МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ЛІНІЙНІ ТА КУТОВІ ВИМІРЮВАННЯ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
спеціальностей 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування,
134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Автори: *Адаменко Ю.І.,* кандидат технічних наук, доцент
Майданюк С.В., кандидат технічних наук
Мініцька Н.В., кандидат технічних наук, доцент
Плівак О.А., інженер

Рецензент *Холявік О.В.*, кандидат технічних наук, доцент, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Відповідальний редактор *Данильченко Ю.М.*, доктор технічних наук, професор

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 6 від 24.06.2022 р.)
за поданням Вченої ради навчально-наукового механіко-машинобудівного інституту
(протокол № 8 від 30.05.2022 р.)

Лінійні та кутові вимірювання: Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування, 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка / Ю. І. Адаменко, С. В. Майданюк, Н. В. Мініцька, О. А. Плівак ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 25,17 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 304 с.

У навчальному посібнику представлені лабораторні роботи з лінійних та кутових вимірювань геометричних параметрів деталей машин. Кожна лабораторна робота містить необхідні теоретичні положення, описи вимірювальних приладів та техніки виконання вимірювань, методики обробки отриманих даних. Посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавр механічних спеціальностей, а саме 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування, 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка. Посібник буде також корисним студентам під час виконання науково-дослідних робіт, а також експериментальних розділів кваліфікаційних робіт бакалаврів і магістрів.

Реєстр. № НП 21/22-661. Обсяг 21,5 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
https://kpi.ua
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© Ю.І. Адаменко, С.В. Майданюк,
Н.В. Мініцька, О.А. Плівак
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП 8

1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЇ 9
1.1 Основні терміни та визначення 10
1.1.1 Метрологія та її розділи 10
1.1.2 Фізичні величини та їх узаконені одиниці вимірювання 10
1.1.3 Вимірювання фізичних величин, види вимірювань 13
1.1.4 Методи вимірювання 15
1.1.5 Засоби вимірювання та їх метрологічні характеристики 16
1.1.6 Похибки вимірювання 18
1.2 Обробка результатів вимірювань 20
1.3 Запис та округлення чисел 22
1.4 Контрольні запитання 23
1.5 Рекомендована література до розділу 1 24

2 ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ 25
2.1 Основні поняття про допуски та посадки гладкий з'єднань 26
2.1.1 Терміни та визначення допусків і посадок для гладких з'єднань 26
2.1.2 Система допусків і посадок ISO 31
2.1.3 Позначення полів допусків і посадок на кресленнях 38
2.2 Калібри для контролю гладких валів та отворів 39
2.3 ***Лабораторна робота № 1.*** Плоскопаралельні кінцеві міри довжини 46
2.3.1 Загальні положення. Призначення, конструкція, точність мір 46
2.3.2 Складання блоку кінцевих мір 51
2.3.3 Порядок виконання роботи 57
2.4 ***Лабораторна робота № 2.*** Вимірювання розмірів поверхонь штангенінструментом 58
2.4.1 Штангенінструмент. Будова та принцип дії 58
2.4.2 Вимірювання поверхонь штангенінструментом 64
2.4.3 Порядок виконання роботи 68
2.5 ***Лабораторна робота № 3.*** Вимірювання розмірів зовнішніх поверхонь мікрометричним інструментом 69
2.5.1 Мікрометр гладкий. Будова та принцип дії 69
2.5.2 Налаштування мікрометра гладкого 70
2.5.3 Вимірювання зовнішніх поверхонь мікрометром 70
2.5.4 Порядок виконання роботи 75
2.6 ***Лабораторна робота № 4.*** Вимірювання розмірів внутрішніх поверхонь індикаторним нутроміром 76
2.6.1 Вимірювальний прилад 76

2.6.2 Налаштування приладу 77
2.6.3 Вимірювання внутрішніх поверхонь нутроміром 79
2.6.4 Порядок виконання роботи 82
2.7 ***Лабораторна робота № 5.*** Контроль гладких циліндричних з'єднань 83
2.7.1 Вимірювальний прилад 83
2.7.2 Налаштування приладу 83
2.7.3 Вимірювання зовнішніх та внутрішніх поверхонь 84
2.7.4 Порядок виконання роботи 85
2.8 ***Лабораторна робота № 6.*** Контроль гладких калібрів 87
2.8.1 Мініметр. Будова та принцип дії 87
2.8.2 Налаштування приладу 88
2.8.3 Вимірювання дійсних розмірів непрохідного та прохідного боків калібра-пробки 89
2.8.4 Порядок виконання роботи 91
2.9 Контрольні запитання 92
2.10 Рекомендована література до розділу 2 94

3 ВИМІРЮВАННЯ МЕТРИЧНОЇ РІЗЬБИ 96
3.1 Профіль різьби, його елементи 97
3.2 Похибки основних елементів різьби 98
3.2.1 Відхилення кроку та його діаметральна компенсація 100
3.2.2 Відхилення кута профілю та його діаметральна компенсація 100
3.3 Система допусків і посадок метричних різьб 103
3.3.1 Квалітети допусків різьби 103
3.3.2 Основні відхилення 106
3.3.3 Класи точності 108
3.4 ***Лабораторна робота № 7.*** Вимірювання середнього діаметра зовнішньої метричної різьби методом трьох дротиків 110
3.4.1 Методика вимірювання середнього діаметра різьби 110
3.4.2 Порядок виконання роботи 113
3.5 ***Лабораторна робота № 8.*** Вимірювання середнього діаметра метричної різьби мікрометром з різьбовими вставками 114
3.5.1 Методика вимірювання середнього діаметра різьби 115
3.5.2 Порядок виконання роботи 116
3.6 ***Лабораторна робота № 9.*** Вимірювання елементів метричної різьби на інструментальному мікроскопі 118
3.6.1 Будова та принцип дії малого інструментального мікроскопа 118
3.6.2 Вимірювання параметрів зовнішньої різьби 122
3.6.3 Порядок виконання роботи 129
3.7 Контрольні запитання 129

3.8 Рекомендована література до розділу 3 130

4 ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ ТА КОНУСІВ 132

4.1 Параметри точності кутів та конусів 133

4.1.1 Кутові розміри 133

4.1.2 Допуски кутів 134

4.1.3 Конус та його елементи 137

4.1.4 Допуски конусів 140

4.1.5 Позначення розмірів, допусків та посадок конусів на кресленнях 145

4.2 ***Лабораторна робота №10.*** Вимірювання кутів за допомогою кутоміра .. 146

4.2.1 Будова та принцип дії кутоміра з ноніусом 146

4.2.2 Вимірювання плоских кутів за допомогою кутоміра з ноніусом 150

4.2.3 Порядок виконання роботи 152

4.3 ***Лабораторна робота №11.*** Вимірювання кута конуса на інструментальному мікроскопі 152

4.3.1 Вимірювання кута конуса 153

4.3.2 Порядок виконання роботи 156

4.4 Контрольні запитання 156

4.5 Рекомендована література до розділу 4 157

5 ВИМІРЮВАННЯ ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ ТА РОЗТАШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ 158

5.1 Параметри точності форми та розташування поверхонь 159

5.1.1 Відхилення та допуски форми поверхонь 161

5.1.2 Відхилення та допуски розташування поверхонь 166

5.1.3 Сумарні відхилення та допуски форми та розташування поверхонь 168

5.1.4 Позначення допусків форми та розташування на кресленнях 171

5.2 ***Лабораторна робота №12.*** Вимірювання відхилень форми циліндричних поверхонь за допомогою оптиметра 175

5.2.1 Будова та принцип дії вертикального оптиметра 176

5.2.2 Вимірювання відхилень форми циліндричних деталей 181

5.2.3 Обробка результатів вимірювань 183

5.2.4 Порядок виконання роботи 184

5.3 ***Лабораторна робота №13.*** Вимірювання відхилень форми циліндричних поверхонь за допомогою кругломіра 185

5.3.1 Методи вимірювання відхилення від круглості та відхилення від циліндричності за допомогою кругломіра 185

5.3.2 Будова та принцип дії кругломіра з уніфікованою вимірювальною системою моделі «Таліронд» 188

5.3.3 Визначення відхилень форми за круглограмами поверхонь 201

5.3.4 Порядок виконання роботи 204

5.4 ***Лабораторна робота №14.*** Вимірювання відхилень розташування отворів на координатно-вимірювальній машині 205
5.4.1 Допуски розташування осей отворів кріпильних деталей 205
5.4.2 Будова та принцип дії координатно-вимірювальної машини 211
5.4.3 Принцип вимірювання на координатно-вимірювальній машині 217
5.4.4 Визначення відхилень розташування отворів 220
5.4.5 Порядок виконання роботи 223
5.5 ***Лабораторна робота №15.*** Вимірювання радіального, повного радіального, торцевого та повного торцевого биття 224
5.5.1 Будова та принцип дії вимірювальної системи з індуктивним перетворювачем 224
5.5.2 Вимірювання сумарних відхилень форми та розташування циліндричних поверхонь 226
5.5.3 Обробка результатів вимірювань 227
5.5.4 Порядок виконання роботи 228
5.6 Контрольні запитання 229
5.7 Рекомендована література до розділу 5 230

6 ВИМІРЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ 231
6.1 Параметри шорсткості поверхні 232
6.1.1 Геометричні параметри шорсткості поверхні 233
6.1.2 Параметри висоти нерівностей профілю 234
6.1.3 Параметри кроку нерівностей профілю 236
6.1.4 Параметри форми нерівностей профілю 237
6.1.5 Позначення шорсткості поверхні на кресленнях 238
6.2 Методи контролю шорсткості поверхні 242
6.3 ***Лабораторна робота № 16.*** Контроль шорсткості поверхні візуальними методом та за допомогою профілометра 244
6.3.1 Зразки шорсткості поверхні 244
6.3.2 Контроль шорсткості поверхні порівнянням зі зразками шорсткості 246
6.3.3 Принцип дії та будова мобільного профілометра MarSurf PS1 247
6.3.4 Контроль шорсткості поверхні профілометром MarSurf PS1 252
6.3.5 Порядок виконання роботи 253
6.4 ***Лабораторна робота № 17.*** Визначення параметрів шорсткості поверхні за профілограмою 253
6.4.1 Будова та принцип дії профілометра 254
6.4.2 Вимірювання шорсткості поверхні профілометром 257
6.4.3 Визначення параметрів шорсткості за профілограмою 257
6.4.4 Порядок виконання роботи 267
6.5 Контрольні запитання 269

6.6 Рекомендована література до розділу 6 270

7 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС 271

7.1 Параметри точності зубчастих коліс та передач 272

7.1.1 Вибір показників чи комплексів точності 274

7.1.2 Кінематична точність передачі 276

7.2 ***Лабораторна робота № 18***. Вимірювання коливання довжини спільної нормалі за допомогою нормалеміра 278

7.2.1 Визначення коливання довжини спільної нормалі 279

7.2.2 Будова та принцип дії нормалеміра 280

7.2.3 Вимірювання довжини спільної нормалі зубчастого колеса 282

7.2.4 Порядок виконання роботи 283

7.3 ***Лабораторна робота № 19***. Вимірювання радіального биття зубчастого вінця за допомогою биттєміра 284

7.3.1 Схема вимірювання радіального биття зубчастого вінця 284

7.3.2 Будова та принцип дії биттєміра 285

7.3.3 Вимірювання за допомогою биттєміра 288

7.3.4 Порядок виконання роботи 288

7.4 ***Лабораторна робота № 20***. Вимірювання товщини зуба по постійній хорді за допомогою штангензубоміра 289

7.4.1 Бічний зазор у передачі 290

7.4.2 Будова штангензубоміра 297

7.4.3 Вимірювання товщини зуба за допомогою штангензубоміра 298

7.4.4 Порядок виконання роботи 301

7.5 Контрольні запитання 302

7.6 Рекомендована література до розділу 7 303

ВСТУП

Підвищення технічного рівня і якості промислової продукції машинобудування тісно пов’язані з підвищенням рівня технічних вимірювань. Під час виготовлення, експлуатації та ремонту виробів машинобудування доводиться виконувати великий обсяг лінійних та кутових вимірювань.

У посібнику викладені основи лінійних та кутових вимірювань деталей машин та метрологічного забезпечення єдності вимірювань.

Навчальний посібник «Лінійні та кутові вимірювання: Лабораторний практикум» ставить за мету прищепити студентам навички дослідницької роботи, ознайомити з методами та технікою вимірювань, навчити користуватися вимірювальними приладами та апаратурою, обробляти отримані дані, використовуючи необхідні методики обробки результатів вимірювань та вірно робити висновки стосовно їх придатності за параметрами геометричної точності.

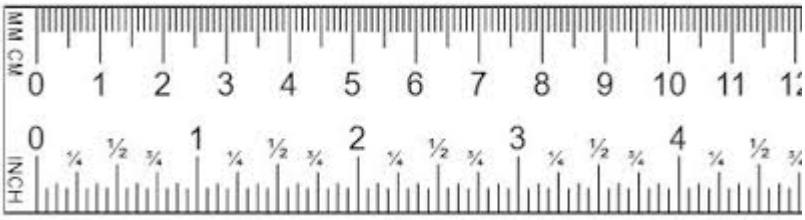
Лабораторні роботи згруповано в розділи, в яких наведено теоретичний матеріал стосовно основних понять, термінів і положень, необхідних для розуміння суті робіт даного розділу.

Інструкції до кожної лабораторної роботи містять опис будови та принципу дії вимірювальних приладів, методику виконання вимірювань, методики обробки результатів вимірювань при визначенні характеристик вимірюваних деталей, порядок дій студента під час виконання лабораторних робіт. Посібник не має на меті розглянути усі можливі методи та прилади для вимірювання параметрів деталі. Перевага надається методикам та методам, які широко використовують у виробничих умовах та формують у студентів розуміння суті виконання технічних вимірювань.

В кінці кожного розділу наведено контрольні питання до теоретичної частини розділу і до кожної лабораторної роботи для самостійної перевірки рівня підготовки студентів до роботи та список літератури, в якому викладено матеріал, необхідний для додаткового розуміння суті роботи, методів та методик, що використовуються у лабораторній роботі.

Посібник викладений мовою технічних стандартів, використовує терміни та визначення, рекомендовані Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO), державними стандартами України та інженерною практикою в Україні.

РОЗДІЛ 1
ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЇ



1.1 Основні терміни та визначення

В Україні для забезпечення єдності вимірювання діє система стандартів з метрології. Єдність вимірювань полягає у створенні такого стану вимірювань, за якого результати виражають в узаконених одиницях, а похибки вимірювань відомі та із заданою ймовірністю не виходять за встановлені межі. Основні терміни та визначення з метрології наведено в ДСТУ 2681, а також в інших нормативних документах. Ці терміни та визначення мають переважне застосування у документації всіх видів, підручниках, навчальних посібниках та в практичній діяльності.

1.1.1 Метрологія та її розділи

Метрологія – це наука про вимірювання, яка складається із трьох розділів:

- метрологія теоретична
- метрологія законодавчої
- метрологія практична.

Теоретична метрологія

частина метрології, предметом якої є розробка фундаментальних основ метрології.

Законодавча метрологія

частина метрології, що містить законодавчі акти, правила, вимоги та норми, які регламентуються і контролюються державою для забезпечення єдності вимірювання.

Практична (прикладна) метрологія

частина метрології, предметом якої є питання практичного застосування розробок теоретичної метрології і положень законодавчої метрології.

1.1.2 Фізичні величини та їх узаконені одиниці вимірювання

Фізична величина

властивість, спільна в якісному відношенні у багатьох матеріальних об'єктів та індивідуальна в кількісному відношенні у кожного з них.

Рід фізичної величини

якісна означеність фізичної величини.
Приклад. Довжина і діаметр деталі – однорідні величини.
Довжина і маса деталі – неоднорідні величини.

Розмір фізичної величини

кількісний вміст фізичної величини в даному об’єкті.

Значення фізичної величини

відображення фізичної величини у вигляді числового значення величини з позначенням її одиниці.

Числове значення фізичної величини

число, що дорівнює відношенню розміру фізичної величини, що вимірюється, до розміру одиниці цієї фізичної величини, чи кратної (часткової) одиниці.

Істинне значення фізичної величини

значення фізичної величини, яке ідеально відображало б певну властивість об'єкта.

Умовно істинне (дійсне) значення фізичної величини

значення фізичної величини, знайдене експериментальним шляхом і настільки наближене до істинною значення, що його можна використати замість істинного для даної мети.

Узаконені одиниці вимірювання *SI*

В Україні прийнята міжнародна система одиниць *SI*, яка була прийнята Генеральною конференцією мір і ваг. Система *SI* встановлює:

- основні одиниці вимірювання;
- похідні одиниці вимірювання;
- десяткові кратні та часткові одиниці *SI*;
- інші одиниці.

Крім того система допускає функціонування нестандартних одиниць, які з часом мають бути замінені стандартними. Системою *SI* встановлено сім основних одиниць (табл. 1.1)

Таблиця 1.1

Основні одинці системи *SI* (ДСТУ OIML D 2:2007)

Одиниця	Назва	Познака українською	Познака міжнародна
довжина	метр	м	m
маса	кілограм	кг	kg
час	секунда	с	s
сила електричного струму	ампер	А	A
термодинамічна температура	кельвін	К	K
кількість речовини	моль	моль	mol
сила світла	кандела	кд	cd

Для вимірювання геометричної точності деталей машин використовують лінійні та кутові одиниці. Основною одиницею довжини в системи *SI* є метр, а також його кратні та часткові одиниці.

Одиниці довжини

Метр, м

довжина шляху, який проходити світло у вакуумі за 1/299 792 458 частину секунди (17-а ГКМВ, 1983 р.).

Кратна одиниця

одиниця фізичної величини, яка в ціле число разів більша за одиницю, від якої вона утворюється.

Часткова одиниця

> одиниця фізичної величини, яка в ціле число разів менша за одиницю, від якої вона утворюється.

Десяткові та кратні одиниці довжини метра наведено у табл. 1.2

Таблиця 1.2

Кратні та десяткові одиниці метра

Десяткові коефіцієнти	Префікс	Назва	Познака
1	-	метр	м
$0,1 = 10^{-1}$	деци	дециметр	дм
$0,01 = 10^{-2}$	санти	сантиметр	см
$0,001 = 10^{-3}$	мілі	міліметр	мм
$0,000001 = 10^{-6}$	мікро	мікрометр	мкм
$0,000000001 = 10^{-9}$	нано	нанометр	нм
$1000 = 10^{3}$	кіло	кілометр	км

У машинобудуванні розміри на кресленнях задають у міліметрах, а допуски в стандартах для зручності наведено в міліметрах або мікрометрах. Під час проектування, виготовлення та контролю деталей машин доводиться часто використовувати співвідношення між величинами:

1 м = 1000 мм

1 мм = 1000 мкм

1 мкм = 0,001 мм

Одиниці площинного кута

Радіан, рад.

> площинний кут між двома радіусами кола, який вирізає із кола дугу, що дорівнює довжині радіуса.

Радіанною мірою зручно користуватися під час розрахунків, але незручно під час вимірювання кутів. Тому під час вимірювань використовують інші одиниці – градуси, мінути, секунди.

Інші одиниці за ДСТУ OIML D 2:2007 – це одиниці, які продовжують застосовувати з практичних причин, хоча їх не охоплено Міжнародною системою одиниць *SI*. Співвідношення між величинами кутів наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Одиниці площинного кута

Одиниця вимірювання кута	Співвідношення з іншими одиницями
градус	$1^\circ = (\pi/180)$ рад $= 60' = 3600''$
мінута	$1' = (1/60)^\circ = (\pi/108000)$ рад
секунда	$1'' = (1/60)' = (\pi/648000)$ рад

1.1.3 Вимірювання фізичних величин, види вимірювань

Вимірювання

відображення вимірюваних величин їх значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів.

Вимірювана величина

фізична величина чи параметри її залежності, що підлягають вимірюванню.

Принцип вимірювання

явище матеріального світу, покладене в основу вимірювання.
Приклад. Використання гравітаційного притягання під час вимірювання маси зважуванням.

Види вимірювань можна класифікувати за рядом ознак (рис. 1.1).

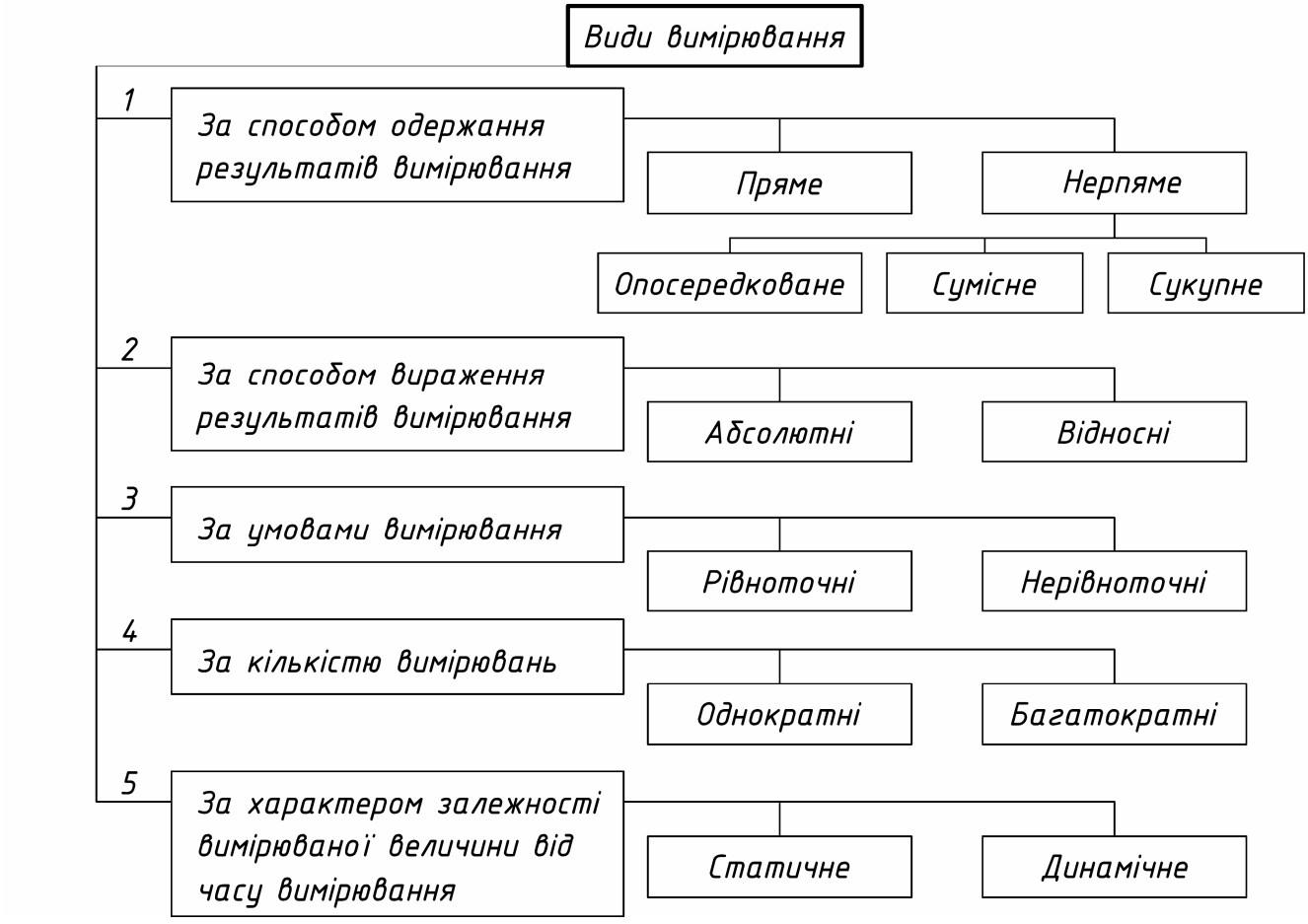


Рис. 1.1 – Класифікація видів вимірювань

Пряме вимірювання

вимірювання однієї величини, значення якої знаходять безпосередньо без перетворення її роду та використання відомих залежностей.
Приклад. Вимірювання довжини лінійкою. Значення величини, що вимірюється, зчитують безпосередньо з відлікового пристрою засобу вимірювань.

