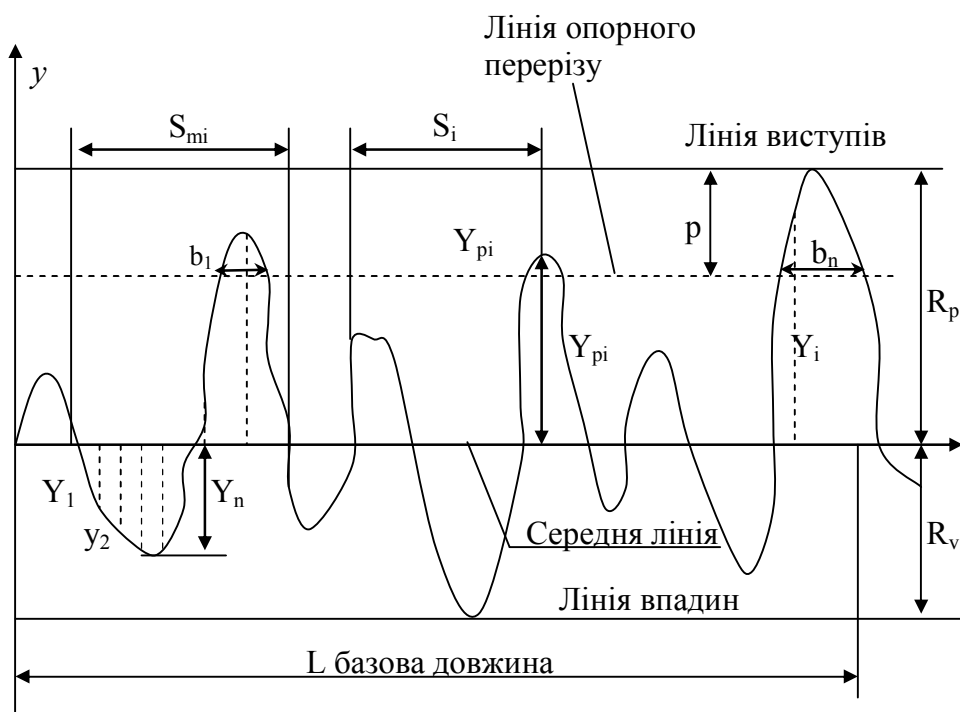


Рис. 5.1. Профілограма поверхні

Числові значення шорсткості поверхні визначають від середньої лінії профілю, що має форму номінального профілю і проведена так, що у межах базової довжини середнє квадратичне відхилення профілю до цієї лінії мінімальне.

Звичайно параметри ділять на 3 групи:

Параметри, зв'язані з висотними властивостями нерівностей (середнє арифметичне відхилення профілю R_a від середньої лінії, кількість яких n повинно бути не менш ніж 20; висота нерівностей профілю по 10 екстремальним точкам R_z ; найбільша висота нерівностей профілю R_{max}) у межах базової довжини:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

$$R_z = \frac{1}{5} \left[\sum_{i=1}^5 |y_{p_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{v_i}| \right],$$

$$R_{max} = R_v + R_p,$$

Параметри, зв'язані з властивостями нерівностей у напрямі довжини профілю (середній крок нерівностей профілю S_m по середній лінії; середній крок місцевих виступів профілю S) в межах базової довжини:

$$S_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_{m_i},$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

Параметри шорсткості, зв'язані з формою нерівностей профілю (опорна довжина профілю η_p , як сума розмірів відрізків b_1 перерізу мікровиступів лінією опорного перерізу, яка задається розміром P у кількості відсотків від R_{max} (10%, 20%, 30%, 40%); відносна опорна довжина профілю t_p як відношення величини суми відрізків η_p до розміру базової довжини виміру шорсткості l):

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i,$$

$$t_p = \frac{\eta_p}{l},$$

Позначення шорсткості поверхні:

Шорсткість поверхонь позначають на кресленні для всіх виконуваних по даному кресленню поверхонь деталі, незалежно від методів їх отримання, крім поверхонь, шорсткість яких не обумовлена вимогами конструкції. Структура позначення шорсткості поверхні приведена на рисунку 5.2.

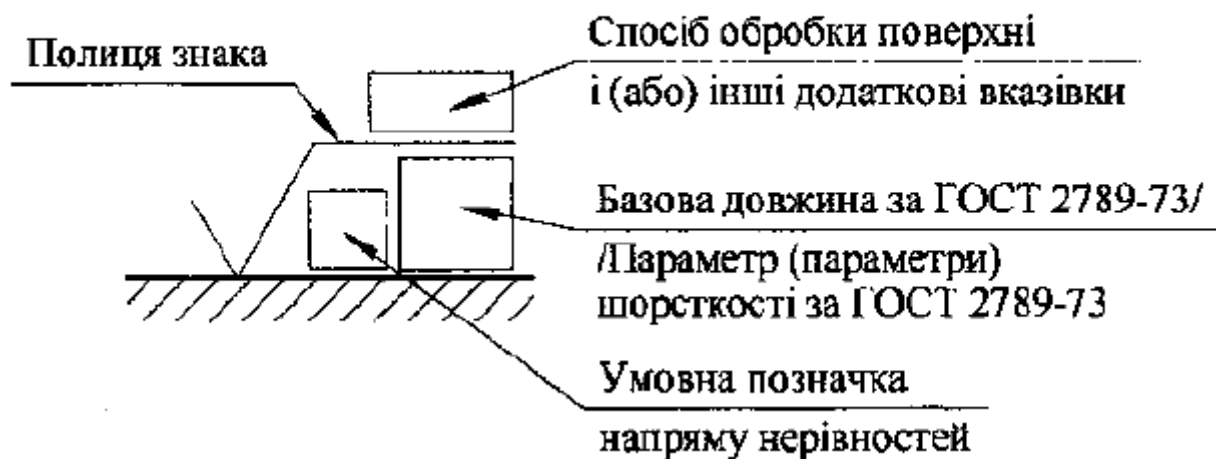


Рис. 5.2. Структура позначення шорсткості поверхні

При вказанні двох або більше чисел параметрів шорсткості поверхні в позначенні їх значення записують зверху вниз в наступному порядку: параметр висоти нерівності профілю; параметр кроку нерівностей профілю; відносна опорна довжина профілю. При вказанні однакової шорсткості для всіх поверхонь деталі позначення шорсткості поміщають в правому верхньому куті креслення і на зображення не наносять.

Кількісний контроль параметрів шорсткості здійснюється як контактними, так і безконтактними методами. До контактних (щупових) пристроях відносять профілометри і профілографи.

Вимірювання та контроль шорсткості поверхні

Визначення параметрів шорсткості верхні проводиться за двома видами контролю: кількісному та якісному.

Якісний контроль параметрів шорсткості здійснюється шляхом порівняння зі зразками або зразковими деталями візуально або дотиком. ГОСТ 9378-75 встановлює зразки шорсткості отримані механічною обробкою, зняттям позитивних відтисків гальванопластики або нанесенням покриття на пластмасові відтиски. Набори або окремі зразки мають прямолінійні, дугоподібні бо схрещені дугоподібні розташування нерівностей поверхні. На кожному зразку показано значення параметру R_a (в мкм) та вид обробки. Для підвищення точності використовуються щупи та мікроскопи порівняння.

Кількісний контроль параметрів шорсткості здійснюється безконтактними або контактними засобами вимірювання.

Для кількісного оцінювання шорсткості поверхні безконтактним методом використовують два способи - збільшення їх за допомогою оптичної системи або з використанням відбивних властивостей обробленої поверхні.

Для кількісної оцінки шорсткості поверхні контактними засобами вимірювання використовують профілографи-профілометри та профілометри.

Профілограф-профілометр складається з двох приладів в залежності від характеру вимірювальної інформації – профілографу та профілометру.