Непряме вимірювання

вимірювання у якому значення однієї чи декількох вимірюваних величин знаходять після перетворення роду величини чи обчислення за відомими залежностями.

Опосередковане вимірювання

непряме вимірювання однієї величини з перетворенням її роду чи обчисленням за результатами вимірювань інших величин, з якими вимірювана величина пов'язана явною функціональною залежністю.
Приклад. Визначення кутів трикутника через вимірювання його сторін.

Сукупне вимірювання

непряме вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних однорідних величин отримують розв’язанням рівнянь, що пов’язують різні сполучення цих величин, які вимірюються прямо чи опосередковано.
Приклад. Вимірювання, при яких маси окремих гирь набору знаходять за відомою масою однієї з них і за результатами прямого порівняння мас різних комбінацій гирь.

Сумісне вимірювання

непряме вимірювання, в якому значення декількох одночасно вимірюваних різнорідних величин отримують розв’язанням рівнянь, які пов’язують їх з іншими величинами, що вимірюються прямо чи опосередковано.
Приклад. Вимірювання залежності довжини тіла від температури. Метою сумісних вимірювань є знаходження функціональної залежності між величинами.

Абсолютне вимірювання

вимірювання основане на прямих вимірюваннях і (або) використанні значень фізичних констант.

Відносне вимірювання

вимірювання відношення величини до іншої однорідної величини.
Приклад. Вимірювання діаметра деталі, що обертається, за числом обертів каліброваного ролика, який дотикається до деталі.

Однократне вимірювання

вимірювання, яке виконується один раз.

Багатократне вимірювання

вимірювання однієї і тієї ж величини, що складається з ряду однократних вимірювань.

Рівноточні вимірювання

ряд вимірювань якої-небуть величини, виконаних однаковими за точністю засобами вимірювання в одних і тих же умовах.

Нерівноточні вимірювання

ряд вимірювань якої-небуть величини, виконаних різними за точністю засобами вимірювання і (або) в різних умовах.

Статичне вимірювання

вимірювання величини, яку можна вважати незмінною за час вимірювання.

Приклад. Вимірювання розмірів деталей мікрометром, штангенциркулем тощо.

Динамічне вимірювання

вимірювання величини, що змінюється за час вимірювання.

Приклад. Вимірювання температури нагріву інструмента, вібрацій, сил різання.

1.1.4 Методи вимірювання

Метод вимірювання

сукупність способів використання засобів вимірювальної техніки та принципу вимірювань для створення вимірювальної інформації.

Методика виконання вимірювання

сукупність процедур і правил, виконання яких забезпечує одержання результатів вимірювання з потрібною точністю.

Методи вимірювань можна класифікувати за рядом ознак (рис. 1.2).

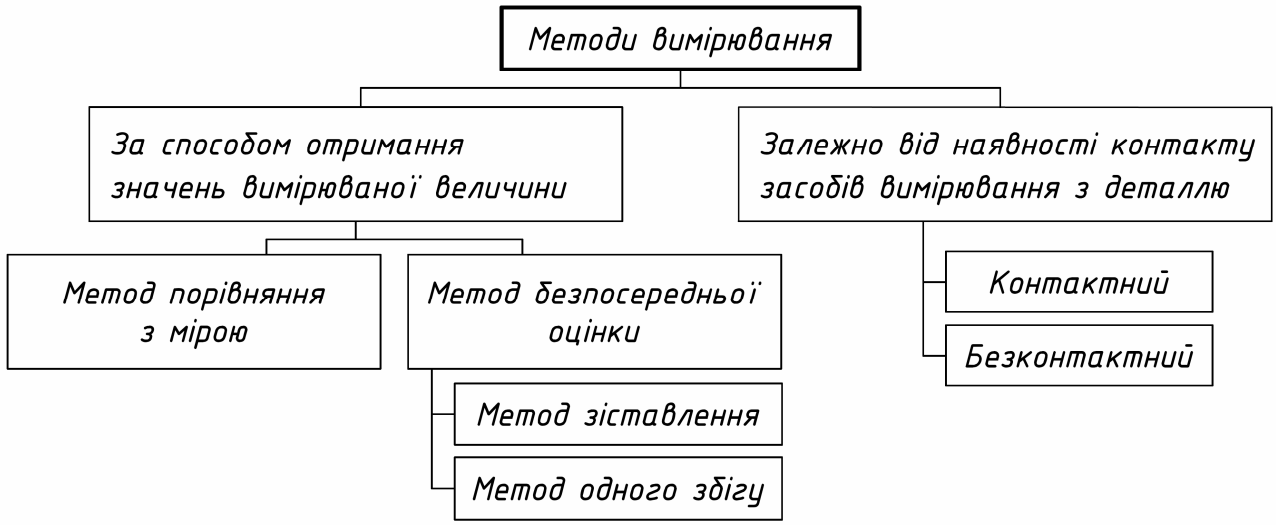


Рис. 1.2 – Класифікація методів вимірювань

Метод безпосередньої оцінки

метод вимірювання, за якого значення величини визначають безпосередньо за відліковим пристроєм вимірювального приладу прямої дії.

Приклад. Вимірювання розмірів деталі мікрометром, кутоміром або вимірювання температури рідинним термометром.

Метод порівняння з мірою

вимірювану величину порівнюють з величиною, відтвореною мірою. Приклад. Нутромір встановлюють на нуль за блоком кінцевих мір довжини, а результати отримують за відхиленням стрілки індикатора від нуля, тобто вимірювана величина порівнюється з розміром блока кінцевих мір.

Метод зіставлення

метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вимірюваної величини з усіма вихідними величинами багатозначної нерегульованої міри.
Приклад. Вимірювання довжини лінійкою з поділками, вимірювання інтервалу часу годинником.

Метод одного збігу (метод ноніуса)

метод прямого вимірювання з одноразовим порівнянням вихідних величин двох багатозначних нерегульованих мір, з різними за значенням ступенями, нульові позначки яких зсунуті між собою на вимірювану величину.
Приклад. Вимірювання діаметра деталі штангенінструментом.

Контактний метод

метод вимірювань, оснований на тому, що чутливий елемент приладу приводиться у контакт з об'єктом вимірювання.
Приклад. Вимірювання штангенінструментом, мікрометром тощо.

Безконтактний метод

метод вимірювань, оснований на тому, що чутливий елемент приладу не приводиться у контакт з об'єктом вимірювання.
Приклад. Вимірювання оптичними, акустичними, лазерними приладами.

1.1.5 Засоби вимірювання та їх метрологічні характеристики

Засіб вимірювальної техніки

технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики.

Міра величини

вимірювальний пристрій, що реалізує відтворення та (або) збереження фізичної величини заданого значення.
Приклад. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини, кутові міри.

Вимірювальний прилад

засіб вимірювань, в якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації.

Аналоговий вимірювальний прилад

вимірювальний прилад, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається за допомогою шкали та вказівника.

Цифровий вимірювальний прилад

вимірювальний прилад, в якому візуальний сигнал вимірювальної інформації подається у вигляді цифр чи символів на показувальному пристрої.

Метрологічні характеристики

характеристики засобів вимірювальної техніки, які нормуються для визначення результату вимірювання та його похибок.

Деякі основні характеристики вимірювальних приладів наведено на рис. 1.3.

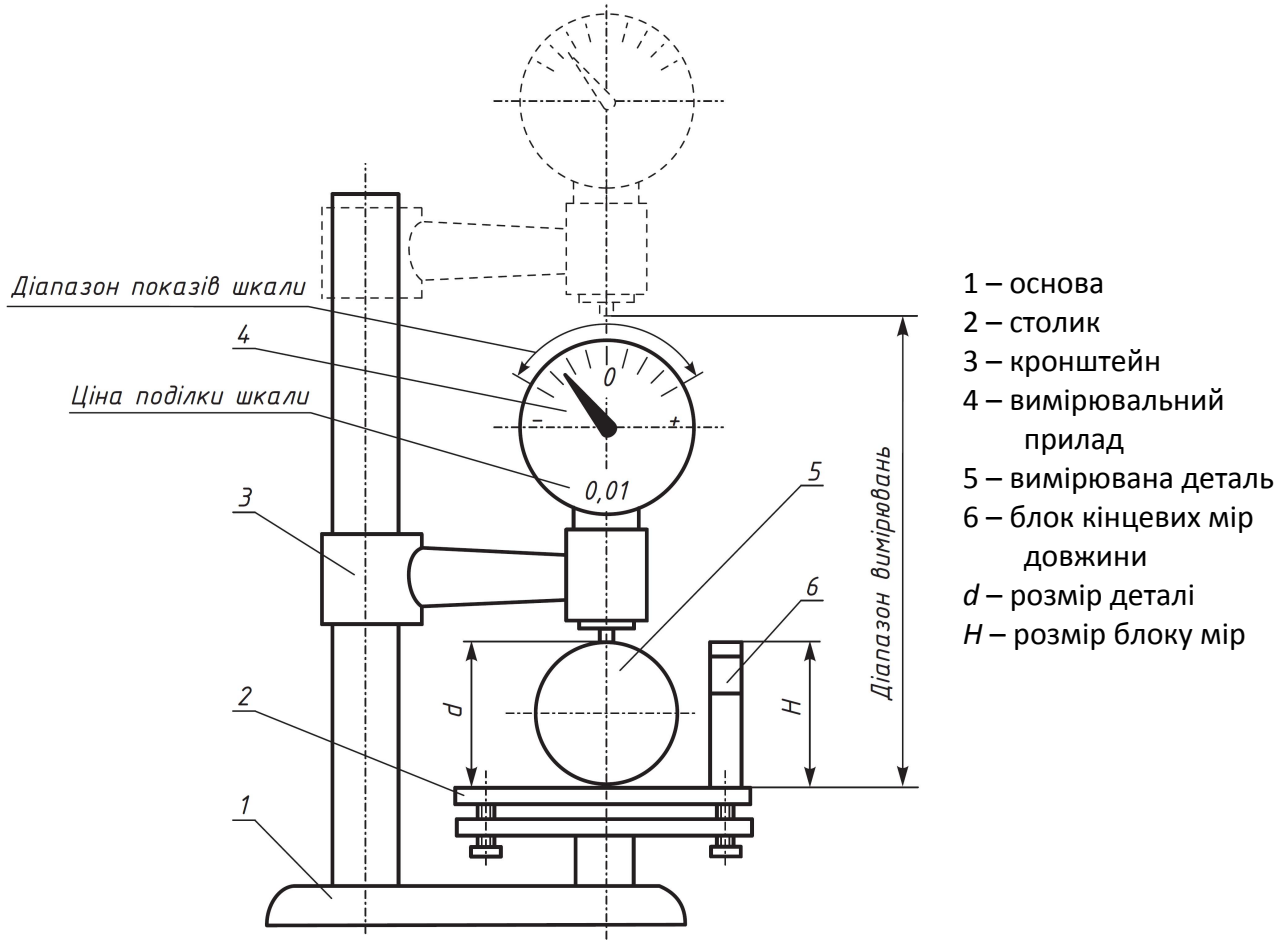


Рис. 1.3 – Метрологічні характеристики засобів вимірювання

Шкала аналогового вимірювального приладу

частина показувального пристрою у вигляді впорядкованої сукупності позначок разом із пов’язаною з нею певною послідовністю чисел.

Позначка шкали

риска або інший знак на шкалі, що відповідає одному або декільком значенням вимірюваної величини.

Поділка шкали

частина шкали між двома сусідніми позначками шкали.

Ціна поділки шкали аналогового вимірювального приладу

Різниця значень вимірюваної величини, що відповідає двом сусіднім позначкам шкали.

Діапазон вимірювань

інтервал значень вимірюваної величини, в межах якого пронормовані похибки засобу вимірювань.

Діапазон показів засобу вимірювань

інтервал значень вимірюваної величини, який обмежений початковим та кінцевим її значеннями.

Початковим значенням вимірюваної величини називають найменше в діапазоні показів її значення, а кінцевим – її найбільше значення.

Чутливість вимірювального перетворювача (приладу)

відношення зміни вихідної величини вимірювального перетворювача до зміни вхідної величини, що її викликає.

1.1.6 Похибки вимірювання

Незалежно від точності приладу, кваліфікації оператора, методики та умов проведення вимірювального експерименту уникнути похибок неможливо. Похибки вимірювання можна класифікувати за рядом ознак (рис. 1.4).

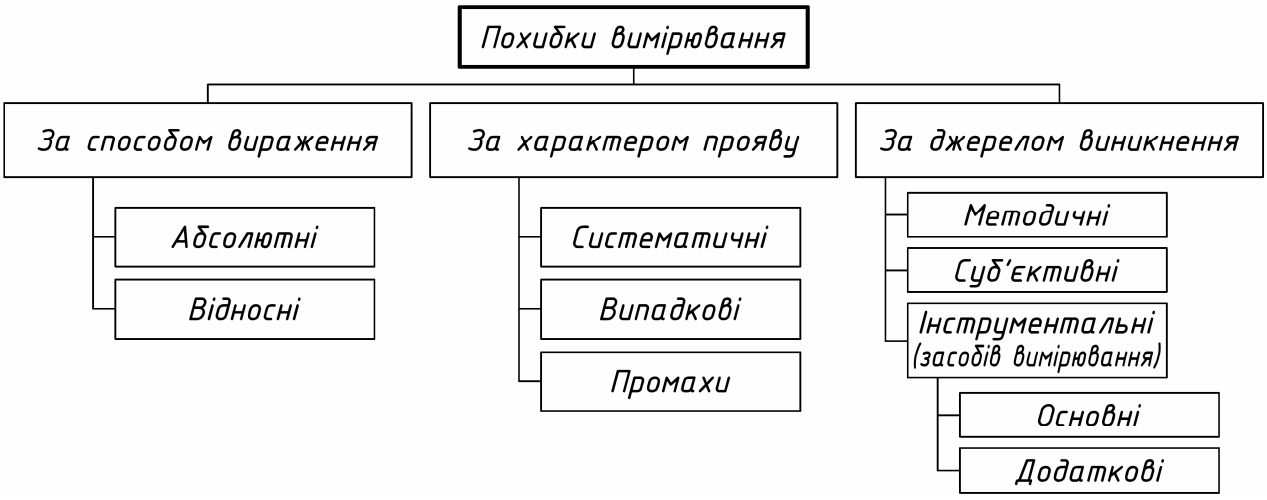


Рис. 1.4 – Класифікація похибок вимірювань

Абсолютна похибка вимірювання

різниця між результатом вимірювання та умовно істинним значенням вимірюваної величини.

Відносна похибка вимірювання

відношення абсолютної похибки вимірювання до умовно істинного (дійсного) значення вимірюваної величини.

Систематична похибка вимірювання

складова похибки, що залишається сталою або прогнозовано змінюється у ряді вимірювань тієї ж величини.

Випадкова похибка вимірювання

складова похибки, що не прогнозовано змінюється в ряді вимірювань тієї ж величини.

Надмірна похибка вимірювання

похибка вимірювання, що суттєво перевищує очікувану (в даних умовах) похибку.

Промах

результат вимірювання, що має надмірну похибку.

Методична похибка

складова похибки вимірювання, що зумовлена неадекватністю об'єкта вимірювання та його моделі, прийнятої при вимірюванні.

Суб'єктивна похибка вимірювання

частина похибки вимірювання, що залежить від оператора. Розрізняють похибки присутності, відліку, дії та професійні.
Похибка присутності полягає у вигляді впливу теплового випромінювання оператора на температуру оточуючого середовища.
Похибка відліку відображає похибки відліку показів приладу.
Похибка дії – це похибки оператора під час налаштування приладу, притирання кінцевих мір, переміщення деталі відносно приладу тощо.
Професійні похибки відображають кваліфікацію оператора.

Невизначеність вимірювань

оцінка, що характеризує діапазон значень, в якому є істинне значення вимірюваної величини.
Невизначеність вимірювань має звичайно декілька складових. Деякі з них можуть бути оцінені на основі статистичного розподілу результатів вимірювань, а характеристики інших складових можуть визначатись іншими методами, відмінними від статистичних.

Похибки засобів вимірювання

Точність засобу вимірювань

характеристика засобу вимірювань, яка визначає близькість його показів до істинного значення вимірюваної величини.

Впливна величина

фізична величина, що впливає на результат вимірювання, але не є вимірюваною величиною.
Приклад. Температура, тиск, відносна вологість оточуючого середовища, магнітне поле тощо.

Нормальні умови застосування засобів вимірювальної техніки

умови, за яких впливні величини мають нормальні значення чи знаходяться в границях нормального інтервалу значень.

Інструментальна похибка

складова похибки вимірювання, зумовлена властивостями засобів вимірювальної техніки.

Основна похибка засобу вимірювань

похибка засобу вимірювальної техніки за нормальних умов його використання.

Додаткова похибка засобу вимірювань

похибка засобу вимірювальної техніки, яка додатково виникає під час вимірювань в умовах відхилення хоча б однієї з впливових величин від нормального значення або її виходу за границі зони значень.

Границя допустимої похибки засобу вимірювань

найбільше значення без урахування знаку, похибки засобу вимірювань, за яким цей засіб ще може бути визнаний придатним для застосування.

Клас точності засобу вимірювань

узагальнена характеристика засобу вимірювальної техніки, що визначається границями його допустимих похибок, а також іншими характеристиками. що впливають на його точність, значення яких регламентується.

1.2 Обробка результатів вимірювань

Обробку результатів вимірювань ведуть на базі поняття невизначеності вимірювання або на базі поняття похибок. Невизначеність вимірювання – це параметр, що відноситься до результату вимірювання і характеризує розкид значень, які могли б бути обґрунтовано приписані вимірюваній величині.

Узагальнена методика розрахунку **невизначеності вимірювань** включає наступні основні етапи:

- Оцінювання невизначеності за типом А. Оцінювання відбувається статистичними методами. Для прямого вимірювання результат визначають як середнє арифметичне отриманих значень, а для опосередкованого вимірювання – для кожної вхідної величини окремо.
- Оцінювання невизначеності за типом В. Відбувається за методами, відмінними від статистичних. Складається перелік впливних величин, записуються рівняння залежності вимірюваної величини від вхідних величин, відомі систематичні похибки, коефіцієнти, константи, додаткові похибки тощо. Невизначеності усіх вхідних величин оцінюють інтервалами і перетворюють їх у середньоквадратичне відхилення.
- Визначення стандартної невизначеності. Визначення невизначеності, вираженої як стандартне відхилення, пов’язане з однією складовою невизначеності.
- Визначення сумарної стандартної невизначеності. Визначення стандартного відхилення, пов’язаного з результатом певного вимірювання або серії вимірювань та враховує одну і більше складових невизначеності.

- Визначення розширеної невизначеності. Визначається як стандартна невизначеність, помножена на коефіцієнт охоплення.
- Представлення результатів розрахунку.

Під час вимірювання лінійних та кутових величин деталей машин застосовують різні види вимірювань: прямі (однократні та багатократні, рівноточні та нерівноточні), а також непрямі вимірювання. Методики обробки результатів вимірювань наведено в нормативних документах, а також у підручнику [1].

Методика розрахунку **похибок вимірювань** для прямих багатократних вимірювань включає наступні основні етапи:

- виключення з результатів вимірювань відомих систематичних похибок;
- розрахунок середнього арифметичного виправлених результатів вимірювання;
- оцінка середнього квадратичного відхилення результату вимірювання;
- розрахунок оцінки середнього квадратичного відхилення середнього арифметичного значення;
- перевірка гіпотези про приналежність результатів вимірювань нормальному закону розподілення;
- обчислення довірчих границь випадкової похибки результату вимірювань;
- обчислення довірчих границь невиключеної систематичної похибки результату вимірювань;
- обчислення довірчих границь похибки результату вимірювань;
- представлення результату вимірювання у вигляді $A = \bar{x} \pm \Delta, P$, де $\bar{x}$ - середнє арифметичне значення вимірюваної величини; Δ - довірчі границі похибки результату вимірювань; P - довірча ймовірність.

Прямі однократні вимірювання

Переважна більшість засобів вимірювання призначена для однократних вимірювань. Перевагою однократних вимірювань є простота, висока продуктивність та економічність. Проте під час однократних вимірювань неможливо окремо виділити систематичні та випадкові похибки.

Однократні вимірювання можливі за наступних умов [2]:

- обсяг апріорної інформації про об'єкт вимірювань такий, що одноразові вимірювання не викликають сумнівів;
- метод вимірювання вивчений, його похибки або заздалегідь усунуті, або оцінені;
- метрологічні характеристики засобу вимірювання відповідають встановленим нормам.

При одноразових вимірюваннях можливе утворення інструментальної, методичної та суб'єктивної похибок. Якщо останні дві похибки не перевищують 15% похибки за-

собу вимірювання, тоді приймають, що похибка вимірювання дорівнює похибці засобу вимірювання.

Результат вимірювання записують у формі

$$A = \bar{x} \pm \Delta_{ЗВ}, P \qquad (1.1)$$

де $\bar{x}$ - середнє арифметичне значення вимірюваної величини;
$\Delta_{ЗВ}$ - основна похибка засобу вимірювання;
P - довірча ймовірність, як правило $P = 0,95$

Якщо вимірювання відбуваються в умовах, які відрізняються від нормальних, тоді необхідно враховувати додаткові похибки, спричинені зовнішніми умовами.

1.3 Запис та округлення чисел

Правила запису чисел

1. Під час запису наближених чисел їх варто розрізняти за кількістю значущих цифр.

Приклад. Варто розрізняти числа 3,6 та 3,60.

- число 3,6 означає, що правильними є лише цифри цілих і десятих; істинне значення числа може бути 3,55 і 3,64.
- число 3,60 означає, що вірними є цілі, десяті та соті долі числа; істинне значення числа може бути 3,595 і 3,604, але не 3,551 і не 3,649

2. Число, для якого вказують границю похибки, повинно мати останню значущу цифру того ж розряду, що й остання значуща цифра відхилення. Але це правило не поширюється на запис номінальних значень величин і граничних відхилень до них.