Об'єднуються вони разом для розширення можливостей вимірювання поверхневих нерівностей та в зв'язку з тим, що деякі функціональні вузли в них співпадають.

Профілограф – прилад для запису величини нерівностей поверхні в нормальному до неї перерізі у вигляді профілографи, обробкою якої визначаються всі параметри, які характеризують шорсткість та хвилястість поверхні.

Профілометр – приладі для вимірювання поверхневих нерівностей в нормальному для неї перерізі та представлені результатів вимірювань за шкалою приладу в вигляді одного з параметрів, що використовуються для цих нерівностей. Більшість профілометрів надають оцінку поверхневих нерівностей за параметром R_a .

Порядок роботи:

1. Ознайомитися із загальними положеннями методичних вказівок і змістом лекційного матеріалу по відповідній темі;
2. Ознайомитися з представленим викладачем варіантом профілограми реального профілю поверхні. Звернути увагу на додаткову інформацію: крім малюнка профілю на профілограмі вказані значення вертикального і горизонтального збільшень, вид механічної обробки поверхні, а також рівень перетину $p\%$;
3. По варіанту профілограми визначити:
 - 3.1 Положення середньої лінії;
 - 3.2 Масштаб по вертикальній і горизонтальній осях профілограми залежно від заданого збільшення (на профілограмі вертикальне збільшення позначено ВУ, горизонтальне - ГУ);

3.3 Параметри шорсткості по трьом групам і за наслідками розрахунків заповнити таблицю 5.1;

Таблиця 5.1

№	$l_{факт}$	$l_{норм}$	R_a	R_z	R_{max}	S	S_m	η_3	t_p
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Отримане значення параметра t_p привести до нормального ряду значень.

3.4 Визначити стандартні базові довжини l для параметрів R_a , R_z , R_{max} ;

3.5. Представити позначення знаку шорсткості за правилами, приведеними на рисунку 6.2.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією по техніці безпеки при проведенні лабораторних робіт.
2. Навести варіант профілографи
3. Провести необхідні розрахунки
4. Навести графічне зображення структури позначення шорсткості поверхні з вказівкою всіх необхідних позицій

Контрольні питання

1. Які параметри використовують для оцінки шорсткості поверхні?
2. Чим і як контролюють шорсткість поверхні?
3. Визначення профілографа.
4. Як позначається шорсткість на кресленнях?
5. Для чого на відповідальних деталях машин домагаються малої шорсткості?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Визначення похибки вимірювання лінійних розмірів деталей універсальними засобами вимірювання

Мета роботи: вивчення методики визначення похибки вимірювань лінійних розмірів деталей.

Завдання: визначити довірчі границі похибки вимірювання лінійного розміру деталі з урахуванням похибки, що виникає в результаті температурних деформацій.

Перелік інструментів і приладдя: необхідних для виконання роботи: мікрометр гладкий МК25-1, мікрометр гладкий МК50-2, мікрометр важільний МР50, індикатор годинникового типу ІЧ10, головка вимірювальна ІПП, штатив Ш-ІІІ, стійка С-ІІІ, набір плоскопаралельних кінцевих мір довжини, об'єкт вимірювання та його креслення (видає викладач).

Теоретичні відомості

Визначення похибки вимірювання

Для проведення вимірювань з похибками, що не перевищують допустиме значення, необхідно мати відомості про значення похибок вимірювання універсальними засобами вимірювання в реальних умовах їх застосування. Такі дані наведені, наприклад, в довідковій літературі [3 - 5] з урахуванням наступних положень:

- універсальний засіб вимірювання відповідає вимогам;

- універсальний засіб вимірювання використовується оператором, що має навички роботи;
- наводяться значення похибок вимірювання без урахування похибки методу вимірювання.

Похибка вимірювання універсальними засобами вимірювання Δ з урахуванням умов і метода вимірювань розраховують таким чином [3]:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2 + \Delta_6^2}, \quad (6.1)$$

де Δ_1 - похибка засобу вимірювання; Δ_2 - похибка методу вимірювання; Δ_3 - похибка від температурних деформацій; Δ_4 - похибка від зусилля вимірювання; Δ_5 - похибки оператора; Δ_6 - інші складові похибки.

Під похибками Δ , Δ_1 - Δ_4 - мають на увазі граничні похибки, які включають не виключені систематичну та випадкову складові (табл. 6.1) та оцінену з довірчою ймовірністю P (як правило $P = 0,95$).

$$\Delta_1 = \sqrt{\Delta_{11}^2 + \Delta_{12}^2 + \dots + \Delta_{1n}^2}, \quad (6.2)$$

де $\Delta_{11}, \Delta_{12}, \dots, \Delta_{1n}$ - основні похибки засобів вимірювання, які використовуються при вимірюванні.

$$\Delta_2 = \sqrt{\Delta_{21}^2 + \Delta_{22}^2 + \Delta_{23}^2}, \quad (6.3)$$

де Δ_{21} - похибка базування; Δ_{22} - похибка внаслідок недостатньо кількості точок вимірювання об'єкту; Δ_{23} - інші складові похибки методу вимірювання.

Похибку від температурних деформацій, визначають за формулою:

$$\Delta_t = \sqrt{\Delta_{t1} + \Delta_{t2}}, \quad (6.4)$$

де Δ_{i1}, Δ_{i2} - відповідно систематична та випадкова похибки від температурних деформацій:

$$\Delta_{i1} = l\Delta t_1(\alpha_{3l} - \alpha_0)_{\max}, \quad (6.5)$$

$$\Delta_{i2} = l\Delta t_2\alpha_{\max}, \quad (6.6)$$

де l - розмір, що вимірюється; Δt_1 - допустиме при вимірюванні відхилення температури робочого простору від 20°C ; Δt_2 - допустиме при вимірюванні коливання температури робочого простору; $(\alpha_{3l} - \alpha_0)_{\max}$ - максимально можлива різниця коефіцієнтів лінійного розширення засобів вимірювання та об'єкта вимірювання (табл. 6.2); α_{\max} - максимальний за величиною коефіцієнт лінійного розширення (матеріалу засобу вимірювання або об'єкту вимірювання).

Значення Δt_1 та Δt_2 встановлені ДСТУ ГОСТ 8.050:2009 («ДСТУ ГОСТ 8.050:2009 ГСИ. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений»). Нормальні умови виконання лінійних та кутових вимірювань наведені в табл. 6.2 та 6.3.

Таблиця 6.1. Коефіцієнти лінійного розширення матеріалів

Найменування матеріалу	Коефіцієнт лінійного розширення матеріалів α , мкм/град·мм
Алюміній	0,024
Бронза	0,018
Латунь	0,018
Мідь	0,016
Нікель	0,013
Олово	0,025
Сталь незагартована	0,011
Сталь загартована	0,012
Чавун	0,011

Таблиця 6.2. Границі допустимого відхилення температури (°C) об'єкту вимірювання та робочого простору від нормального значення (ГОСТ 8.050)

Інтервали розмірів, мм	Квалітет				
	01	0	від 1 до 5	від 6 до 8	від 9 до 10
Вище 1 до 18	±0,8	±1,0	±1,5	±3	±4
Вище 18 до 50	±0,3	±0,5	±1,0	±2	±3
Вище 50 до 500	±0,2	±0,3	±0,5	±1	±2

Таблиця 6.3. Допустимі коливання температури (°C) робочого простору об'єкта вимірювання та засобу вимірювання (ГОСТ 8.050)

Допустиме відхилення температури, °C	Впродовж 0,5 год.	Впродовж 12 год.
±0,5	0,1	0,5
±0,8	0,1	0,5
±0,1	0,1	0,5
±1,5	0,2	1,0
±2,0	0,2	2,0
±3,0	0,5	3,0
±4,0	0,5	3,0