Приклад. Записати виміряні значення з відповідними похибками

Правильно	Неправильно
18,0±0,2	18±0,2
15,16±0,17	15,16±0,2
85,70±0,12	85,7±0,12

3. Числові значення величини і похибки (відхилення) записують в одних і тих же одиницях фізичних величин

Приклад. Записати розмір

Правильно	Неправильно
(24,035±0,002) мм	24,035 мм ±2 мкм

4. Кількість знаків після коми чисел у таблицях, як правило, має бути однаковою

Приклад. Записати покази мікрометра під час вимірювання вала

Правильно	Неправильно
18,49; 18,50; 18,51	18,49; 18,5; 18,51

5. Число цифр в проміжних обчисленнях під час ручної обробки результатів вимірювань повинно бути на дві більше, ніж в остаточному результаті.

Правила округлення чисел

1. Округлення числа полягає у відкиданні значущих цифр справа до певного розряду з можливою зміною цифри цього розряду.

Приклад. Округлення числа 143,48 до чотирьох значущих цифр буде 143,5.

2. У разі, коли перша з цифр, що відкидається, (рахуючи зліва направо) менша 5, то остання цифра, що зберігається, не змінюється

Приклад. Округлення числа 25,13 до трьох значущих цифр буде 25,1.

3. У разі, коли перша з цифр, що відкидається, (рахуючи зліва направо) дорівнює 5 або більша 5, то остання цифра, що зберігається, збільшується на одиницю.

Приклад. Округлення числа 0,145 до двох значущих цифр дає 0,15.
Округлення числа 0,156 до двох значущих цифр дає 0,16.

4. У тих випадках, коли треба враховувати результати попередніх округлень, притримуються наступних правил:

- якщо цифра, що відкидається, вийшла в результаті попереднього округлення в більший бік, то остання цифра зберігається.

Приклад. Округлення до однієї значущої цифри числа 0,15 (отриманого після округлення числа 0,149) дає 0,1;

- якщо цифра, що відкидається, вийшла в результаті попереднього округлення в менший бік, то остання цифра, що залишилася, збільшується на одиницю (з переходом при необхідності в наступні розряди).

Приклад. Округлення числа 0,25 (отриманого в результаті попереднього округлення числа 0,252) дає 0,3.

5. Округлення слід виконувати відразу до бажаної кількості значущих цифр, а не по етапах.

Приклад. Округлення числа 124,46 до трьох значущих цифр проводиться безпосередньо і дає число 124. Округлення по етапах числа 124,46 призвело б: на першому етапі до 124,5, а на другому етапі – до 125 (помилково).

1.4 Контрольні запитання

1. Що вивчає наука метрологія та з яких розділів вона складається?
2. У чому полягає різниця між істинним та умовно істинним значенням фізичної величини?
3. Які одиниці є основними в системі *SI*?
4 В яких одиницях задають лінійні та кутові розміри на машинобудівних кресленнях,

а також допуски в стандартах?

5. Які співвідношення існують між метром, сантиметром, міліметром, мікрометром?
6. Які співвідношення існують між одиницями вимірювання кутів: радіан, градус, мінута, секунда?
7. Як класифікують види вимірювань фізичних величин?
8. Як класифікують методи вимірювань фізичних величин?
9. Які метрологічні характеристики встановлено для засобів вимірювання?
10. Що таке похибка вимірювання, як класифікують похибки?
11. Що таке невизначеність вимірювання?
12. Які правила встановлено для запису та округлення результатів вимірювання?

1.5 Рекомендована література до розділу 1

1. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебник для вузов/ Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. −2-е изд., доп. − М.: Высшая школа, 2006. – С. 78-106
2. ДСТУ 2681 Метрологія. Терміни та визначення
3. ДСТУ OIML D 2 Метрологія. Узаконені одиниці фізичних величин
4. ДСТУ ISO/IEC Guide 98-3 (ISO/IEC Guide 98-3, IDT) Невизначеність вимірювань. Частина 3. Настанова щодо подання невизначеності у вимірюванні

РОЗДІЛ 2
ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ

2.1. Основні поняття про допуски та посадки гладкий з'єднань.

2.1.1. Терміни та визначення допусків і посадок для гладких з'єднань.

Основні терміни та визначення допусків і посадок для гладких елементів деталей встановлені у ДСТУ ISO 286-1 та ДСТУ 2500. Поверхні, за якими безпосередньо з'єднуються деталі, називаються спряженими, а сукупність цих поверхонь називається з'єднанням. Одна з поверхонь є та, що охоплює (отвір), а інша – та, яку охоплюють (вал) [1].

Вал

термін, що умовно застосовується для позначення зовнішніх елементів деталей, включаючи і нециліндричні елементи.

Отвір

термін, що умовно застосовується для позначення внутрішніх елементів деталей, включаючи і нециліндричні елементи.

Умовні позначення, які застосовуються для валів записуються малими латинськими літерами, а для отворів - великими.

Спряжені поверхні характеризуються розмірами.

Розмір

числове значення лінійної величини (діаметра, довжини тощо) у вибраних одиницях вимірювання.

Номінальний розмір *(D, d)*

розмір, відносно якого визначаються відхилення.

Дійсний розмір

розмір елемента, встановлений вимірюванням з допустимою похибкою.

Граничні розміри

два гранично допустимих розміри елемента, між якими повинен знаходитись (або яким може дорівнювати) дійсний розмір.

Найбільший граничний розмір *(D_{max}, d_{max})*

найбільший допустимий розмір елемента.

Найменший граничний розмір *(D_{min} , d_{min})*

найменший допустимий розмір елемента.

Умовою придатності деталі є: дійсний розмір придатної деталі повинен знаходитись між двома граничними розмірами елемента або може дорівнювати їм.

Відхилення

алгебраїчна різниця між розміром (дійсним або граничним) і відповідно номінальним розміром.

Відхилення може бути додатнім, від'ємним або рівним нулю. Відхилення бувають дійсні та граничні.

Дійсне відхилення

алгебраїчна різниця між дійсним і відповідним номінальним розміром

Граничне відхилення

алгебраїчна різниця між граничним і відповідним номінальним розміром.

Існує два граничних відхилення: верхнє *ES* (для отвору), *es* (для валу) і нижнє *EI* (для отвору), *ei* (для валу).

Верхнє відхилення *ES, es*

алгебраїчна різниця між найбільшим граничним і відповідним номінальним розмірами:

для отвору

$$ES = D_{\max} - D \tag{2.1}$$

для вала

$$es = d_{\max} - d \tag{2.2}$$

Нижнє відхилення *EI, ei*

алгебраїчна різниця між найменшим граничним і відповідним номінальним розмірами:

для отвору

$$EI = D_{\min} - D \tag{2.3}$$

для вала

$$ei = d_{\min} - d \tag{2.4}$$

Допуск *T*

різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами або алгебраїчна різниця між верхнім і нижнім відхиленням.

для отвору

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI \tag{2.5}$$

для вала

$$T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei \tag{2.6}$$

Стандартний допуск *IT*

будь-який з допусків, що встановлюється системою допусків та посадок.

Надалі під терміном «допуск» розуміється «стандартний допуск». Графічно допу-

ски зображуються у вигляді полів допусків (рис 2.1).

Поле допуску

поле, обмежене найбільшим і найменшим граничними розмірами, яке визначається величиною допуску і його положенням відносно номінального розміру.

Нульова лінія

лінія, що відповідає номінальному розміру, від якої відкладаються відхилення розмірів в разі графічного зображення полів допусків та посадок.

Якщо нульова лінія розташована горизонтально, то додатні відхилення відкладаються вверх від неї, а від'ємні – вниз рис.2.1.

Основне відхилення

одне з двох граничних відхилень (верхнє або нижнє), що визначає положення поля допуску відносно нульової лінії.

В системі допусків і посадок ISO – це відхилення, найближче до нульової лінії.

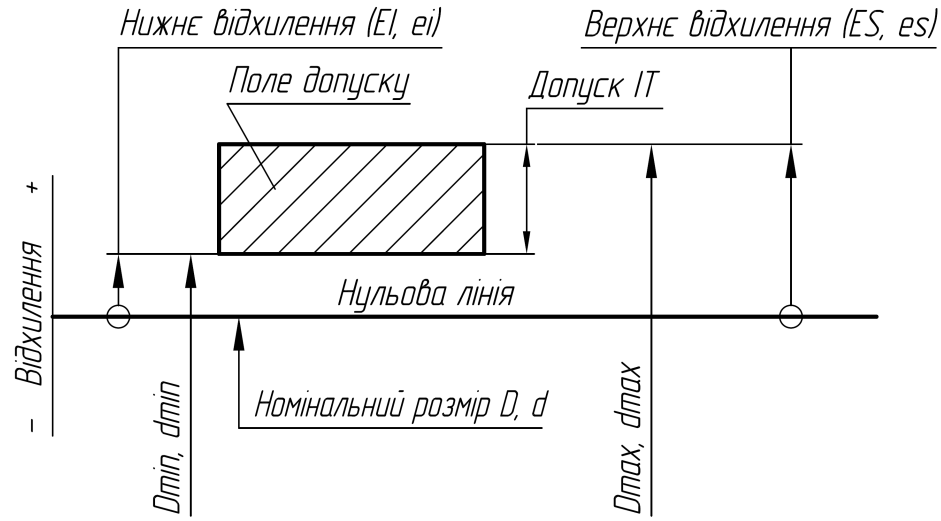


Рис. 2.1 - Основні елементи поля допуску

Посадка

характер з'єднання двох деталей, визначений різницею їх розмірів до складання.

Номінальний розмір посадки

номінальний розмір, спільний для отвору і вала, що складають з'єднання.

Допуск посадки

сума допусків отвору та вала,що складають з'єднання.

***Зазор** S*

різниця між розмірами отвору і вала, якщо розмір отвору більший за розмір вала (рис.2.2 а)

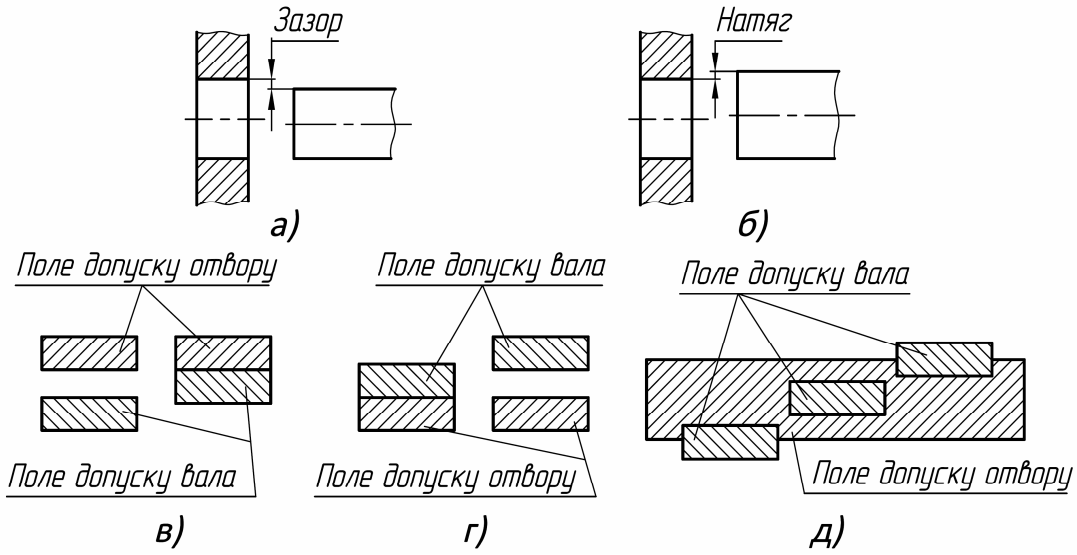


Рис. 2.2 – Ескізи та схеми полів допусків посадок: із зазором (а, в), з натягом (б, г), перехідних (д)

Натяг *N*

різниця між розмірами вала та отвору до складання, якщо розмір вала більший за розмір отвору (рис.2.2, б)

Посадка з зазором

посадка, за якою завжди у з'єднанні утворюється зазор, тобто найменший граничний розмір отвору більший за найбільший граничний розмір вала або дорівнює йому.

В разі графічного зображення схеми посадки із зазором поле допуску отвору розташовується над полем допуску вала (рис.2.2, в).

Посадка з натягом

посадка, за якою завжди у з'єднанні утворюється натяг, тобто найбільший граничний розмір отвору менший за найменший граничний розмір вала або дорівнює йому.

В разі графічного зображення схеми посадки з натягом поле допуску вала розташовується над полем допуску отвору (рис.2.2, г).

Перехідна посадка

посадка, за якою можливе отримання як зазору,так і натягу в з'єднанні, в залежності від дійсних розмірів отвору і вала.

В разі графічного зображення схеми перехідної посадки поля допусків отвору і вала перекриваються повністю або частково (рис.2.2 д).

Найбільший зазор S_{max}

різниця між найбільшим граничним розміром отвору і найменшим граничним розміром вала в посадці із зазором або перехідній посадці:

$$S_{max} = D_{max} - d_{min} \qquad (2.7)$$

або

$$S_{\max} = ES - ei . \tag{2.8}$$

Найменший зазор $S_{\min}$

різниця між найменшим граничним розміром отвору і найбільшим граничним розміром вала в посадці із зазором:

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} \tag{2.9}$$

або

$$S_{\min} = EI - es . \tag{2.10}$$

Середній зазор S_c

середнє арифметичне найбільшого та найменшого зазорів:

$$S_c = (S_{\max} + S_{\min})/2 \tag{2.11}$$

Допуск посадки із зазором T_S визначається, як:

$$T_S = S_{\max} - S_{\min} \tag{2.12}$$

або

$$T_S = T_D + T_d . \tag{2.13}$$

Найбільший натяг $N_{\max}$

різниця між найбільшим граничним розміром вала і найменшим граничним розміром отвору до складання в посадці з натягом або перехідній посадці:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} \tag{2.14}$$

або

$$N_{\max} = es - EI . \tag{2.15}$$

Найменший натяг $N_{\min}$

різниця між найменшим граничним розміром вала і найбільшим граничним розміром отвору до складання в посадці з натягом:

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} \tag{2.16}$$

або

$$N_{\min} = ei - ES . \tag{2.17}$$

Середній натяг N_c

середнє арифметичне найбільшого та найменшого натягів:

$$N_c = (N_{\max} + N_{\min})/2 \tag{2.18}$$

Допуск посадки з натягом T_N визначається, як:

$$T_N = N_{\max} - N_{\min} \tag{2.19}$$

або

$$T_N = T_D + T_d . \tag{2.20}$$

Допуск перехідної посадки T_{SN} визначається, як:

$$T_{SN} = S_{\max} + N_{\max} \tag{2.21}$$

або

$$T_{SN} = T_D + T_d . \tag{2.22}$$

2.1.2. Система допусків та посадок ISO

Основні принципи побудови системи допусків і посадок ISO (система ISO): дві рівноцінні системи утворення посадок: інтервали номінальних розмірів; одиниця допуску; квалітети; основні відхилення; система отвору і система вала; нормальна температура вимірювання +20°С.

Інтервали номінальних розмірів. Система ISO поширюється на діапазон розмірів гладких циліндричних або плоских поверхонь до 40000 мм. У діапазоні розмірів до 500 мм передбачено 13 основних інтервалів. У діапазоні вище за 10 мм…500 мм кожний основний інтервал розподілено на проміжні інтервали. Для всіх розмірів, які входять у даний інтервал, допуски (для даного квалітету) - величини сталі. Інтервали побудовані таким чином, що перша цифра інтервалу не входить в цей інтервал, а остання входить.

Квалітети.

Квалітет (міра точності)

> сукупність допусків, що розглядаються, як відповідні одному рівню точності для всіх номінальних розмірів.

В системі ISO передбачено 20 квалітетів: 01; 1; 2; ...;16; 17; 18. Найточніший з них – 01-й, а найгрубіший - 18-й.

Допуск у квалітеті однаковий, як для валів, так і для отворів одного номінального розміру.

Найточніші квалітети (01, 1, 2, 3, 4), як правило, застосовуються для виготовлення зразкових мір та калібрів.

Квалітети з 5-го по 12-й застосовуються для спряжених елементів деталей.

Квалітети з 12-го по 18-й застосовуються для не спряжених елементів деталей.

Формули допусків. Формули для розрахунку допусків за квалітетами наведено в таблиці 2.1. Починаючи з 2-го квалітету допуск визначається за формулою:

$$IT = k \cdot i , \tag{2.23}$$

де k - число одиниць допуску, встановлене для кожного квалітету;

i - одиниця допуску.

Для розмірів більше 500 мм одиниця допуску позначається *I*.

Одиниця допуску *i (I)*

множник у формулах допусків, що є функцією номінального розміру та який служить для визначення числового значення допуску.

Таблиця 2.1

Формули розрахунку допусків (за ДСТУ 2500, скорочено)

Квалітети		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Число одиниць допуску k		2,7	3,7	5	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500
Значення допусків для номінальних розмірів, мкм	до 500мм включно	$k \cdot i$, де $i = 0{,}45 \cdot \sqrt[3]{D} + 0{,}001 \cdot D$																
	понад 500 до 3150мм включно	$k \cdot i$, де $i = 0{,}004 \cdot D + 2{,}1$																

Примітки: 1. ***D*** **–** середнє геометричне із крайніх значень кожного інтервалу номінальних розмірів в мм. Для інтервалу до 3 мм приймається $D = \sqrt{3}$.

2. Значення ***k***, починаючи з 5-го квалітету, приблизно відповідають геометричній прогресії з коефіцієнтом 1,6.

3. Значення допусків для квалітетів 2, 3 і 4 приблизно є членами геометричної прогресії, першим та останнім членами якої є значення допусків квалітетів 1-го та 5-го.

4. Починаючи з 6-го квалітету, значення допусків помножують на 10 в разі переходу з цього квалітету на п’ять квалітетів грубіше (за винятком значення 7,5, яке округляють до 8 для 6-го квалітету в інтервалі розмірів від 3 до 6 мм). Це правило є дійсним і для допусків грубіших 16-го квалітету.

Відповідно до формул, наведених в табл. 2.1, одиниця допуску ***i (I)*** є величиною постійною для усіх розмірів, що входять в певний інтервал. Тому і числові значення допусків однакові для кожного з номінальних розмірів, що знаходяться в межах певного інтервалу (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Числові значення допусків (за ГОСТ 25346 та ДСТУ 2500)

Інтервал розмірів, мм		Квалітет																			
		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		мкм													мм						
-	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	1,2	2	2,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1
315	400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	0,57	0,89	1,4	2,3	3,6	5,7	8,9
400	500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	0,63	0,97	1,55	2,5	4	6,3	9,7
500	630	4,5	6	9	11	16	22	30	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800	5	7	10	13	18	25	35	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000	5,5	8	11	15	21	29	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250	6,5	9	13	18	24	34	46	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600	8	11	15	21	29	40	54	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2000	9	13	18	25	35	48	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2000	2500	11	15	22	30	41	57	77	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2500	3150	13	18	26	36	50	69	93	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

Примітка: Для розмірів менше 1 мм квалітети від 14-го до 18-го не застосовуються.

В межах одного квалітету числові значення допусків зростають із збільшенням крайніх значень інтервалу, а в межах одного інтервалу розмірів допуски зростають із збільшенням номера квалітету (табл. 2.2).

Основні відхилення. В системі ISO основні відхилення позначають літерами латинського алфавіту: отворів – великими, а валів – малими.

В діапазоні розмірів до 500 мм передбачено 28 основних відхилень отворів: *A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H, JS, J, K, M, N, P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC* і стільки ж – для валів: *a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h, js, j, k, m, n, p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb,* та *zc*.

Схему розташування основних відхилень отворів та валів відносно нульової лінії показано на рис. 2.3.

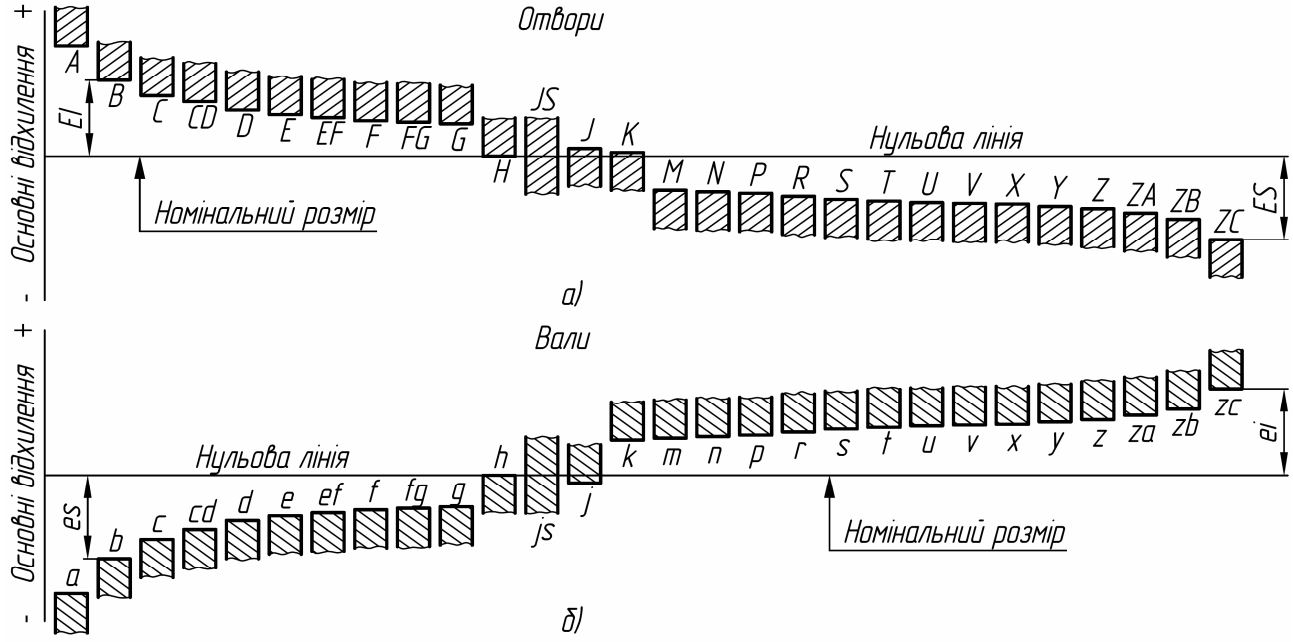


Рис. 2.3 - Схема розташування полів допусків отворів (а) та валів (б) відносно нульової лінії

Числові значення основних відхилень отворів наведено в табл. 2.3, а валів – в табл. 2.4.

Для отворів з основними відхиленнями від *A* до *H*, поля допусків яких знаходяться вище нульової лінії (рис. 2.3, а), встановлено числові значення нижніх відхилень *EI*, а для отворів з основними відхиленнями від *J* до *ZC*, поля допусків яких знаходяться нижче нульової лінії, встановлено числові значення верхніх відхилень *ES* (табл. 2.3).

Для валів з основними відхиленнями від *a* до *h*, чиї поля допусків знаходяться під нульовою лінією (рис. 2.3, б), встановлено числові значення верхніх відхилень *es*. Для валів з основними відхиленнями від *j* до *zc*, поля допусків яких знаходяться над нульовою лінією, встановлено числові значення нижніх відхилень *ei* (табл. 2.4).

Таблиця 2.3

Числові значення основних відхилень отворів (за ГОСТ 25346 та ДСТУ 2500)

Інтервал розмірів, мм		Основне відхилення																												Δ, мкм					
		A	*B*	*C*	*CD*	*D*	*E*	*EF*	*F*	*FG*	*G*	*H*	*JS*	*J*			*K*		*M*		*N*		*P-ZC*	*P*	*R*	*S*	*T*	*U*	*V*	*X*	*Y*	*Z*	*ZA*	*ZB*	*ZC*	
		Для всіх квалітетів												Для квалітетів										Для квалітетів понад 7												Для квалітетів					
														6	7	8	до 8	пон. 8	до 8	пон. 8	до 8	пон.8	до7																
		Нижнє відхилення *EI*												Верхнє відхилення *ES*																							3	4	5	6	7	8
-	3	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0	Граничні відхилення = ± IT n / 2, де n – порядковий номер квалітету	+2	+4	+6	0	0	-2	-2	-4	-4	Граничні відхилення як для квалітетів понад 7-й, збільшені на Δ	-6	-10	-14	-	-18		-20	-	-26	-32	-40	-60	0	0	0	0	0	0
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	-1+Δ	-	-4+Δ	-4	-8+Δ	0		-12	-15	-19	-	-23		-28	-	-35	-42	-50	-80	1	1,5	1	3	4	6
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	-1+Δ	-	-6+Δ	-6	-10+Δ	0		-15	-19	-23	-	-28		-34	-	-42	-52	-67	-97	1	1,5	2	3	6	7
10	14	+290	+150	+95	-	+50	+32	-	+16	-	+6	0		+6	+10	+15	-1+Δ	-	-7+Δ	-7	-12+Δ	0		-18	-23	-28	-	-33		-40	-	-50	-64	-90	-130	1	2	3	3	7	9
14	18																										-		-39	-45	-	-60	-77	-108	-150						
18	24	+300	+160	+110	-	+65	+40	-	+20	-	+7	0		+8	+12	+20	-2+Δ	-	-8+Δ	-8	-15+Δ	0		-22	-28	-35	-	-41	-47	-54	-63	-73	-98	-136	-188	1,5	2	3	4	8	12
24	30																										-41	-48	-55	-64	-75	-88	-118	-160	-218						
30	40	+310	+170	+120	-	+80	+50	-	+25	-	+9	0		+10	+14	+24	-2+Δ	-	-9+Δ	-9	-17+Δ	0		-26	-34	-43	-48	-60	-68	-80	-94	-112	-148	-200	-274	1,5	3	4	5	9	14
40	50	+320	+180	+130																							-54	-70	-81	-97	-114	-136	-180	-242	-325						
50	65	+340	+190	+140	-	+100	+60	-	+30	-	+10	0		+13	+18	+28	-2+Δ	-	-11+Δ	-11	-20+Δ	0		-32	-41	-53	-66	-87	-102	-122	-144	-172	-226	-300	-405	2	3	5	6	11	16
65	80	+360	+200	+150																				-43	-59	-75	-102	-120	-146	-174	-210	-274	-360	-480						
80	100	+380	+220	+170	-	+120	+72	-	+36	-	+12	0		+16	+22	+34	-3+Δ	-	-13+Δ	-13	-23+Δ	0		-37	-51	-71	-91	-124	-146	-178	-214	-258	-335	-445	-585	2	4	5	7	13	19
100	120	+410	+240	+180																					-54	-79	-104	-144	-172	-210	-254	-310	-400	-525	-690						
120	140	+460	+260	+200	-	+145	+85	-	+43	-	+14	0		+18	+26	+41	-3+Δ	-	-15+Δ	-15	-27+Δ	0		-43	-63	-92	-122	-170	-202	-248	-300	-365	-470	-620	-800	3	4	6	7	15	23
140	160	+520	+280	+210																					-65	-100	-134	-190	-228	-280	-340	-415	-535	-700	-900						
160	180	+580	+310	+230																					-68	-108	-146	-210	-252	-310	-380	-465	-600	-780	-1000						
180	200	+660	+340	+240	-	+170	+100	-	+50	-	+15	0		+22	+30	+47	-4+Δ	-	-17+Δ	-17	-31+Δ	0		-50	-77	-122	-166	-236	-284	-350	-425	-520	-670	-880	-1150	3	4	6	9	17	26
200	225	+740	+380	+260																					-80	-130	-180	-258	-310	-385	-470	-575	-740	-960	-1250						
225	250	+820	+420	+280																					-84	-140	-196	-284	-340	-425	-520	-640	-820	-1050	-1350						
250	280	+920	+480	+300	-	+190	+110	-	+56	-	+17	0		+25	+36	+55	-4+Δ	-	-20+Δ	-20	-34+Δ	0		-56	-94	-158	-218	-315	-385	-475	-580	-710	-920	-1200	-1550	4	4	7	9	20	29
280	315	+1050	+540	+330																					-98	-170	-240	-350	-425	-525	-650	-790	-1000	-1300	-1700						
315	355	+1200	+600	+360	-	+210	+125	-	+62	-	+18	0		+29	+39	+60	-4+Δ	-	-21+Δ	-21	-37+Δ	0		-62	-108	-190	-268	-390	-475	-590	-730	-900	-1150	-1500	-1900	4	5	7	11	21	32
355	400	+1350	+680	+400																					-114	-208	-294	-435	-530	-660	-820	-1000	-1300	-1650	-2100						
400	450	+1500	+760	+440	-	+230	+135	-	+68	-	+20	0		+33	+43	+66	-5+Δ	-	-23+Δ	-23	-40+Δ	0		-68	-126	-232	-330	-490	-595	-740	-920	-1100	-1450	-1850	-2400	5	5	7	13	23	34
450	500	+1650	+840	+480																					-132	-252	-360	-540	-660	-820	-1000	-1250	-1600	-2100	-2600						
500	560	-	-	+520	+370	+260	+145	-	+76	-	+22	0		-	-	-	0	-	-26		-44			-78	-150	-280	-400	-600	-740	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
560	630	-	-	+580	+390																				-155	-310	-450	-660	-820												
630	710	-	-	+640	+430	+290	+160	-	+80	-	+24	0		-	-	-	0	-	-30		-50			-88	-175	-340	-500	-740	-920	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
710	800	-	-	+700	+450																				-185	-380	-560	-840	-1000												
800	900	-	-	+780	+500	+320	+170	-	+86	-	+26	0		-	-	-	0	-	-34		-56			-100	-210	-430	-620	-940	-1150	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
900	1000	-	-	+860	+520																				-220	-470	-680	-1050	-1300												
1000	1120	-	-	+940	+580	+350	+195	-	+98	-	+28	0		-	-	-	0	-	-40		-66			-120	-250	-520	-780	-1150	-1450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1120	1250	-	-	+1050	+600																				-260	-580	-840	-1300	-1600												
1250	1400	-	-	+1150	+660	+390	+220	-	+110	-	+30	0		-	-	-	0	-	-48		-78			-140	-300	-640	-960	-1450	-1800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1400	1600	-	-	+1300	+720																				-330	-720	-1050	-1600	-2000												
1600	1800	-	-	+1450	+780	+430	+240	-	+120	-	+32	0		-	-	-	0	-	-58		-92			-170	-370	-820	-1200	-1850	-2300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1800	2000	-	-	+1600	+820																				-400	-920	-1350	-2000	-2500												
2000	2240	-	-	+1800	+920	+480	+260	-	+130	-	+34	0		-	-	-	0	-	-68		-110			-195	-440	-1000	-1500	-2300	-2800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2240	2500	-	-	+2000	+980																				-460	-1100	-1650	-2500	-3100												
2500	2800	-	-	+2200	+1050	+520	+290	-	+145	-	+38	0		-	-	-	0	-	-76		-135			-240	-550	-1250	-1900	-2900	-3500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2800	3150	-	-	+2500	+1150																				-580	-1400	-2100	-3200	-3900												

Примітка: 1) Основні відхилення *A* і *B* не передбачені для розмірів менше 1 мм.

2) Для полів допусків від *JS7* до *JS11* непарні числові значення *IT* можуть бути округлені до ближчого меншого парного числа, щоб граничні відхилення *± IT / 2* були виражені цілим числом мікрометрів.

3) Для визначення відхилень *K*, *M* і *N* до 8-го квалітету включно і відхилень від *P* до *ZC* до 7-го квалітету включно належить використовувати величини *Δ* в графі праворуч.

4) Спеціальні випадки: для поля допуску *M6* в інтервалі розмірів від 250 до 315 мм *ES* = - 9 мкм (замість -11 мкм); поле допуску *M8* передбачено тільки для розмірів понад 3 мм.

5) Основне відхилення *N* для квалітетів до 8-го не передбачено для розмірів менше 1 мм.

Таблиця 2.4

Числові значення основних відхилень валів (за ГОСТ 25346 та ДСТУ 2500)

Інтервал розмірів, мм		Основне відхилення																														
		a	b	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	j			k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
		Для всіх квалітетів												Для квалітетів					Для всіх квалітетів														
														5 та 6	7	8	від 4 до 7	до 3 та понад 7															
Понад	До	Верхнє відхилення es												Нижнє відхилення ei																		
-	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6	0	0	+2	+4	+6	+10	+14	-	+18	-	+20	-	+26	+32	+40	+60
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4	-	+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	-	+23	-	+28	-	+35	+42	+50	+80
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5	-	+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	-	+28	-	+34	-	+42	+52	+67	+97
10	14	-290	-150	-95	-	-50	-32	-	-16	-	-6	0		-3	-6	-	+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	-	+33	-	+40	-	+50	+64	+90	+130
14	18																									+39	+45	-	+60	+77	+108	+150
18	24	-300	-160	-110	-	-65	-40	-	-20	-	-7	0		-4	-8	-	+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	-	+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188
24	30																							+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218
30	40	-310	-170	-120	-	-80	-50	-	-25	-	-9	0		-5	-10	-	+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274
40	50	-320	-180	-130																				+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325
50	65	-340	-190	-140	-	-100	-60	-	-30	-	-10	0		-7	-12	-	+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405
65	80	-360	-200	-150																		+43	+59	+75	+102	+120	+146	+174	+210	+274	+360	+480
80	100	-380	-220	-170	-	-120	-72	-	-36	-	-12	0		-9	-15	-	+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+335	+445	+585
100	120	-410	-240	-180																		+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690
120	140	-460	-260	-200	-	-145	-85	-	-43	-	-14	0		-11	-18	-	+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	+620	+800
140	160	-520	-280	-210																		+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900
160	180	-580	-310	-230																		+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	+780	+1000
180	200	-660	-340	-240	-	-170	-100	-	-50	-	-15	0		-13	-21	-	+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+166	+236	+284	+350	+425	+520	+670	+880	+1150
200	225	-740	-380	-260																		+80	+130	+180	+258	+310	+385	+470	+575	+740	+960	+1250
225	250	-820	-420	-280																		+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	+1050	+1350
250	280	-920	-480	-300	-	-190	-110	-	-56	-	-17	0		-16	-26	-	+4	0	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550
280	315	-1050	-540	-330																		+98	+170	+240	+350	+425	+525	+650	+790	+1000	+1300	+1700
315	355	-1200	-600	-360	-	-21	-125	-	-62	-	-18	0		-18	-28	-	+4	0	+21	+37	+62	+108	+190	+268	+390	+475	+590	+730	+900	+1150	+1500	+1900
355	400	-1350	-680	-400																		+114	+208	+294	+435	+530	+660	+820	+1000	+1300	+1650	+2100
400	450	-1500	-760	-440	-	-230	-135	-	-68	-	-20	0		-20	-32	-	+5	0	+23	+40	+68	+126	+232	+330	+490	+595	+740	+920	+1100	+1450	+1850	+2400
450	500	-1650	-840	-480																		+132	+252	+360	+540	+660	+820	+1000	+1250	+1600	+2100	+2600
500	560	-	-	-520	-370	-260	-145	-	-76	-	-22	0		-	-	-	0	0	+26	+44	+78	+150	+280	+400	+600	+740	-	-	-	-	-	-
560	630	-	-	-580	-390																	+155	+310	+450	+660	+820	-	-	-	-	-	-
630	710	-	-	-640	-430	-290	-160	-	-80	-	-24	0		-	-	-	0	0	+30	+50	+88	+175	+340	+500	+740	+920	-	-	-	-	-	-
710	800	-	-	-700	-450																	+185	+380	+560	+840	+1000	-	-	-	-	-	-
800	900	-	-	-780	-500	-320	-170	-	-86	-	-26	0		-	-	-	0	0	+34	+56	+100	+210	+430	+620	+940	+1150	-	-	-	-	-	-
900	1000	-	-	-860	-520																	+220	+470	+680	+1050	+1300	-	-	-	-	-	-
1000	1120	-	-	-940	-580	-350	-195	-	-98	-	-28	0		-	-	-	0	0	+40	+66	+120	+250	+520	+780	+1150	+1450	-	-	-	-	-	-
1120	1250	-	-	-1050	-600																	+260	+580	+840	+1300	+1600	-	-	-	-	-	-
1250	1400	-	-	-1150	-660	-390	-220	-	-110	-	-30	0		-	-	-	0	0	+48	+78	+140	+300	+640	+960	+1450	+1800	-	-	-	-	-	-
1400	1600	-	-	-1300	-720																	+330	+720	+1050	+1600	+2000	-	-	-	-	-	-
1600	1800	-	-	-1450	-780	-430	-240	-	-120	-	-32	0		-	-	-	0	0	+58	+92	+170	+370	+820	+1200	+1850	+2300	-	-	-	-	-	-
1800	2000	-	-	-1600	-820																	+400	+920	+1350	+2000	+2500	-	-	-	-	-	-
2000	2240	-	-	-1800	-920	-480	-260	-	-130	-	-34	0		-	-	-	0	0	+68	+110	+195	+440	+1000	+1500	+2300	+2800	-	-	-	-	-	-
2240	2500	-	-	-2000	-980																	+460	+1100	+1650	+2500	+3100	-	-	-	-	-	-
2500	2800	-	-	-2200	-1050	-520	-290	-	-145	-	-38	0		-	-	-	0	0	+76	+135	+240	+550	+1250	+1900	+2900	+3500	-	-	-	-	-	-
2800	3150	-	-	-2500	-1150																	+580	+1400	+2100	+3200	+3900	-	-	-	-	-	-

Граничні відхилення = $\pm^{IT_n}/_2$, де n – порядковий номер квалітету

Примітка: 1) Основні відхилення *a* і *b* не передбачені для розмірів менше 1 мм.

2) Для полів допусків від *js7* до *js11* непарні числові значення *IT* можуть бути округлені до ближчого меншого парного числа, щоб граничні відхилення *± IT / 2* були визначені цілим числом мікрометрів.

3) Спеціальній випадок: поле допуску *m7* передбачено тільки для розмірів понад 3 мм.

Основні відхилення отвору і вала, позначені однаковими літерами, розташованими симетрично відносно нульової лінії:

для отворів від *A* до *H*

$EI = -es$;

від *J* до *ZC* , відповідно,

$ES = -ei$.

Наприклад, значення основного відхилення *B* для розміру 18 мм становить (табл. 2.3):

$EI = +150$ мкм,

а основного відхилення *b* для цього розміру становить (табл. 2.4):

$es = -150$ мкм.

Це правило дійсне для усіх основних відхилень отворів, за винятком основних відхилень *J, K, M, N* до 8-го квалітету включно, та основних відхилень від *P* до *ZC* до 7-го квалітету включно. Для цих основних відхилень діє спеціальне правило, за яким:

$ES = -ei + \Delta$,

де Δ - поправка, що дорівнює різниці між допусками даного квалітету і найближчого більш точного (вибирається за квалітетом з додаткових граф табл. 2.3).

Це правило дозволяє отримувати ідентичні зазори і натяги в двох аналогічних посадках в системі отвору та в системі вала, в яких вал виготовляється на один квалітет точніше за отвір, наприклад, *H7/r6* та *R7/h6*.

Для основних відхилень *JS*, *js* граничні відхилення залежать від допуску (квалітету):

$$ES\ (es) = +IT/2; \qquad EI\ (ei) = -IT/2.$$

Від квалітету залежать також значення основних відхилень валів *j* та *k* (табл. 2.4).

Таким чином, в системі ISO для будь-якого поля допуску наведено значення тільки одного з граничних відхилень – основного, тобто найближчого до нульової лінії. Друге граничне відхилення, неосновне, визначається за однією із формул:

для отвору

$$IT_D = ES - EI; \tag{2.24}$$

для вала

$$IT_d = es - ei. \tag{2.25}$$

Умовне позначення поля допуску складається з умовного позначення основного відхилення літерою латинського алфавіту та квалітету. Наприклад: поля допусків валів – *h6, e8*; поля допусків отворів – *H7, P8*.

Умовне позначення посадки складається з умовних позначень отвору та валу записаних у вигляді дробу з горизонтальною або нахиленою рискою: $\frac{F8}{h6}$, $H7/js6$.

Системи посадок. Однакові зазори та натяги в системі ISO можна отримати в посадках в системі отвору або в системі вала.

Посадка в системі отвору

посадка, в якій необхідні зазори і натяги утворюються сполученням різних полів допусків валів з полем допуску основного отвору (рис. 2.4, а).

Основний отвір

отвір, нижнє відхилення якого дорівнює нулю. Йому відповідає основне відхилення *H*.

Поєднуючи вали з основними відхиленнями від *a* до *zc* з основними отворами *H*, отримують посадки в системі отвору. Посадки з зазором забезпечуються поєднанням основного отвору *H* з валами *a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h*; перехідні посадки – з валами *js, j, k, m, n,* а посадки з натягом – з валами *p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc.*

Посадка в системі вала

посадка, в якій необхідні зазори і натяги утворюються сполученням різних полів допусків отворів з полем допуску основного вала (рис. 2.4, б).

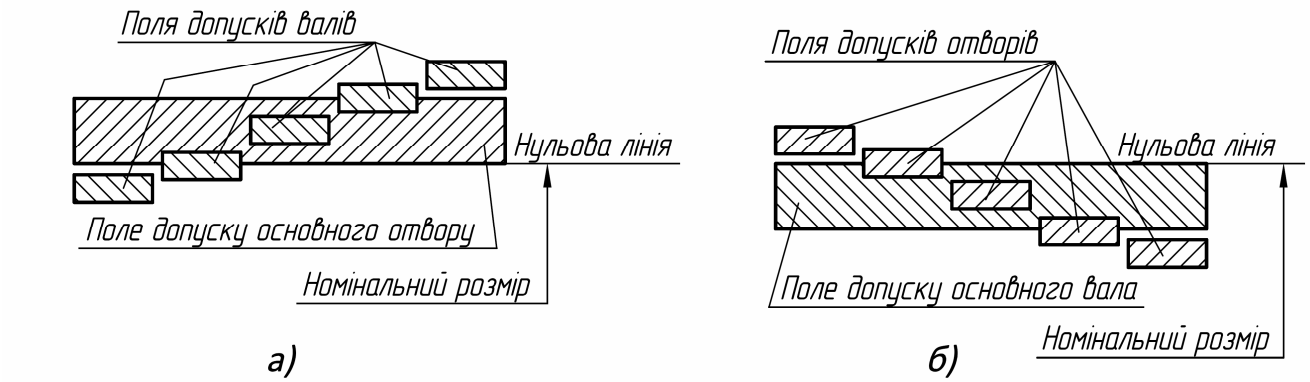


Рис. 2.4 - Схеми полів допусків посадок в системі отвору (а) та в системі вала (б)

Основний вал

вал, верхнє відхилення якого дорівнює нулю. Йому відповідає основне відхилення *h*.

Поєднуючи отвори з основними відхиленнями від *A* до *ZC* з основними валами *h*, отримують посадки в системі вала. Посадки з зазором забезпечуються поєднанням основного вала *h* з отворами *A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG, G, H*; перехідні посадки – з отворами *JS, J, K, M, N*, а посадки з натягом – з отворами *P, R, S, T, U, V, X, Y, Z, ZA, ZB, ZC*.

Поля допусків для отворів та валів встановлено ДСТУ ISO 286-2 та ГОСТ 25347.

Посадки можуть бути призначені або в системі отвору або в системі вала. Система отвору є переважною, як більш економічна. Застосування посадок в системі отвору зменшує номенклатуру необхідних для виготовлення деталей різальних та вимірювальних інструментів, а значить і витрати на їх виготовлення або придбання. Систему вала слід застосовувати тільки у конструктивно або економічно обґрунтованих випадках, наприклад, коли вали виготовляють із точних заготовок і вони не потребують додаткової обробки; коли вал є стандартною деталлю; коли вал постійного розміру з'єднується з декількома отворами за різними посадками. Під час призначення полів допусків та посадок перевагу слід надавати рекомендованим полям допусків та посадкам, причому в першу чергу – переважним.

Також, в технічно обґрунтованих випадках, можуть використовуватись позасистемні посадки, які ще називають комбінованими. Це посадки, які не можна віднести ні до системи отвору, ні до системи вала. Утворюються ці посадки сполученням стандартних полів допусків отвору та вала.

Приклади умовного позначення посадок:

- в системі отвору $\frac{H7}{f6}$; *H8 / e8*
- в системі вала $\frac{N7}{h6}$; *F8 / h6*
- комбінованих $\frac{D11}{n6}$; *E9 / k6*

2.1.3. Позначення полів допусків і посадок на кресленнях

Поля допусків і посадки на кресленнях позначають за одним із способів, показаних на рис. 2.5, а саме:

1) умовне позначення полів допусків для валів, отворів та з'єднань (рис. 2.5, а, б, в);

2) позначення з числовими значеннями граничних відхилень для валів, отворів та з'єднань (рис. 2.5, г, д, е);

3) умовне позначення полів допусків з вказаними числовими значеннями граничних відхилень для валів, отворів та з'єднань (рис. 2.5, ж, и, к).