Порядок виконання роботи

1. Вивчити інструкцію по техніці безпеки при виконанні лабораторної роботи;
2. Накреслити ескіз деталі з вказівкою на ньому заданого розміру;
3. Визначити допустиму похибку вимірювання;
4. Перевірити відповідність робочого простору t_{pn} та можливі коливання даної температури t_2 (значення t_{pn} та t_2 задає викладач) нормальній області значень за табл. 6.2 і 6.3;

5. Якщо значення температури робочого простору t_{pn} та її коливання t_2 не перевищує допустимі значення, то похибку результату вимірювання Δ приймають рівною похибки вимірювання $\Delta_{вим}$;

6. Якщо значення t_{pn} та t_2 перевищують допустимі границі, за формулами 6.4 та 6.5 визначають систематичну Δt_1 та випадкову Δt_2 похибки вимірювання Δt , викликані температурним деформуванням. За формулою 6.3 визначають значення похибки Δt , а похибку результату вимірювання Δ розраховують за формулою:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{вим}^2 + \Delta_t^2}.$$

7. Перевірити основну умову вибору засобу вимірювання $\Delta \leq \delta$. У випадку його порушення (при $\Delta > \delta$), повторно обирають засіб вимірювання з меншим значенням похибки вимірювання $\Delta_{вим}$, що забезпечить умову $\Delta \leq \delta$.

8. Виконати багатократне вимірювання заданого розміру з числом одиничних вимірювань $n \geq 7$ (величину n задає викладач). Результати вимірювань заносять у табл. 6.4.

9. Визначити середнє арифметичне \bar{x} результатів одиничних вимірювань x_i середньо квадратичне відхилення цих результатів за формулами:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n};$$

$$S = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right) / (n-1)}.$$

Результати розрахунків заносять в таблицю 6.4.

10. Виключити промахи (грубі промахи), результат вимірювання представити у стандартній формі $A = \bar{x} \pm (\Delta x)_{\Sigma}, P$ та дати висновок про придатність деталі за цим розміром.

Таблиця 6.4. Результати вимірювання та розрахунків

Результати граничних вимірювань x_i , мм	Результати розрахунків, мм							Результати вимірювань, мм
	\bar{x}	S_x	$\Delta_{вим}$	Δ_{t1}	Δ_{t2}	Δ_t	Δ	
Висновок про придатність								

Контрольні питання

1. Дайте визначення систематичної та випадкової похибки вимірювання.
2. Чім відрізняється похибка вимірювання універсальним засобом вимірювання від інструментальної похибки, похибки методу вимірювання?
3. Що розуміють під губою похибкою вимірювання (промах)? Як її виключають?
4. Що розуміють під температурним режимом вимірювання?
5. З яких складових складається похибка від температурних деформацій?
6. Що таке похибка вимірювання, похибка методу вимірювання, похибка засобу вимірювання?

ЛІТЕРАТУРА

1. Артемьев Б.Г., Голубев С.М. Справочное пособие для работников метрологических служб. - М.: Изд-во стандартов, 1986.
2. Шишкин И.Ф. Основы метрологии, стандартизации и управления качеством / Учебное пособие для вузов по редакцией акад. Н.С.Соломенко. -М.: Изд-во стандартов.
3. Шишкин И.Ф. Лекции по метрологии. -М.: Изд-во «Татьянин день», 1998.
4. Допуски и посадки. Справочник в 2-х частях / Под ред. В.Д. Мягкова - Л.: Машиностроение, 1978.
5. Кирилюк Ю. Е. Допуски и посадки [Текст] : справочник / Ю. Е. Кирилюк, Г. К. Якимчук. - 3-е изд., перераб. и доп. - К. : Основа, 2005. - 296 с
6. Г. К. Якимчук, Ю. Є. Кирилюк, Г. А. Саранча. Взаємозамінність, стандартизація, метрологія та технічні вимірювання[Текст] : Підручник / За ред. Г.К. Якимчука, - К.: «Основа», 2006. -560 с.