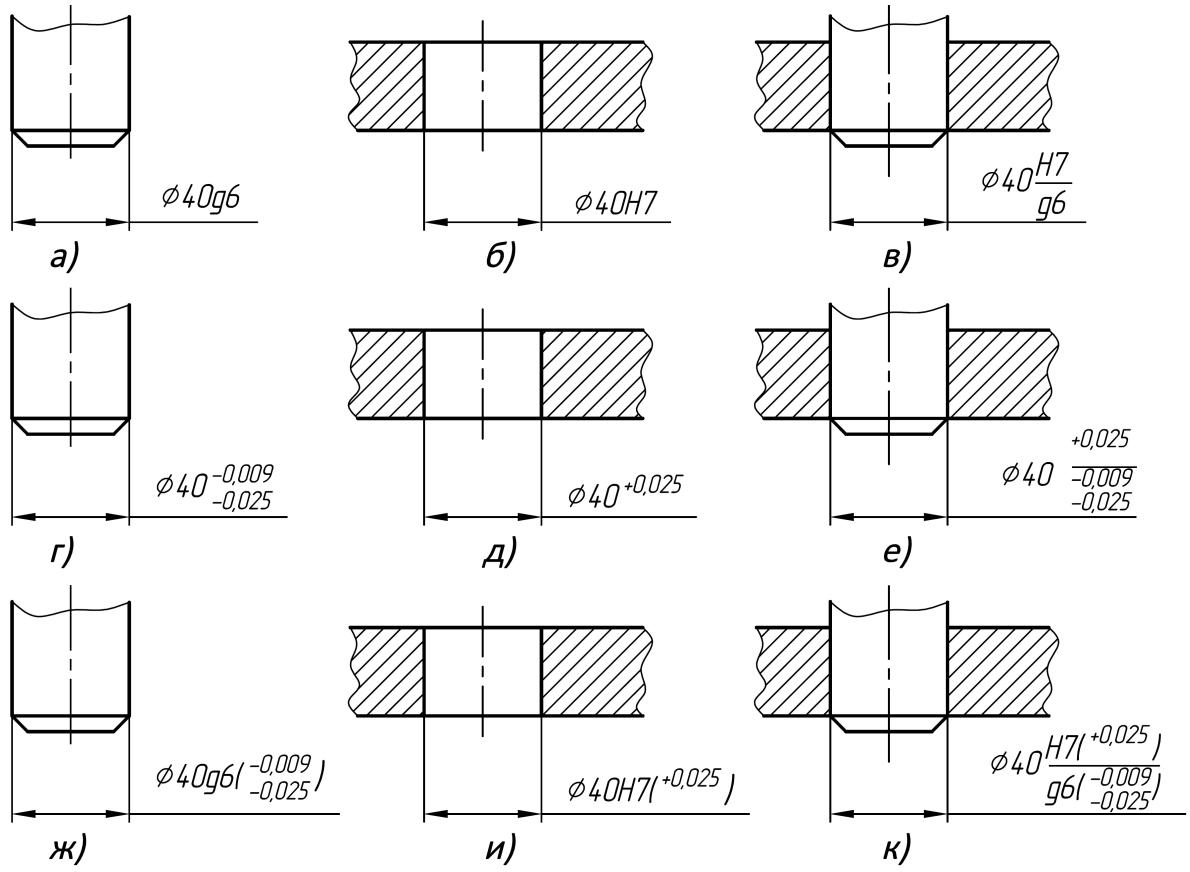


Рис. 2.5 - Позначення полів допусків та посадок на кресленнях

Умовне позначення полів допусків є переважним.

Позначення полів допусків з вказаними числовими значеннями граничних відхилень є обов'язковим у випадках:

- за призначення граничних відхилень розмірів, які не включені в ряди нормальних лінійних розмірів за ГОСТ 6636;

- за призначення граничних відхилень, умовне позначення яких не передбачено ГОСТ 25347;

- за призначення граничних відхилень розмірів уступів з несиметричним полем допуску;

- граничні відхилення кутових розмірів призначають тільки числовими значеннями.

2.2 Калібри для контролю гладких валів та отворів

Калібр

> засіб контролю, який відтворює геометричні параметри елементів виробу, що визначаються заданими граничними лінійними чи кутовими розмірами, і який контактує з елементом виробу поверхнями, лініями чи точками [ДСТУ 2234].

Калібр - безшкальний інструмент, який застосовують для контролю придатності деталі. Калібрами не можна виміряти величину дійсного розміру або величину відхилення контрольованої поверхні від заданого розміру, форми або взаємного розташування поверхонь. За допомогою калібрів можна лише з'ясувати придатна деталь чи ні. Калібр має форму протилежну (обернену) до тієї, яку контролюють. Так калібр для контролю зовнішніх поверхонь має форму внутрішньої поверхні, а калібр для контролю внутрішньої поверхні має форму зовнішньої. Існуючі калібри можна розділити на дві групи: калібри нормальні та калібри граничні.

Нормальний калібр

> калібр, який відтворює заданий лінійний чи кутовий розмір і форму сполученої з ним поверхні контрольованого елемента виробу.

Відхилення дійсного розміру деталі від номінального визначається за ступенем щільності проходження калібра у виріб, у результаті чого характер з'єднання (посадки) залежить від суб'єктивного відчуття контролера. Застосування такого калібра вимагає високої кваліфікації робітника і контролера. В теперішній час нормальні калібри для контролю гладких циліндричних з'єднань практично не використовують.

Серед нормальних калібрів знаходять застосування такі калібри, як шаблони, щупи, конусні калібри.

Граничний калібр

> калібр, який відтворює прохідну та/чи непрохідну межу геометричних параметрів елементів виробу.

Щоб перевірити придатність деталі, треба мати два граничних калібри - прохідний (ПР) і непрохідний (НЕ). Якщо прохідний калібр проходить через контрольовану деталь, а непрохідний не проходить, це означає, що розмір даної поверхні розміщується між заданими граничними розмірами і деталь придатна. Якщо деталь не проходить ні

через прохідний бік, ні через непрохідний бік, тоді це – брак. Такий брак можна виправити. Якщо ж деталь проходить і через прохідний, і через непрохідний боки, тоді це буде брак, який виправити не можна. Контроль деталей цими калібрами не потребує високої кваліфікації робітника і виключає суб'єктивізм оцінки придатності деталі.

За формою контрольованої поверхні розрізняють калібри для контролю отворів (пробки), калібри для контролю валів (скоби), калібри для перевірки лінійних розмірів (довжин, висот, глибин тощо), для контролю правильності розміщення різних частин і поверхонь деталей.

Залежно від контрольованої границі поверхні калібри поділяють на прохідні ПР та непрохідні НЕ.

За призначенням калібри поділяють на робочі та контрольні. Робочими калібрами контролюють деталь під час її виготовлення. Контрольні калібри призначені для перевірки робочих калібрів-скоб під час їх виготовлення та експлуатації, а також при настроюванні регульованих калібрів. Контрольні калібри є непрохідними і використовуються для вилучення з експлуатації зношених прохідних робочих скоб. Застосування контрольних калібрів вносить похибки у вимірювання, тому перевагу слід надавати кінцевим мірам довжини та універсальним засобам вимірювання.

За формою вимірюваних поверхонь розрізняють калібри комплексні та елементні. Форма вимірюваних поверхонь комплексних калібрів така, як форма спряжених поверхонь, наприклад, калібр-пробка для контролю отвору. Комплексним калібром не можна контролювати окремих елементів поверхні (конусоподібності, овальності), а тільки з'ясувати придатність деталі.

За конструкцією розрізняються калібри: жорсткі, регульовані, однобічні граничні та двобічні граничні.

Калібри для контролю гладких циліндричних деталей.

Для контролю гладких циліндричних отворів застосовують граничні калібри-пробки (рис.2.6), а для контролю валів - калібри-скоби (рис.2.7). У кожного з цих калібрів є два боки: прохідний (ПР) та непрохідний (НЕ). Деталь вважають придатною, якщо прохідний бік проходить, а непрохідний не проходить через поверхню, що контролюється.

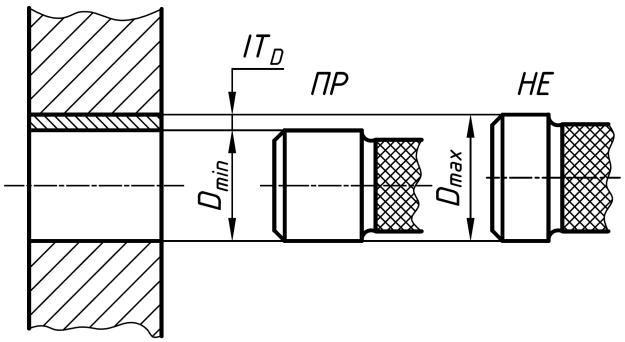


Рис. 2.6 –Схема контролю отвору калібром-пробкою:

D_{max} – найбільший граничний розмір отвору;

D_{min} – найменший граничний розмір отвору;

IT_D – допуск на виготовлення отвору;

ПР – прохідний бік калібра-пробки;

НЕ – непрохідний бік калібра-пробки.

За допомогою калібрів контролюють деталі з шостого квалітету по сімнадцятий (IT6…IT17). Для контролю деталей, точніших за шостий квалітет використовують універсальні засоби вимірювань – мікроскопи, оптиметри, важільні скоби тощо. Найчастіше калібри застосовують у серійному, крупносерійному та масовому виробництві.

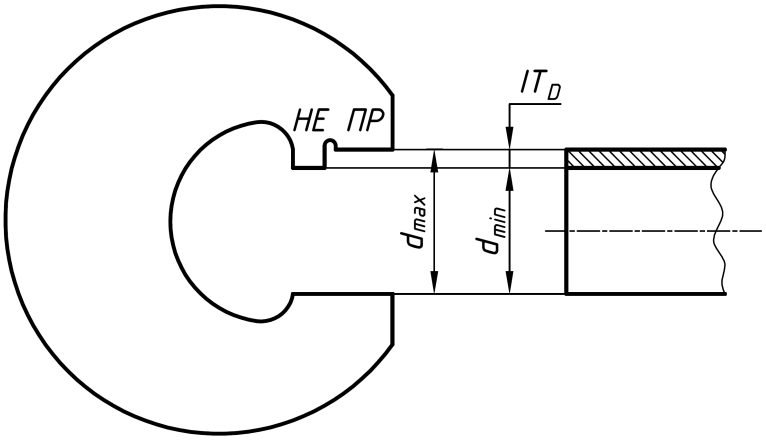


Рис. 2.7 –Схема контролю вала калібром-скобою:

$d_{\max}$ – найбільший граничний розмір вала;

$d_{\min}$ – найменший граничний розмір вала;

IT_d – допуск на виготовлення вала;

ПР – прохідний бік калібра-скоби;

НЕ – непрохідний бік калібра-скоби.

Розміри поверхонь калібрів деталей неможливо виконати абсолютно точно, тому для них передбачають допуски на виготовлення. Робочі поверхні калібрів зношуються при вимірюванні і їх розміри змінюються - розміри пробок зменшуються, а розміри скоб збільшуються.

Зношення прохідного боку скоби може призвести до виготовлення валу діаметром більшим, ніж найбільший граничний, а зношення прохідного боку пробки - до виготовлення отвору меншого діаметру, ніж найменший граничний діаметр. При з’єднанні таких деталей може змінитися характер посадки, тобто замість посадки з зазором можна одержати посадку з невеликим натягом.

Тому крім допусків на виготовлення калібрів передбачають допуски на їх зношення. Через те, що прохідні калібри зношуються значно інтенсивніше від непрохідних, допуск на зношення встановлено лише для прохідних калібрів, що обмежує вихід розмірів калібрів за границі поля допуску деталі.

Відповідно до ГОСТ 24853 передбачені схеми полів допусків на виготовлення калібрів-пробок та калібрів –скоб номінальних розмірів до180 мм (рис.2.8), а також номінальних розмірів від 180 до 500 мм (рис.2.9).

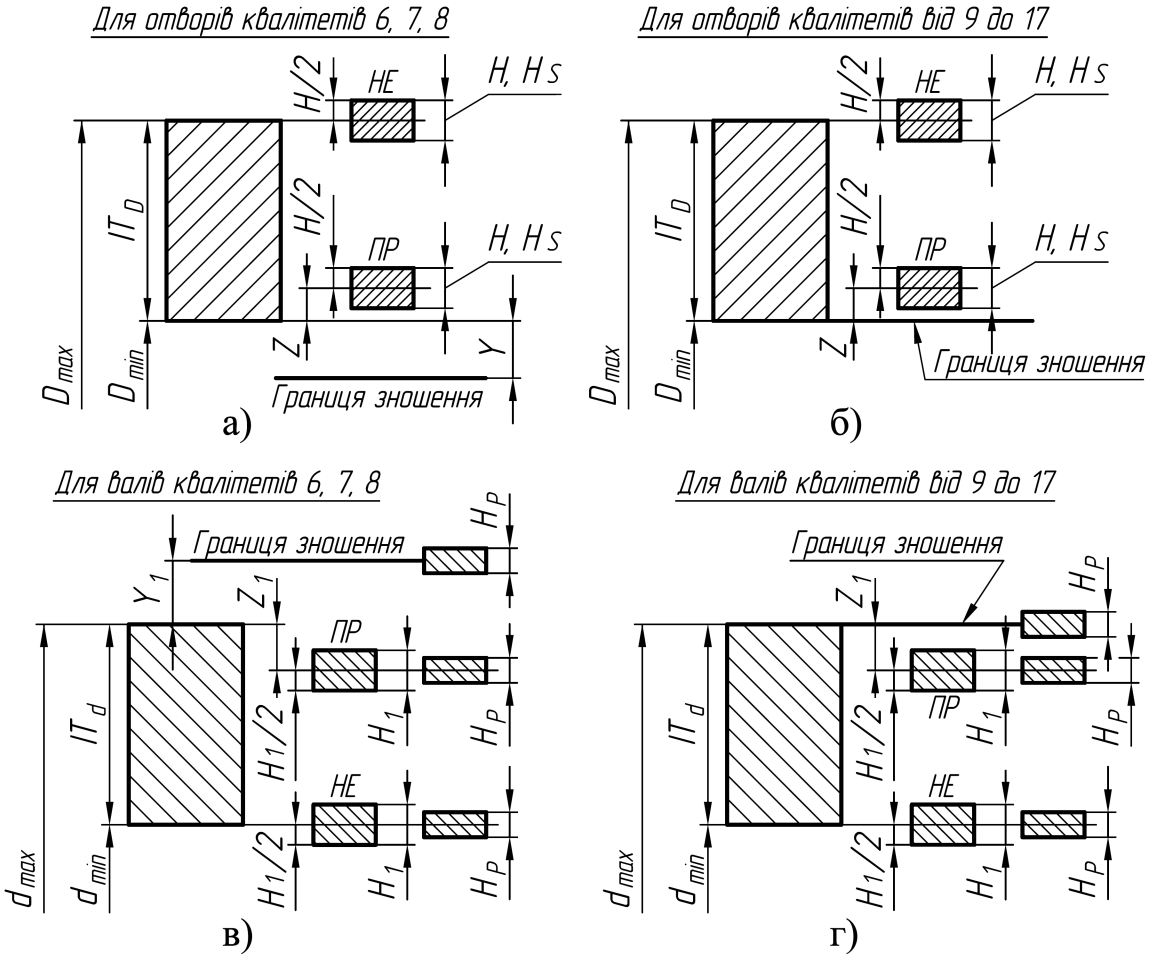


Рис. 2.8 – Схема розміщення полів допусків калібрів для номінальних розмірів до 180 мм:

а - для отворів квалітетів 6, 7,8; б - для отворів квалітетів від 9 до 17;

в - для валів квалітетів 6, 7,8; г - для валів квалітетів від 9 до 17.

D_{max} - найбільший граничний розмір отвору;

D_{min} - найменший граничний розмір отвору;

IT_D - допуск на виготовлення отвору;

d_{max} - найбільший граничний розмір вала;

d_{min} - найменший граничний розмір валу;

IT_d - допуск на виготовлення вала;

H - допуск на виготовлення калібра-пробки;

H_s - допуск на виготовлення калібра-пробки зі сферичними вимірювальними поверхнями;

H_p - допуск на виготовлення контрольного калібру для скоби;

H_1 - допуск на виготовлення калібра-скоби;

Z - відхилення середини поля допуску на виготовлення прохідного калібру для отвору відносно найменшого граничного розміру отвору;

Z_1 - відхилення середини поля допуску на виготовлення прохідного калібру для вала відносно найбільшого граничного розміру валу;

Y - допустимий вихід розміру зношеного калібру-пробки за межі поля допуску отвору;

Y_1 - допустимий вихід розміру зношеного калібру-скоби за межі поля допуску вала.

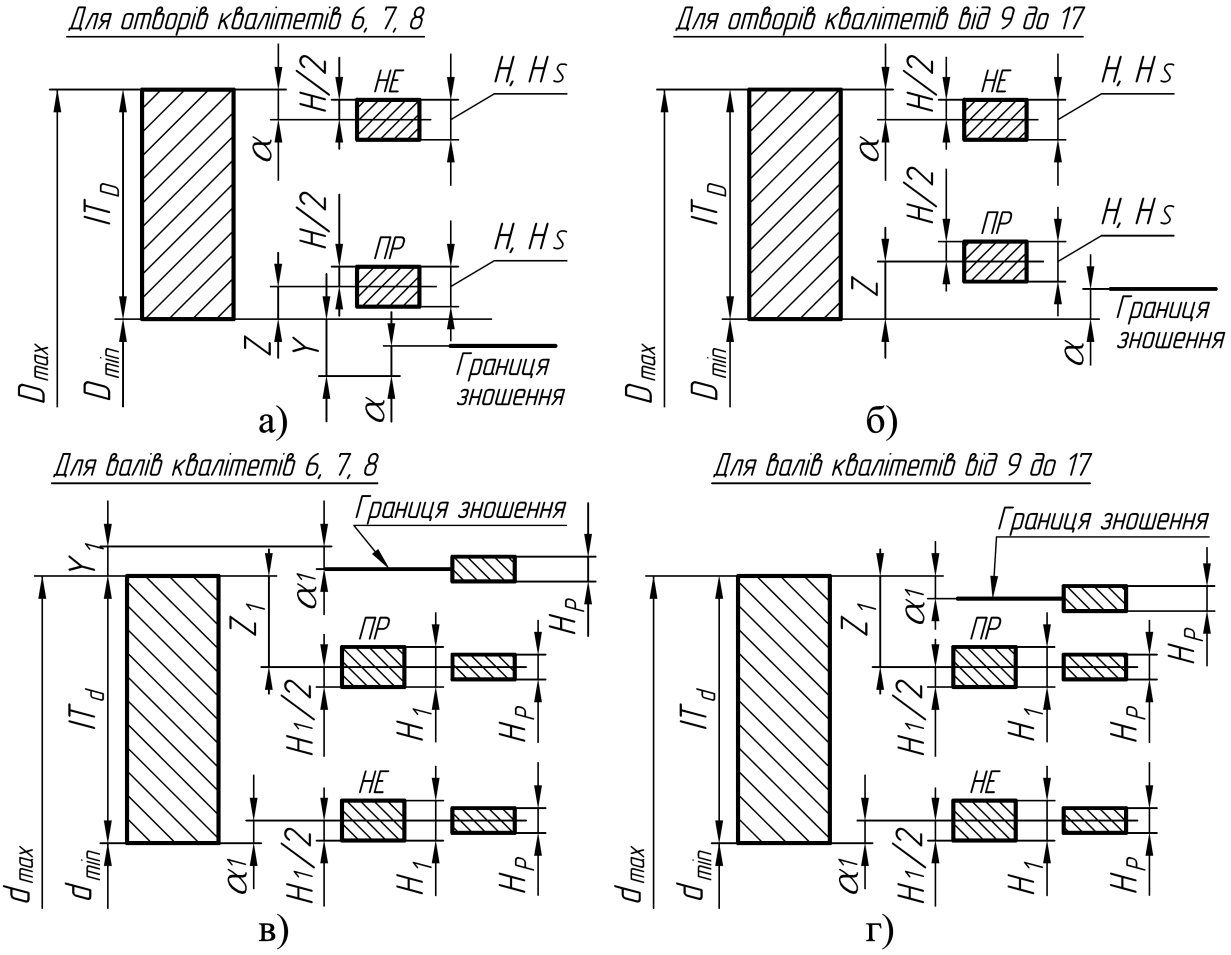


Рис. 2.9 – Схема розміщення полів допусків калібрів для номінальних розмірів від 180 до 500 мм:

а - для отворів квалітетів 6, 7,8; б - для отворів квалітетів від 9 до 17;
в - для валів квалітетів 6, 7,8; г - для валів квалітетів від 9 до 17;
α - величина компенсації похибок контролю калібрами отворів понад 180 мм;
α_1 - величина компенсації похибок контролю калібрами валів понад 180 мм

На кресленнях калібра проставляють його виконавчі розміри, кожний з яких складається з номінального розміру та допуску (табл. 2.5). Виконавчі розміри робочих калібрів-пробок і калібрів-скоб, а також контрольних калібрів підраховують за формулами (табл.2.6). За номінальний розмір приймають розмір, який під час виготовлення калібра з'являється першим і задається йому одностороннє відхилення, що дорівнює допуску і спрямоване «у тіло» калібра. Для калібра-пробки (вала) за номінальний розмір беруть найбільший розмір і задають відхилення «в мінус». Наприклад, якщо робочий калібр-пробка для контролю отворів ∅20H7 має граничні розміри d_{max}=20,005 мм і d_{min}=20,001 мм, то на кресленику калібра вказують виконавчий розмір $\varnothing 20{,}005_{-0{,}004}$.

Для калібра-скоби (отвору) номінальним розміром вважається її найменший граничний розмір. Допуск на виготовлення відраховують «у тіло» калібра, тобто «в плюс». Наприклад, якщо робочий калібр-скоба для контролю валів ∅20m7 має граничні розміри D_{max}=20,028 мм і D_{min}=20,024 мм, то на кресленику калібра вказують виконавчий розмір $\varnothing 20{,}024^{+0{,}004}$.

Таблиця 2.5

Допуски і відхилення калібрів, мкм (за ГОСТ 24853)

Квалітети допусків виробів	Позначення допусків і відхилень	Інтервали розмірів виробів, мм												
		До 3	Понад 3 до 6	«6 « 10«	«10 « 18«	«18 « 30«	«30 « 50«	«50 « 80«	«80 « 120«	«120 « 180«	«180 « 250«	«250 « 315«	«315 « 400«	«400 « 500«
6	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	5	6	7	8
	Y	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	4	5	6	7
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	5
	Z_1	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	11
	Y_1	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	5	6	6	7
	H, H_S	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
	H_1	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
7	Z, Z_1	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	11
	Y, Y_1	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	6	7	8	9
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	6	7
	H, H_1	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_S	-	-	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
	H_P	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
8	Z, Z_1	2	3	3	4	5	6	7	8	9	12	14	16	18
	Y, Y_1	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	9	9	11
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	7	9
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H_S^*, H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
9	Z, Z_1	5	6	7	8	9	11	13	15	18	21	24	28	32
	Y, Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	6	7	9
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H_S^*, H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
10	Z, Z_1	5	6	7	8	9	11	13	15	18	24	27	32	37
	Y, Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	11	14
	H	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
	H_1	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H_S^*, H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
11	Z, Z_1	10	12	14	16	19	22	25	28	32	45	50	65	70
	Y, Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	20	30	35
	H, H_1	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
	H_S^*	-	-	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
12	Z, Z_1	10	12	14	16	19	22	25	28	32	45	50	65	70
	Y, Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	20	30	35
	H, H_1	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	25	27
	H_S^*	-	-	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
	H_P	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
13	Z, Z_1	20	24	28	32	36	42	48	54	60	80	90	100	110
	Y, Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	H, H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	H_S^*	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
	H_P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15

Продовження таблиці 2.5

Квалітети допусків виробів	Позначення допусків і відхилень	Інтервали розмірів виробів, мм												
		До 3	Понад 3 до 6	«6 « 10«	«10 « 18«	«18 « 30«	«30 « 50«	«50 « 80«	«80 « 120«	«120 « 180«	«180 « 250«	«250 « 315«	«315 « 400«	«400 « 500«
14	Z, Z_1	20	24	28	32	36	42	48	54	60	100	110	125	145
	Y, Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	55	70	90
	H, H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	H_S^*	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
	H_P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
15	Z, Z_1	40	48	56	64	72	80	90	100	110	170	190	210	240
	Y, Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	90	110	140
	H, H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	H_S^*	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
	H_P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
16 17	Z, Z_1	40	48	56	64	72	80	90	100	110	210	240	280	320
	Y, Y_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	α, α_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	110	140	180	220
	H, H_1	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
	H_S^*	-	-	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
	H_P	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15

Примітка: 1. * - до розмірів до 6 мм не відносяться; 2. Числові значення стандартних допусків беруться за ГОСТ 25346-89.

Таблиця 2.6

Формули для підрахунку виконавчих розмірів калібрів (за ГОСТ 24853)

Калібр		Номінальний розмір виробу							
		До 180 мм				Понад 180 до 500 мм			
		Робочий калібр		Контрольний калібр		Робочий калібр		Контрольний калібр	
		Розмір	Допуск	Розмір	Допуск	Розмір	Допуск	Розмір	Допуск
Для отвору	Прохідний бік новий	$D_{min} + Z$	$\pm H/2$	–	–	$D_{min} + Z$	$\pm H/2$ або $\pm H_s/2$	–	–
	Прохідний бік зношений	$D_{min} - Y$	–	–	–	$D_{min} - Y + \alpha$	–	–	–
	Непрохідний бік	D_{max}	$\pm H/2$ або $\pm H_s/2$	–	–	$D_{max} - \alpha$	$\pm H/2$ або $\pm H_s/2$	–	–
Для вала	Прохідний бік новий	$D_{max} - Z_1$	$\pm H_1/2$	$D_{max} - Z_1$	$\pm H_p/2$	$D_{max} - Z_1$	$\pm H_1/2$	$D_{max} - Z_1$	$\pm H_p/2$
	Прохідний бік зношений	$D_{max} + Y_1$	–	$D_{max} + Y_1$	$\pm H_p/2$	$D_{max} + Y_1 - \alpha_1$	–	$D_{max} + Y_1 - \alpha_1$	$\pm H_p/2$
	Непрохідний бік	D_{min}	$\pm H_1/2$	D_{min}	$\pm H_p/2$	$D_{min} + \alpha_1$	$\pm H_1/2$	$D_{min} + \alpha_1$	$\pm H_p/2$

Під час маркування на калібр наносять номінальний розмір та поле допуску деталі, для контролю якої призначений калібр. Наприклад, на калібрі-пробці буде напис

∅50H7. Крім того наносять граничні відхилення розміру виробу в міліметрах, тип калібру (ПР чи НЕ) та товарний знак заводу-виробника.

2.3 Лабораторна робота № 1. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини

Мета роботи

Вивчення методики та техніки складання блоку кінцевих мір довжини, визначення похибки блоку, уміння застосовувати міри спільно зі спеціальним приладдям.

Завдання

Для вирішення конкретної задачі (налаштування на розмір під час вимірювання головкою, нутроміром, скобою, виконання розміточних робіт тощо) вибрати відповідне приладдя, скласти блок мір та визначити його похибку при складанні за класами та розрядами.

Технічне забезпечення

1. Набір плоскопаралельних кінцевих мір довжини з атестатом повірки – 1 шт.
2. Набір приладдя до плоскопаралельних кінцевих мір довжини – 1 шт.

2.3.1 Загальні положення. Призначення, конструкція, точність мір

Міра (величини)

> вимірювальний пристрій, що реалізує відтворення або збереження фізичної величини заданого значення [ДСТУ 2681].

Плоскопараллельні кінцеві міри довжини широко використовують у лабораторній практиці лінійних вимірювань у якості **зразкових** та **робочих** мір.

Призначення **зразкових мір:**

- передача розміру одиниці довжини від первинного еталона до кінцевих мір меншої точності;
- повірка засобів вимірювальної техніки тобто встановлення їх придатності до застосування;
- градуювання шкал вимірювальних приладів.

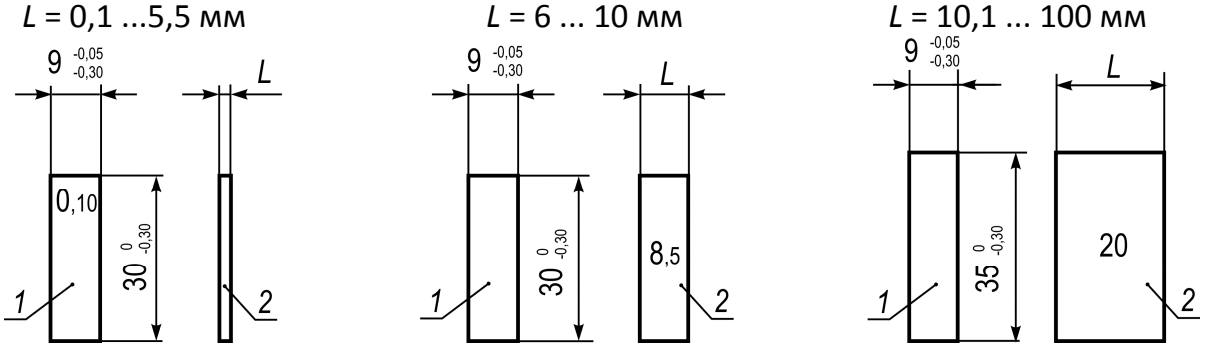
Призначення **робочих мір:**

- регулювання показувальних приладів;
- настроювання вимірювальних приладів на нуль чи на заданий розмір;
- безпосереднє вимірювання лінійних розмірів промислових виробів;
- виконання розміточних робіт;
- налаштування верстатів.

Основні характеристики, що впливають на вибір кінцевих мір включають:

- точність розміру;
- зносостійкість (стійкість до механічного стирання);
- чистота вимірювальних поверхонь;
- розмірна стійкість;
- коефіцієнт лінійного розширення та теплопровідність.

Конструкція мір. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини виготовляють у вигляді прямокутних паралелепіпедів чи циліндрів, з двома плоскими взаємно паралельними вимірювальними робочими поверхнями. Неробочі поверхні використовують для нанесення маркування розміру міри, крім мір розміром до 5,5 мм, у яких маркування наносять на робочу поверхню якомога далі від середини вимірювальної поверхні (рис. 2.10).



1 – вимірювальна поверхня міри
2 – неробоча поверхня міри
L – номінальний розмір міри

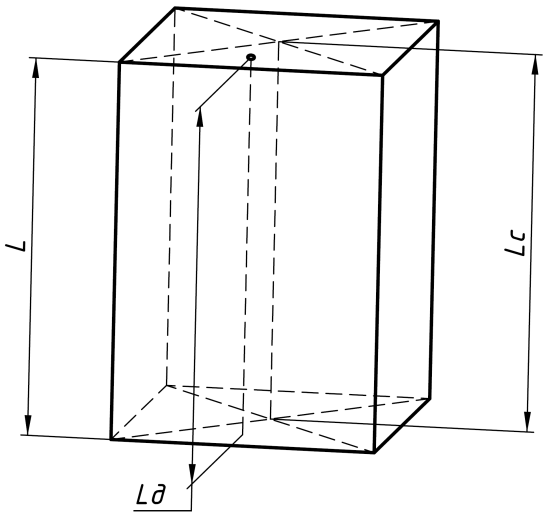
Рис. 2.10 – Розміри мір

Плоскопаралельні міри довжини переважно виготовляють із загартованих легованих сталей, а також з твердих сплавів або кераміки. Робочі поверхні мір мають високу твердість (не нижче 800 HV) та високу якість обробленої поверхні. Особливістю кінцевих мір довжини є висока площинність вимірювальних (робочих) поверхонь, їх паралельність між собою та мала шорсткість. Після доведення вимірювальних поверхонь шорсткість не повинна перевищувати значення *Rz* 0,063 мкм.

Метрологічні характеристики мір. Основні характеристики мір встановлено ГОСТ 9038.

Довжина кінцевої міри (в будь-якій точці)

довжина перпендикуляра, опущеного з даної точки вимірювальної поверхні кінцевої міри на її протилежну вимірювальну поверхню (рис. 2.11).



L – номінальна довжина кінцевої міри
$L_д$ – довжина кінцевої міри (у довільній точці)
L_c – серединна довжина

Рис. 2.11 – Параметри кінцевої міри

Відхилення довжини кінцевої міри від номінальної

найбільша за абсолютним значенням різниця між довжиною кінцевої міри в будь-якій точці та номінальною довжиною кінцевої міри.

Серединна довжина кінцевої міри

довжина перпендикуляра, опущеного з центра однієї вимірювальної поверхні на протилежну вимірювальну поверхню.

Відхилення від плоскопаралельності кінцевої міри

різниця між найбільшою та найменшою довжинами кінцевої міри.

Кожна окрема плоскопаралельна кінцева міри довжини є **однозначною мірою**, тобто вона здатна відтворювати фізичну величину лише одного розміру. Але з однозначних мір можна утворити блок мір, розмір якого буде дорівнювати сумі розмірів складових мір. **Багатозначна міра** відтворює ряд одноіменних величин різного розміру.

Плоскопаралельні кінцеві міри довжини випускають у вигляді окремих мір, наборів мір та спеціальних наборів мір (рис. 2.12). Кількість мір у наборах та їх градація визначаються стандартом або виконуються на замовлення.

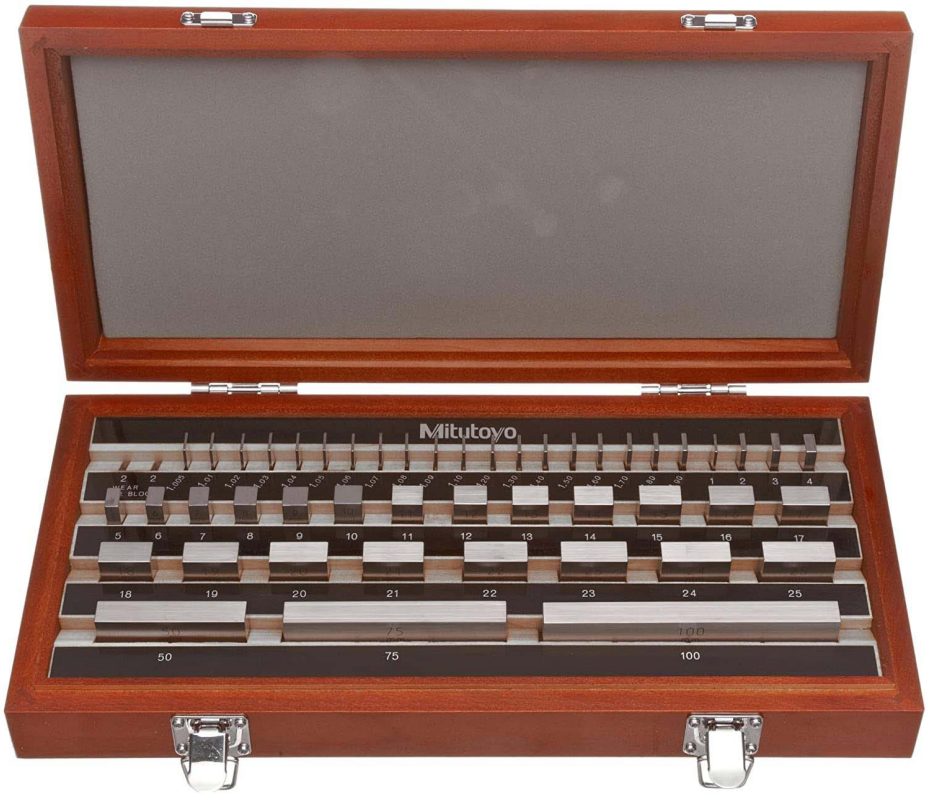


Рис. 2.12 – Набір плоскопаралельних кінцевих мір (Mitutoyo)

Класи точності кінцевих мір. Залежно від точності виготовлення міри із сталі та твердого сплаву випускають декількох класів точності: *00*; *01*; *0*; *1*; *2*; *3* (табл. 2.7). Найвищим є клас точності *00*. Клас точності блоку кінцевих мір визначається найнижчим класом міри, що входить до блоку.

Для кінцевих мір, що знаходяться в експлуатації (у тому числі, що випускаються після ремонту) за МИ 1604, встановлено додаткові класи точності: *4* і *5* (табл. 2.8).

Схему полів допусків на виготовлення мір, залежно від класу, наведено на рис. 2.13. Поля допусків розташовано симетрично відносно нульової лінії, яка відповідає номінальному розміру міри *L*.

Таблиця 2.7

Класи мір (ГОСТ 9038, скорочено)

Номінальне значення довжини кінцевої міри, мм	Допустиме відхилення											
	довжини від номінального значення ±, мкм для класів точності						від плоскопаралельності, мкм для класів точності					
	00	*01*	*0*	*1*	*2*	*3*	*00*	*01*	*0*	*1*	*2*	*3*
Понад 0,9...10	0,06	0,20	0,12	0,20	0,40	0,80	0,05	0,05	0,10	0,16	0,30	0,30
10 ... 25	0,07	0,30	0,14	0,30	0,60	1,20	0,05	0,05	0,10	0,16	0,30	0,30
25 ... 50	0,10	0,40	0,20	0,40	0,80	1,60	0,06	0,06	0,10	0,18	0,30	0,30
50 ... 75	0,12	0,50	0,25	0,50	1,00	2,00	0,06	0,06	0,12	0,18	0,35	0,40
75 ... 100	0,14	0,60	0,30	0,60	1,20	2,50	0,07	0,07	0,12	0,20	0,35	0,40

Таблиця 2.8

Додаткові класи мір, що вийшли з ремонту (МИ 1604, скорочено)

Номінальні значення довжини кінцевих мір, мм	Допустимі відхилення, мкм для класів точності			
	4		*5*	
	довжини кінцевої міри від номінального значення, ±	від плоскопаралельності	довжини кінцевої міри від номінального значення, ±	від плоскопаралельності
До 10	2,0	0,6	4	0,6
Понад 10 до 25	2,5	0,6	5	0,6
>> 25 >> 50	3,0	0,6	6	0,6
>> 50 >> 75	4,0	0,8	8	0,8
>> 75 >> 100	5,0	0,8	10	0,8
>> 100 >> 150	6,0	0,8	10	0,8
>> 150 >> 200	8,0	0,8	15	0,8

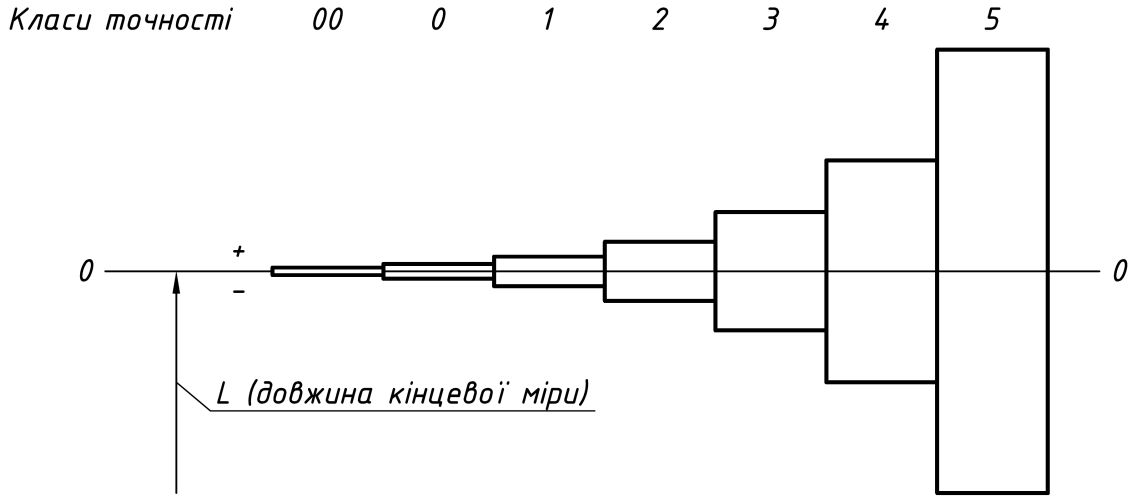


Рис. 2.13 – Схеми полів допусків на виготовлення мір

Розряди кінцевих мір

Для підвищення точності вимірювання кінцевими мірами без підвищення точності їх виготовлення у метрологічних лабораторіях виконують атестацію мір на розряди. За результатами атестації кінцевим мірам присвоюють розряди: *1, 2, 3, 4, 5*. Для кожного з розрядів нормативними документами встановлено границі допустимої похибки вимірювання та допустиме відхилення від плоскопаралельності (табл. 2.9).

Таблиця 2.9

Розряди мір (МИ 1604, скорочено)

Номінальне значення довжини кінцевої міри, мм	Границі допустимих похибок вимірювання довжини, мкм, ±					Допустиме відхилення від плоскопаралельності, мкм				
	Розряди мір									
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
До 10 вкл.	0,02	0,06	0,11	0,22	0,6	0,09	0,09	0,16	0,30	0,6
Понад 10 ... 25	0,02	0,06	0,12	0,25	0,6	0,10	0,10	0,16	0,30	0,6
>> 25 >> 50	0,03	0,08	0,15	0,30	0,8	0,10	0,10	0,18	0,30	0,6
>> 50 >> 75	0,03	0,09	0,18	0,35	0,9	0,12	0,12	0,18	0,35	0,8
>> 75 >> 100	0,04	0,10	0,20	0,40	1,0	0,12	0,12	0,20	0,35	0,8

У результаті виконання атестації для кожної міри набору встановлюють її дійсне відхилення від номінального розміру і оформлюють у вигляді атестату, який додається до набору. У табл. 2.10 наведені результати повірки набору кінцевих мір 3 класу 5 розряду (кількість мір у наборі – 38 шт). А в табл. 2.11 – результати повірки набору мір 2 класу 3 розряду (кількість мір у наборі – 83 шт.)

Таблиця 2.10

Результати повірки мір 3 класу 5 розряду

Номінальний розмір міри, мм	Дійсне відхилення довжини міри, мкм	Номінальний розмір міри, мм	Дійсне відхилення довжини міри, мкм	Номінальний розмір міри, мм	Дійсне відхилення довжини міри, мкм
1,005	+0,06	1,3	-0,3	8,0	-0,3
1,00	+0,1	1,4	-0,3	9,0	-0,5
1,01	-0,2	1,5	+0,4	10	+0,7
1,02	+0,4	1,5	-0,2	20	+1,1
1,03	-0,3	1,7	-0,3	30	+1,2
1,04	-0,3	1,8	-0,4	40	-1,4
1,05	+0,2	1,9	-0,4	50	-1,5
1,06	+0,5	2,0	+0,3	60	+1,6
1,07	-0,4	3,0	+0,3	70	+2,0
1,08	-0,2	4,0	+0,4	80	-1,5
1,09	+0,3	5,0	-0,2	90	-1,8
1,1	-0,5	6,0	+0,3	100	+2,2
1,2	-0,6	7,0	+0,2		

Таблиця 2.11

Результати повірки мір 2 класу 3 розряду

Номінальний розмір міри, мм	Дійсне відхилення довжини міри, мкм	Номінальний розмір міри, мм	Дійсне відхилення довжини міри, мкм	Номінальний розмір міри, мм	Дійсне відхилення довжини міри, мкм
1,005	+0,20	1,28	-0,04	1,9	+0,14
1,01	-0,14	1,29	+0,03	2	-0,06
1,02	+0,02	1,30	+0,10	2,5	+0,08
1,03	-0,08	1,31	-0,09	3	+0,13
1,04	+0,12	1,32	-0,13	3,5	-0,03
1,05	+0,14	1,33	+0,03	4	+0,05
1,06	+0,03	1,34	0,0	4,5	+0,07
1,07	-0,12	1,35	-0,08	5	-0,10
1,08	+0,08	1,36	-0,10	5,5	+0,13
1,09	-0,01	1,37	-0,03	6	-0,14
1,10	+0,05	1,38	-0,36	6,5	-0,10
1,11	-0,07	1,39	+0,05	7	-0,01
1,12	-0,05	1,40	-0,05	7,5	-0,29
1,13	-0,34	1,41	-0,1	8	-0,20
1,14	-0,08	1,42	-0,08	8,5	+0,14
1,15	-0,03	1,43	+0,18	9	-0,10
1,16	+0,01	1,44	+0,02	9,5	+0,14
1,17	-0,06	1,45	-0,05	10	-0,08
1,18	+0,07	1,46	0,0	20	+0,19
1,19	+0,15	1,47	+0,06	30	+0,05
1,20	+0,06	1,48	+0,02	40	+0,02
1,21	+0,06	1,49	+0,24	50	-0,31
1,22	+0,05	0,5	-0,04	60	-0,20
1,23	-0,20	1,0	-0,13	70	-0,21
1,24	+0,05	1,5	+0,08	80	-0,75
1,25	-0,02	1,6	+0,05	90	-0,05
1,26	-0,35	1,7	-0,08	100	-0,22
1,27	-0,36	1,8	-0,19		

2.3.2 Складання блоку кінцевих мір

Вимірювальні робочі поверхні мір ретельно оброблені з високою точністю та якістю і, завдяки явищу молекулярного притягання, мають властивість під дією притирання зчіплятися з іншими мірами, утворюючи блок. Товщина шару молекул повітря чи рідини між окремими мірами у блоці складає лише декілька нанометрів, тому його не враховують.

Під час складання мір дотримуються наступних правил:

- міри перед складанням мають бути очищені від пилу, бруду та інших часток, бо вони можуть пошкодити вимірювальні поверхні. Для цього міри мають бути промиті та витерті тканиною без ворсу;

- складання мір виконують над м’яким покриттям, щоб у разі падіння міри не були пошкоджені робочі поверхні цієї міри чи мір, що знаходяться на столі;
- складання мір голими руками викликає корозію сталі та теплове розширення мір за рахунок тепла рук, тому доцільно застосовувати захисні рукавички зі шкіри, латексу, гуми, тканини тощо;
- кількість мір у наборі має бути мінімальною;
- складання починають з міри найбільшого розміру.

Способи притирання мір

Спосіб перший. Міри тримають у формі хреста і, міцно стискаючи між собою, ковзають вгору та вниз (рис. 2.14). Потім під тиском міри повертають до їх вирівнювання. Цей спосіб застосовують для мір великих розмірів.

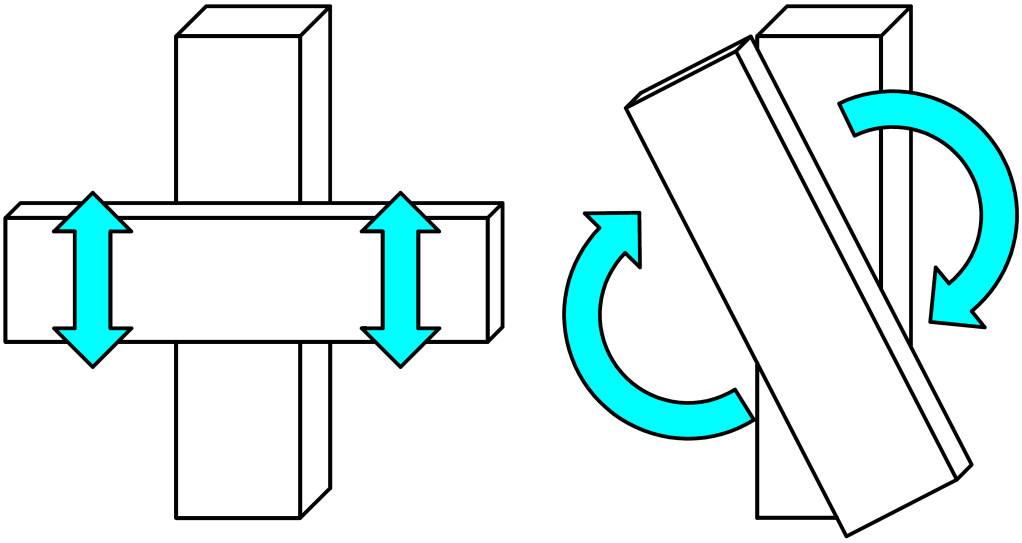


Рис. 2.14 – Перший спосіб притирання мір

Спосіб другий. Міри притискають одну до одної та повертають вперед та назад (рис. 2.15). Коли відчувається зчеплення (поворот потребує більшої сили), міри вирівнюють.

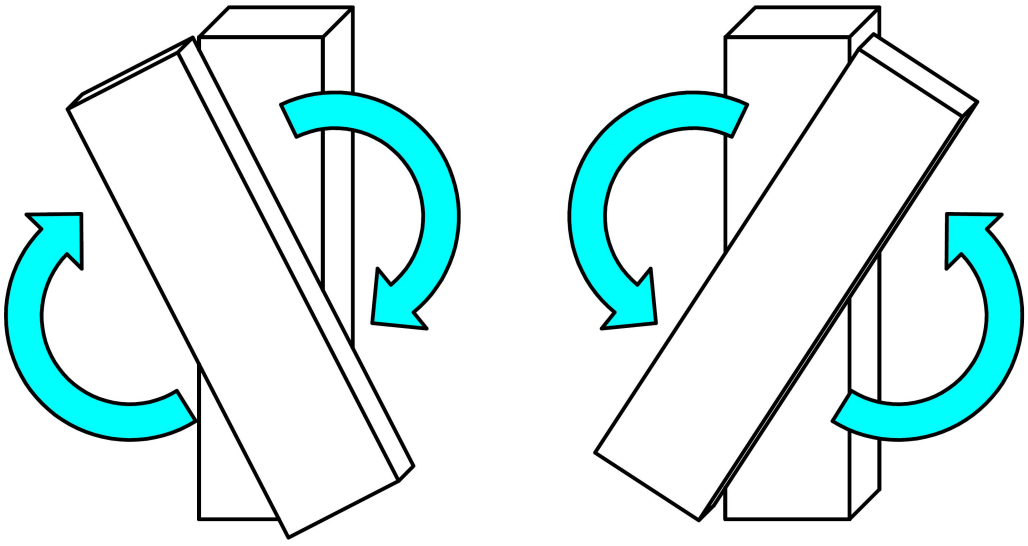


Рис. 2.15 – Другий спосіб притирання мір

Спосіб третій. Одну міру кладуть на іншу по довжині і, міцно притискаючи по робочих поверхнях, насувають у поздовжньому напрямі (рис. 2.16). При цьому одна міра ковзає по іншій. Після зачеплення мір краї блоку вирівнюють. Цей спосіб добре працює з мірами невеликого розміру (малої товщини).

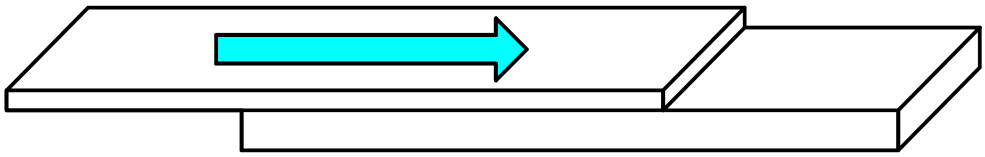


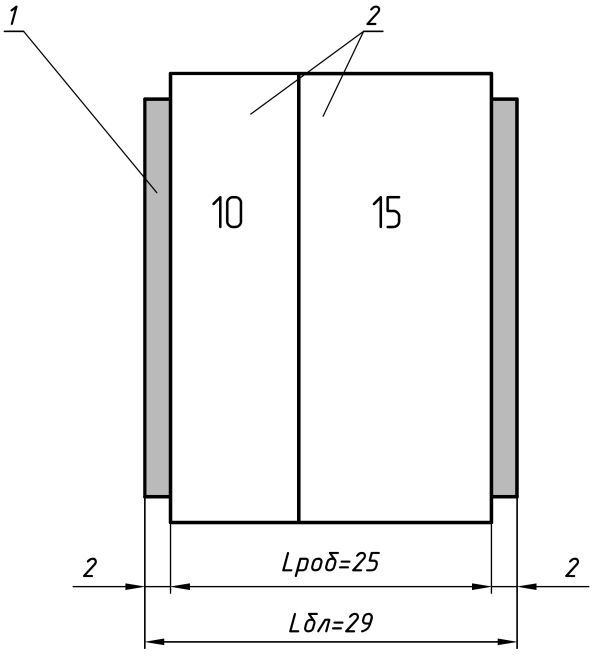
Рис. 2.16 – Третій спосіб притирання мір

Підбір мір полягає у послідовному виборі мір, які відповідають останнім найменшим значенням заданого розміру. До складу блоку мір, у ряді випадків, додають захисні міри.

Захисна міра

міра, що встановлюється по краях блоку мір, для запобігання зношенню основних мір.

Захисні міри переважно виготовляють з твердого сплаву чи кераміки (рис. 2.17). Розмір кожної з таких мір найчастіше беруть 1 мм або 2 мм.



1 – основні міри блоку (стальні)
2 – захисні міри (твердосплавні чи керамічні)

Рис. 2.17 – Захисні міри

Похибки блоку кінцевих мір довжини. Розрізняють похибки під час складання блоку за класами та за розрядами. Під час складання блоку **за класами** за розмір кожної міри беруть її номінальний розмір. Граничну похибку блоку мір визначають за формулою:

$$\Delta_{кл} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} |\Delta_i|^2}$$

де $\Delta_{кл}$ - гранична похибка блоку мір за даним класом точності;

Δ_i - допустиме відхилення довжини міри від номінального значення під час її виготовлення за відповідним класом;

k - кількість мір у наборі.

Під час складання блока **за розрядами** за розмір міри беруть не номінальні, а дійсні розміри кожної міри (під час атестації на розряд встановлюють їх дійсне відхилення від номінального розміру).

Граничну похибку блоку мір визначають за формулою

$$\delta_p = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} |\delta_i|^2}$$

де δ_p - гранична похибка блоку мір за даним розрядом;

δ_i - границі допустимої похибки вимірювання довжини для заданого розряду;

k - кількість мір у наборі.

Застосування кінцевих мір за розрядом, тобто з урахуванням поправок до їх номінальних розмірів, підвищує точність вимірювань, розширює можливості використання мір грубих класів та мір, що були в експлуатації та пройшли ремонт.

Приклад. З набору мір (табл. 2.10) сформувати блок з розміром L = 87,375 мм. Визначити похибку блоку мір у разі формування за 3 класом та 5 розрядом.

Схему підбору мір блоку наведено на рис. 2.18.

Розмір блоку	87,375
міра 1	1,005
залишок	86,37
міра 2	1,07
залишок	85,3
міра 3	1,3
залишок	84
міра 4	4
міра 5	80

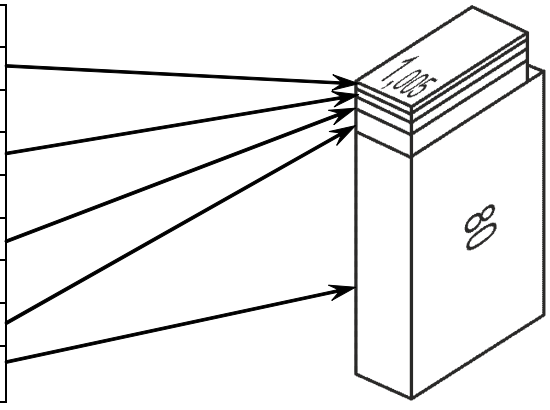


Рис. 2.18 – Підбір блоку мір

За класами

- Розмір блоку мір $L = 87{,}375$ мм;
- Похибка блоку мір (допустимі відхилення мір 3 класу див. табл. 2.7)

$$\Delta_{кл} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} |\Delta_i|^2} = \sqrt{(0{,}8)^2 + (0{,}8)^2 + (0{,}8)^2 + (0{,}8)^2 + (2{,}0)^2} = 2{,}135 \text{ мкм}$$

- Тоді розмір блоку $L = 87{,}375 \pm 0{,}0021$ мм

За розрядами

- Номінальний розмір блоку $L = 87{,}375$ мм;
- Дійсне відхилення розміру блоку за атестатом (табл. 2.10):

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 = +0{,}06 + (-0{,}4) + (-0{,}3) + 0{,}4 + (-1{,}5) = -1{,}74 \text{ мкм}$$

- Дійсний розмір блоку мір

$$L = 87{,}375 - 0{,}0017 = 87{,}3733 \text{ мм}$$

- Похибка блоку мір (границі допустимої похибки вимірювання довжини для 5 розряду див. табл. 2.7)

$$\delta_p = \sqrt{\sum_{i=1}^{k} |\delta_i|^2} = \sqrt{(0{,}6)^2 + (0{,}6)^2 + (0{,}6)^2 + (0{,}6)^2 + (1{,}0)^2} = 1{,}562 \text{ мкм}$$

- Тоді розмір блоку $L = 87{,}3733 \pm 0{,}0016$ мм

Приладдя для мір

Область застосування кінцевих мір значно розширюється у разі їх застосування спільно зі спеціальним приладдям.

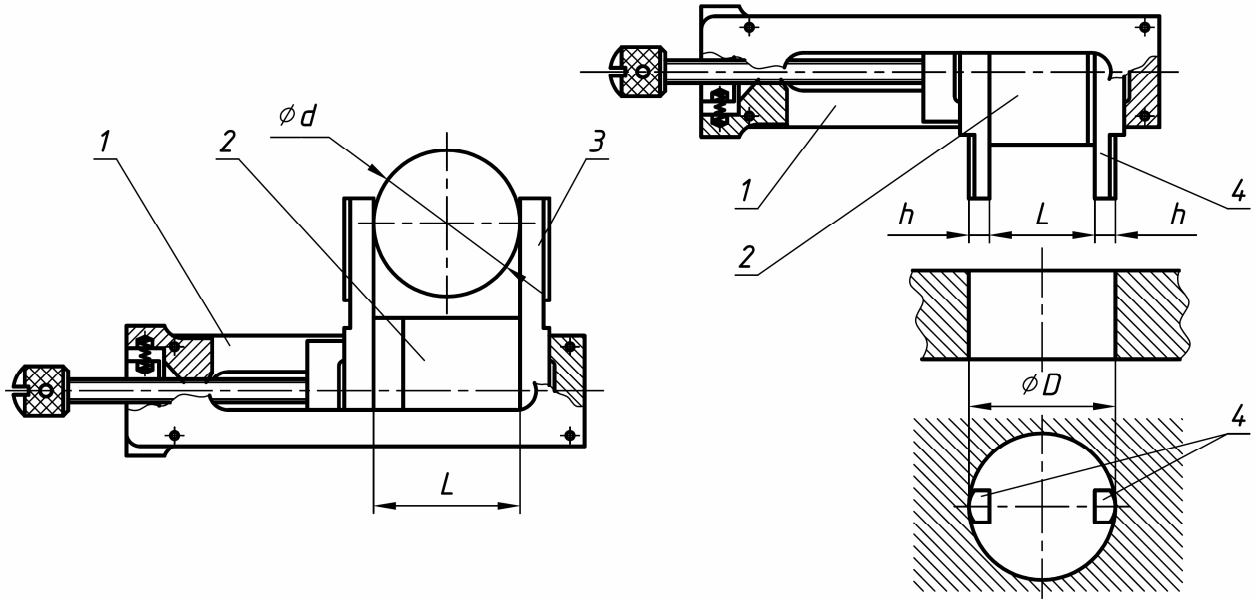
У набір приладдя до плоскопаралельних кінцевих мір входять наступні деталі (рис. 2.19):

- основа для встановлення блоків під час розмітки;
- державки для кріплення кінцевих мір і блоків – використовують для повірки та розмітки розмірів;
- стяжки та сухарі для кріплення блоків;
- плоскопаралельні та радіусні боковики для перевірки зовнішніх і внутрішніх розмірів;
- розміточні боковики тощо.

Рис. 2.19 – Приладдя до кінцевих мір

За допомогою державки *1*, блоку кінцевих мір *2* та плоскопаралельних боковиків *3* можна скласти скобу для налаштування приладів, наприклад, нутроміра чи контролю вала (рис. 2.20, а). Діаметр вимірюваної деталі дорівнює розміру блоку мір $D = L$.

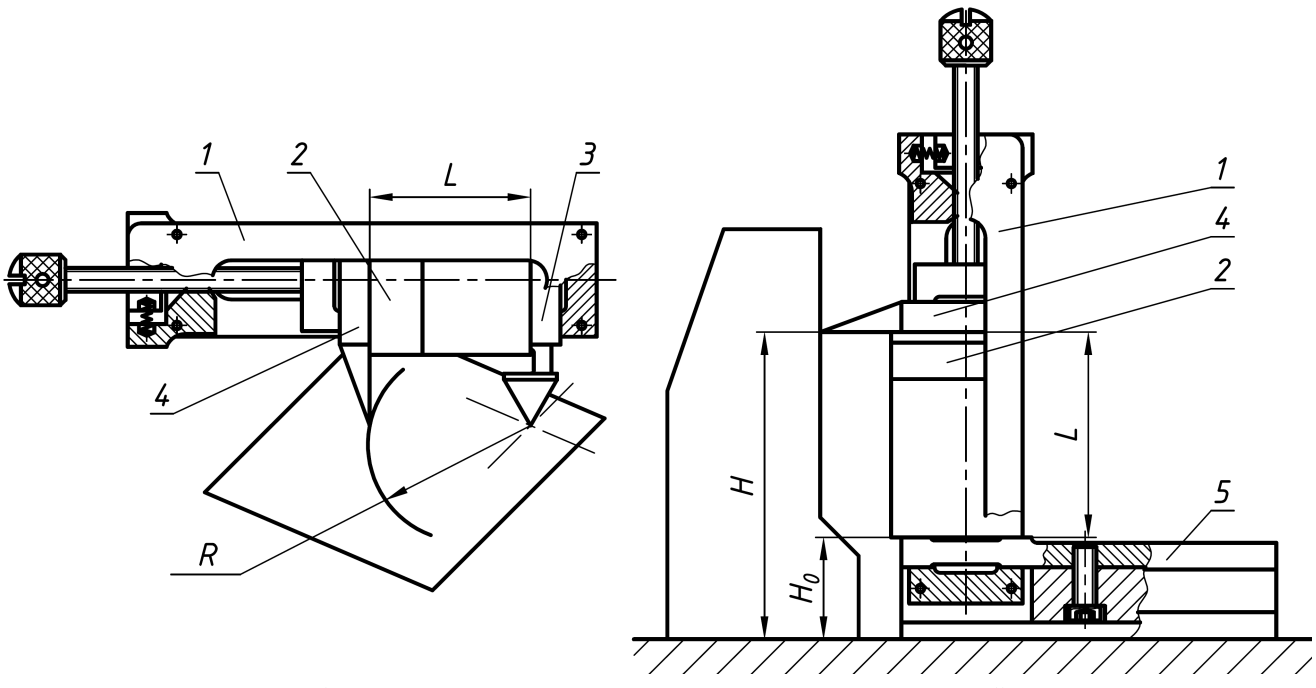
За допомогою державки *1*, блоку кінцевих мір *2* та радіусних боковиків *4* можна скласти неповну пробку для контролю отвору (рис. 2.20, б). Діаметр вимірюваного отвору дорівнює розміру блоку мір та сумі товщин *h* боковиків: $D = L + 2h$.



а) *б)*

Рис. 2.20 – Схема контролю валів та отворів за допомогою мір та приладдя

За допомогою державки *1*, блоку кінцевих мір *2*, центрового *3* та розміточного *4* боковиків можна скласти циркуль для накреслення на металевій деталі кола радіусом *R*, який дорівнює розміру блоку мір $R = L$ (рис. 2.21, а). Вершина центра боковика лежить на продовженні внутрішньої доведеної площини.



а) *б)*

Рис. 2.21 – Схема розмітки деталей за допомогою мір та приладдя

На рис. 2.21, б наведена схема розмітки на деталі горизонтальної риски на висоті H за допомогою основи *5*, державки *1*, блоку кінцевих мір *2* та розміточного боковика *4* $H = H_0 + L$.

2.3.3 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо конструкції, точності та застосування плоскопаралельних кінцевих мір довжини (п. 2.3.1 та 2.3.2).
2. Для заданого номінального розміру підібрати міри та скласти блок
3 Розрахувати розміри блоку мір при складанні за класами та розрядами, дані занести в протокол (табл. 2.12).
4. Залежно від завдання, виданого викладачем, підібрати необхідне приладдя та скласти скобу, пробку, циркуль тощо.
5. Зробити висновок щодо точності блоку мір.

Таблиця 2.12

Результати визначення точності блоку мір

1.	Номінальний розмір блоку мір, мм				
2.	Клас мір				
3.	Розряд мір				
4	№ міри	Номінальний розмір міри, мм	Допустиме відхилення для класу точності, мкм	Дійсне відхилення довжини міри за атестатом, мкм	Допустимі границі похибки вимірювання довжини міри за розрядом, мкм
	1				
	2				
	...				
	...				
	n				
5	Розмір міри за класом				
6	Розмір міри за розрядом				
7	Висновок щодо точності блоку мір				

2.4. Лабораторна робота № 2. Вимірювання розмірів поверхонь штангенінструментом

Мета роботи

Вивчення будови та області застосування штангенінструментів, а також методики і техніки вимірювання лінійних розмірів.

Завдання

Виконати вимірювання розмірів заданої деталі штангенінструментом та встановити її придатність відповідно до кресленика.

Технічне забезпечення

1. Штангенциркуль, – 1 шт.

2. Штангенрейсмус – 1 шт.

3. Штангенглибиномір – 1 шт.

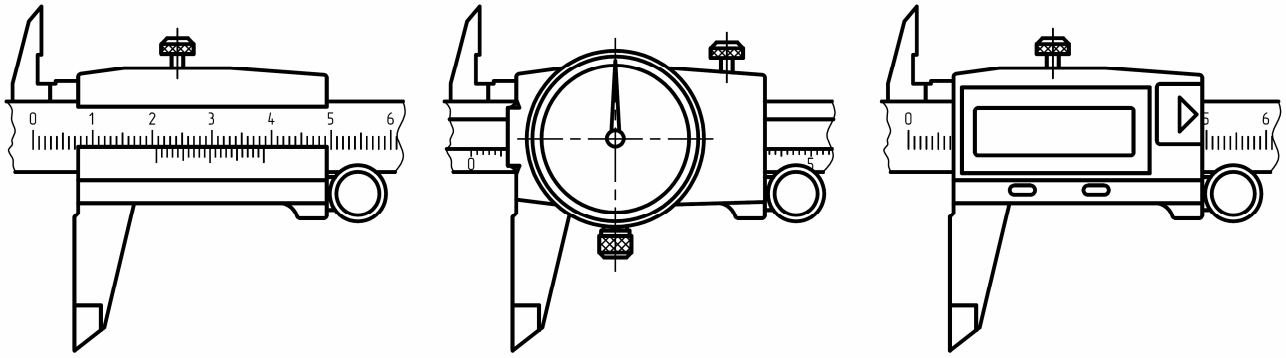
4. Деталь – 1 шт.

2.4.1. Штангенінструмент. Будова та принцип дії.

Штангенінструмент

узагальнена назва приладів для вимірювання та розмічання зовнішніх, внутрішніх і змішаних розмірів – валів, отворів, глибин, висот.

Штангенінструмент має дві вимірювальні губки, між робочими поверхнями яких встановлюється вимірювана деталь [2]. Одна з цих губок (базова) становить єдине ціле з штангою *1*, а інша – з'єднана з рухомою, відносно штанги, рамкою *2* (рис. 2.22). Випускаються штангенінструменти з ноніусом *3*, з індикатором годинникового типу *4* або електронним цифровим табло *5*. Дискретність індикації цифрового пристрою складає 0,01 мм (рис. 2.22, в). Штангенінструменти з ноніусом мають ціну поділки шкали 0,1 мм (ноніус 9 чи 19 мм), 0,05 мм (ноніус 19 чи 39 мм), 0,02 мм (ноніус 49 мм) (рис.2.23).



а) *б)* *в)*

Рис. 2.22 – Штангенінструмент:
а – з ноніусом, б - з індикатором годинникового типу, в – з електронним цифровим табло

Лінійний ноніус

допоміжна шкала, що встановлюється на різних вимірювальних приладах та слугує для більш точного визначення часток поділок.

У більшості типів штангенінструментів на нерухомій штанзі нанесено основну шкалу. Вздовж штанги переміщується рамка з вимірювальною губкою і шкалою ноніуса.

Розглянемо дві лінійки [3], складені разом (рис.2.23, а). Нехай a – інтервал поділок основної шкали, b – інтервал поділок ноніуса. Лінійки утворюють ноніус з кількістю поділок m (ціле число).

Тоді довжина шкали ноніуса:

$$l = b \cdot m = a \cdot (m-1)$$

де $a \cdot (m-1)$ - довжина поділок основної шкали.

Величина відліку за ноніусом, тобто ціна поділки шкали ноніуса

$$c = a - b = a/m$$

Кількість поділок шкали ноніуса:

$$m = a/c$$

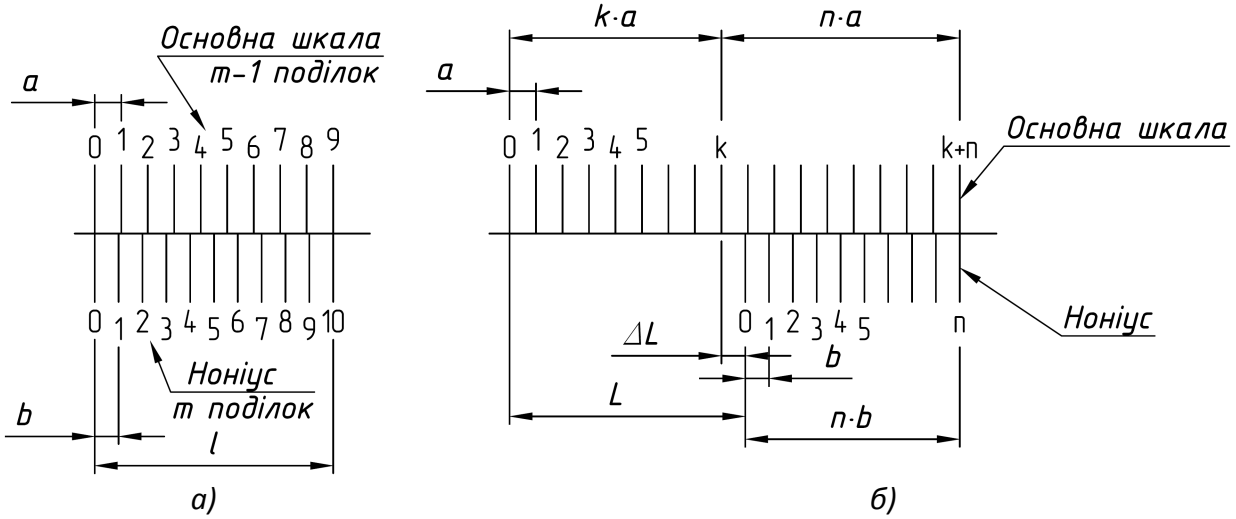


Рис. 2.23-Будова ноніуса

Для розрахунку ноніуса, виходячи з габаритних розмірів шкали, задаються модулем γ, який є конструктивним параметром штангенінструмента і дорівнює цілому числу *1*, *2* тощо. Якщо γ =1, то довжина ноніуса складає 9 поділок основної шкали, якщо γ =2– то 19 поділок, якщо γ =3 – то 29 поділок і так далі. У прикладі (рис. 2.23, а) γ =1. За допомогою модуля γ встановлюється взаємозв'язок між інтервалами основної шкали та шкали ноніуса:

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

Вимірювання за допомогою лінійного ноніуса здійснюють таким чином.

У вихідному положенні нульові позначки основної шкали і шкали ноніуса збігаються. Між нерухомою та рухомою губками приладу встановлюють вимірювану деталь. При цьому рамка з ноніусом зміститься вздовж штанги і займе певне положення (рис. 2.19, б). Якщо нульова позначка шкали ноніуса виявиться між позначками (штрихами) k і k+1 основної шкали, то розмір деталі L дорівнює:

$$L = k \cdot a + \Delta L,$$

де ΔL - невідома поки ще доля поділки основної шкали.

Позначимо через n позначку ноніуса, яка збігається з якоюсь позначкою основної шкали *3* (рис. 2.19, б). Видно, що номер цієї позначки $k + n$.Тоді

$$\Delta L = n \cdot a - n \cdot b = n \cdot (a - b) = n \cdot \frac{a}{m}, \qquad L = k \cdot a + n \cdot \frac{a}{m}.$$

Отже, щоб знайти розмір вимірюваної деталі за допомогою ноніуса, необхідно визначити кількість цілих найменших поділок основної шкали, що укладаються по довжині деталі, і записати їх довжину. До неї треба додати довжину ΔL, яка визначається як

добуток ціни поділки на номер позначки ноніуса, що збігається з однією із позначок основної шкали.

Приклад. Виконати зчитування показів за шкалами штангенінструмента (рис. 2.24) з величиною відліку за ноніусом $c = 0{,}1$ мм, інтервалом поділок основної шкали штанги $a = 1$ мм, модулем $\gamma = 2$.

а) *б)*

Рис. 2.24 – Будова ноніуса з величиною відліку за ноніусом 0,1 мм *(а) та приклад зчитування показів під час вимірювань (б)*

1. Інтервал поділок шкали ноніуса (рис. 2.24, а)

$$b = \gamma \cdot a - c = 2 \cdot 1 - 0{,}1 = 1{,}9 \text{ мм}$$

2. Кількість поділок шкали ноніуса

$$m = a / c = 1 / 0{,}1 = 10 \text{ поділок}$$

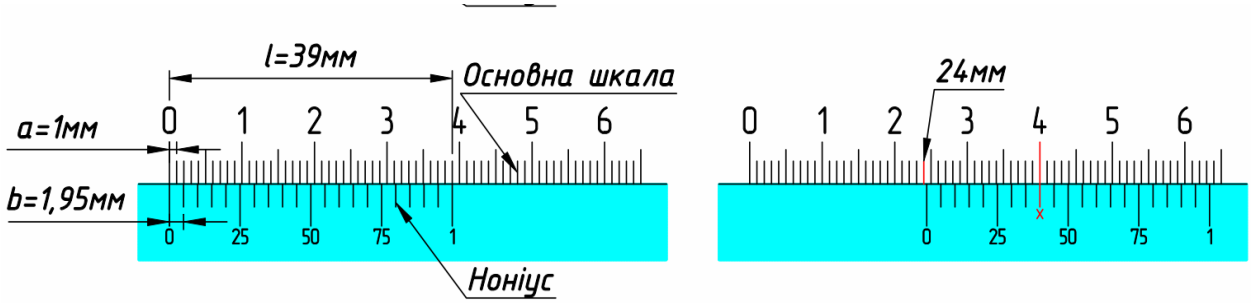
3. Довжина шкали ноніуса

$$l = m \cdot b = 10 \cdot 1{,}9 = 19 \text{ мм}$$

4. Розмір деталі, що вимірюється (рис.2.20, б):

$$L = k \cdot a + n \cdot \frac{a}{m} = 32 \cdot 1 + 7 \cdot \frac{1}{10} = 32{,}7 \text{ мм}$$

Приклад. Виконати зчитування показів за шкалами штангенінструмента (рис. 2.25) з величиною відліку за ноніусом $c = 0{,}05$ мм, інтервалом поділок основної шкали штанги $a = 1$ мм, модулем $\gamma = 2$.



а) *б)*

Рис. 2.25 – Будова ноніуса з величиною відліку за ноніусом 0,05 мм *(а) та приклад зчитування показів під час вимірювань (б)*

1. Інтервал поділок шкали ноніуса (рис.2.25, а)

$$b = \gamma \cdot a - c = 2 \cdot 1 - 0{,}05 = 1{,}95 \text{ мм}$$

2. Кількість поділок шкали ноніуса (рис.2.25, а):

$$m = a / c = 1 / 0{,}05 = 20 \text{ поділок}$$

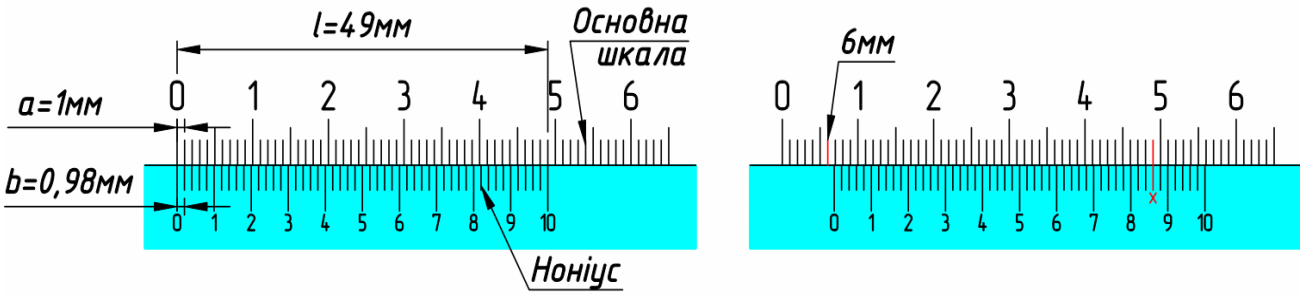
3. Довжина шкали ноніуса (рис.2.24, а):

$$l = m \cdot b = 20 \cdot 1{,}95 = 39 \text{ мм}$$

4. Довжина деталі, що вимірюється (рис.2.25, б):

$$L = k \cdot a + n \cdot \frac{a}{m} = 24 \cdot 1 + 8 \cdot \frac{1}{20} = 24{,}4 \text{ мм}$$

Приклад. Провести зчитування показів за шкалами штангенінструмента (рис. 2.26) з величиною відліку за ноніусом $c = 0{,}02$ мм, інтервалом поділок основної шкали штанги $a = 1$ мм, модулем $\gamma = 1$.



а) *б)*

Рис. 2.26 –Будова ноніуса з величиною відліку за ноніусом 0,02 мм *(а) та приклад зчитування показів під час вимірювань (б)*

1. Інтервал поділок шкали ноніуса (рис.2.26, а)

$$b = \gamma \cdot a - c = 1 \cdot 1 - 0{,}02 = 0{,}98 \text{ мм}$$

2. Кількість поділок шкали ноніуса

$$m = a / c = 1 / 0{,}02 = 50 \text{ поділок}$$

3. Довжина шкали ноніуса (рис.2.26, а):

$$l = m \cdot b = 50 \cdot 0{,}98 = 49 \text{ мм}$$

4. Довжина деталі, що вимірюється (рис.2.26, б):

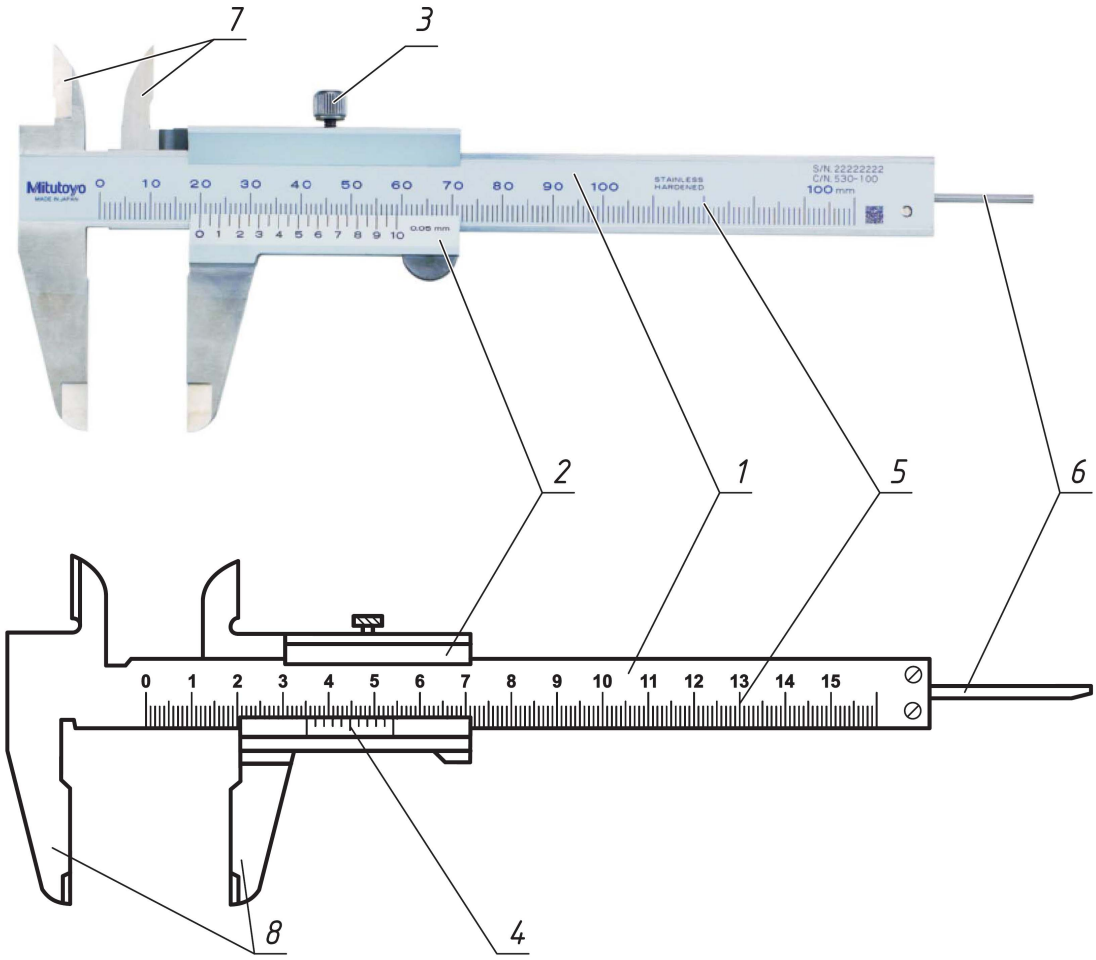
$$L = k \cdot a + n \cdot \frac{a}{m} = 6 \cdot 1 + 43 \cdot \frac{1}{50} = 6{,}86 \text{ мм}$$

До штангенінструментів відносять широко розповсюджені штангенциркулі, штангенрейсмуси і штангенглибиноміри.

Штангенциркулі призначені для вимірювання зовнішніх та внутрішніх розмірів до 2000 мм. Штангенциркулі спеціального призначення використовують для вимірювання канавок на зовнішніх і внутрішніх поверхнях, проточок, відстаней між осями отворів малих діаметрів і стінок труб.

Штангенциркуль двосторонній з глибиноміром ШЦ-І (рис.2.27) складається зі штанги *1* з нерухомими губками *7* і *8*, по якій рухається рамка *2* з рухомими губками *7* і *8*. У потрібному положенні рамку з нанесеним на неї ноніусом *4*, можна закріплювати сто-

порним гвинтом *3*. На штанзі *1* нанесено поділки, які утворюють міліметрову шкалу *5*. Ціна її поділки становить 1 мм. Довжина міліметрової шкали - 150 мм. До штанги *1* позаду прикріплено глибиномір *6*, що рухається по спеціальній канавці на штанзі.



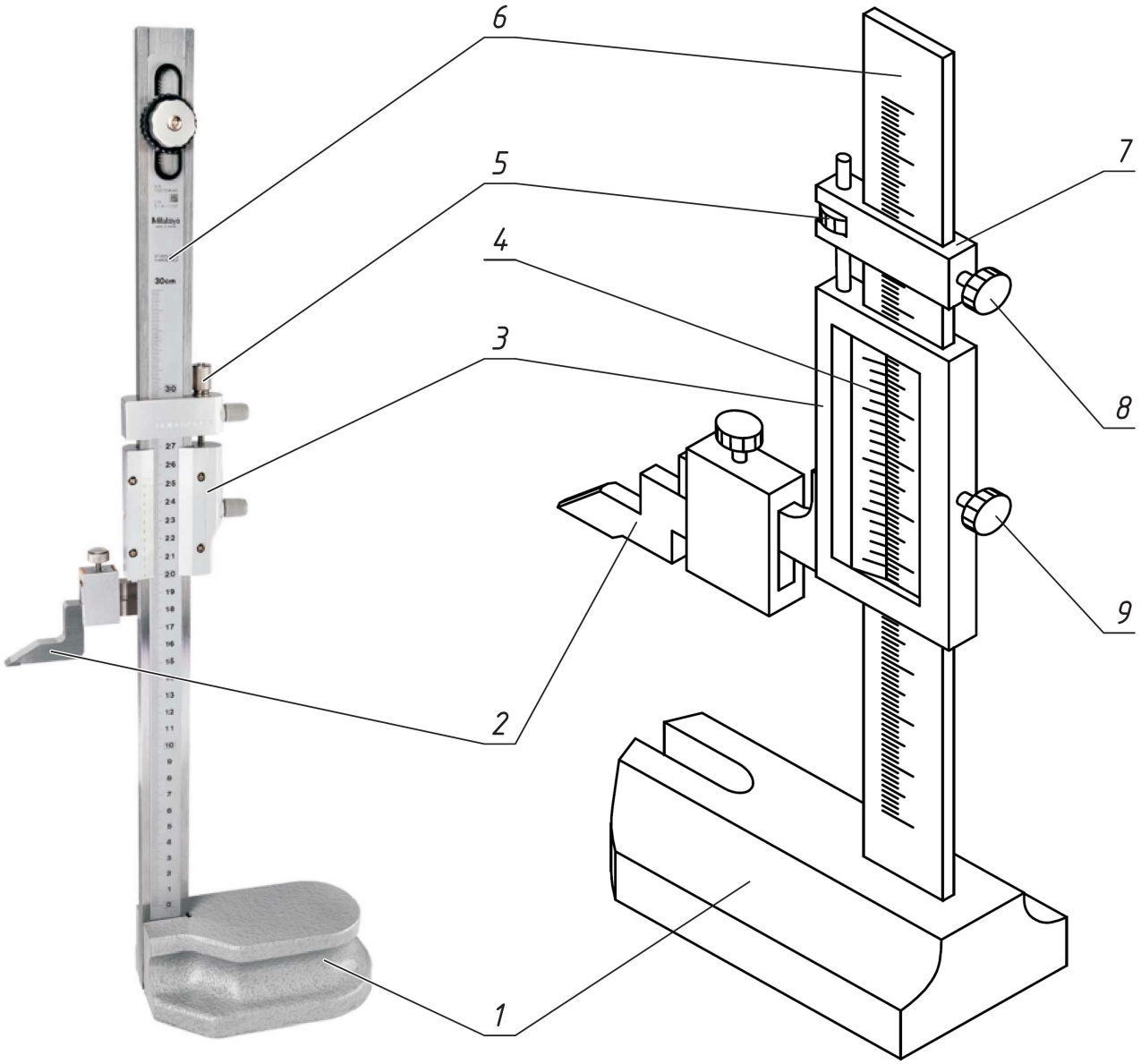
1 – штанга
2 – рамка
3 – стопорний гвинт
4 – ноніус
5 – шкала штанги
6 – глибиномір
7 – губки для вимірювання внутрішніх розмірів
8 – губки для вимірювання зовнішніх розмірів

Рис. 2.27 – Основні частини штангенциркуля

Штангенциркуль ШЦ-1 влаштований так, що різниця між ціною поділки ноніуса (1,9 мм) і найближчим до нього значенням основної шкали становить 2,0 - 1,9 = 0,1 мм, що і визначає точність вимірювання штангенциркуля ШЦ-1.

Штангенрейсмуси (рис. 2.28) застосовуються для просторової розмітки і прямих вимірювань на точній плиті відстаней від базових поверхонь деталей до виїмок, виступів і осей отворів.

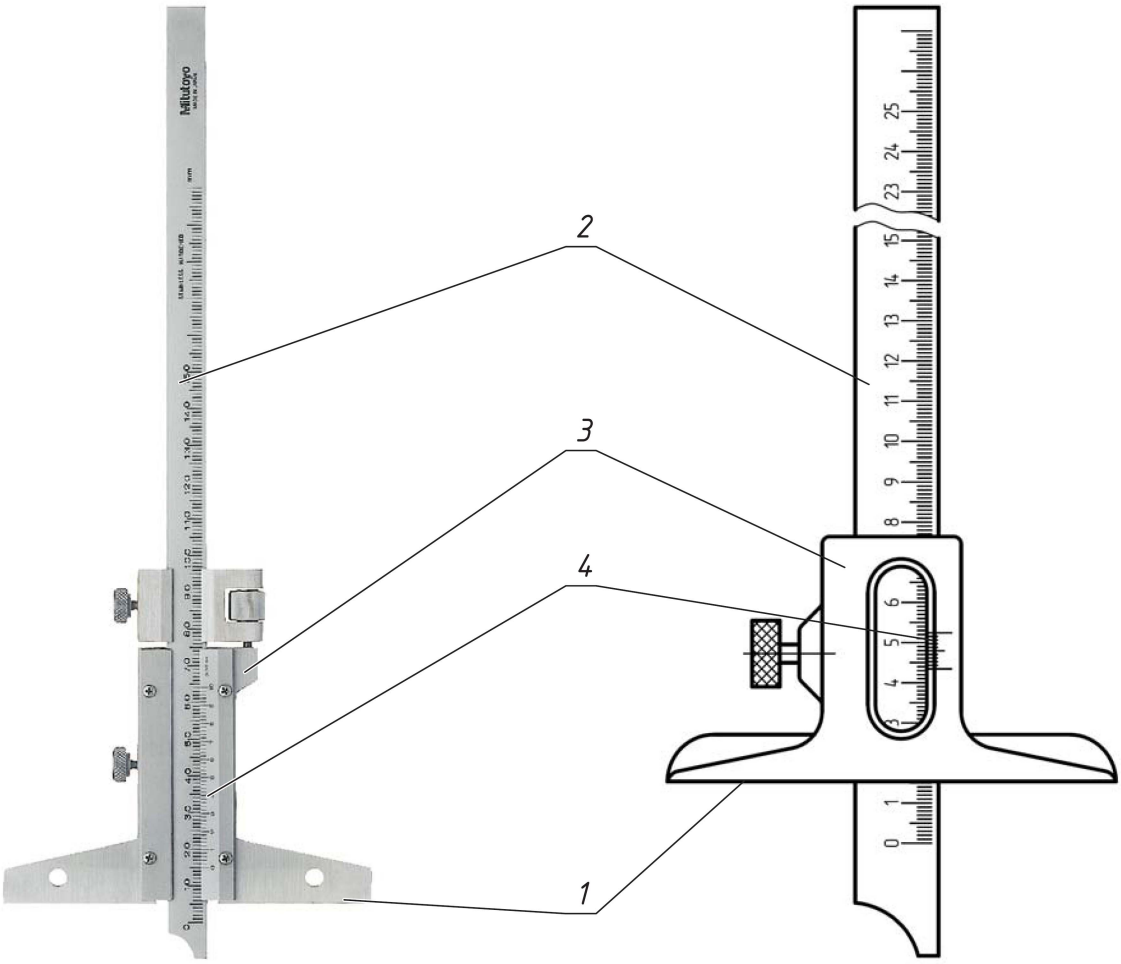
Опорною деталлю штангенрейсмуса є основа *1*, в якій закріплено штангу *6* з міліметровою шкалою. По штанзі пересувається рамка *3* з ноніусом *4* та з державкою для кріплення розмічальної ніжки *2*. Рамка мікрометричної подачі *7* тут застосована така ж сама, як і на штангенциркулі, *9* - затискач рамки мікрометричної подачі.



1 – основа;
2 – розмічальна ніжка;
3 – рамка;
4 – ноніус;
5 – гвинтова пара мікрометричної подачі
6 – штанга;
7 – рамка мікрометричної подачі;
8 – затискач рамки мікрометричної подачі;
9 – затискач рамки.

Рис. 2.28 – Основні частини штангенрейсмуса

Штангенглибиноміри призначені для вимірювання глибин отворів, пазів, висоти уступів тощо. Штангенглибиномір (рис. 2.29) має будову подібну до штангенциркуля. Штангенглибиномір складається з рамки *3* з ноніусом *4*, яка має опорну площину *1* та штангу *2*. При вимірюванні штангенглибиномір встановлюють його опорною площиною *1* на краї отвору, а штанга *2* висувається до упору у дно отвору чи пазу.



1 – опорна площина;
2 – штанга;
3 – рамка;
4 – ноніус.

Рис. 2.29 – Основні частини штангенглибиноміра

2.4.2. Вимірювання поверхонь штангенінструментом

Вимірювання поверхонь штангенциркулем. Для перевірки точності штангенциркуля потрібно звести губки штангенциркуля. При цьому повинні збігтися нульові відмітки двох шкал: нерухомої робочої з міліметровими поділками та рухомої шкали ноніуса. Також десята відмітка шкали ноніуса повинна збігтися з дев'ятнадцятою відміткою шкали штанги.

Для вимірювання виробів штангенциркулем необхідно:

- відпустити гвинт рамки, пересунути рамку вздовж штанги і розташувати її так, щоб деталь була встановлена між вимірювальними поверхнями губок;
- за допомогою мікрогвинта або вручну пересунути рамку до отримання щільного прилягання поверхонь обох губок до деталі;
- закріпити стопорний гвинт;
- зняти інструмент з деталі, зняти покази за шкалою штанги та ноніусу.

Під час вимірювання внутрішніх розмірів необхідно врахувати товщину губок штангенциркуля. Під час вимірювання глибини паза торець штанги притискають до зовнішньої поверхні деталі. Лінійку глибиноміра переміщують до дотику з дном пазу і викону-

ють відлік. Схеми вимірювання зовнішніх розмірів деталей, внутрішніх розмірів, а також глибин пазів, отворів та інше наведені на рис.2.30.

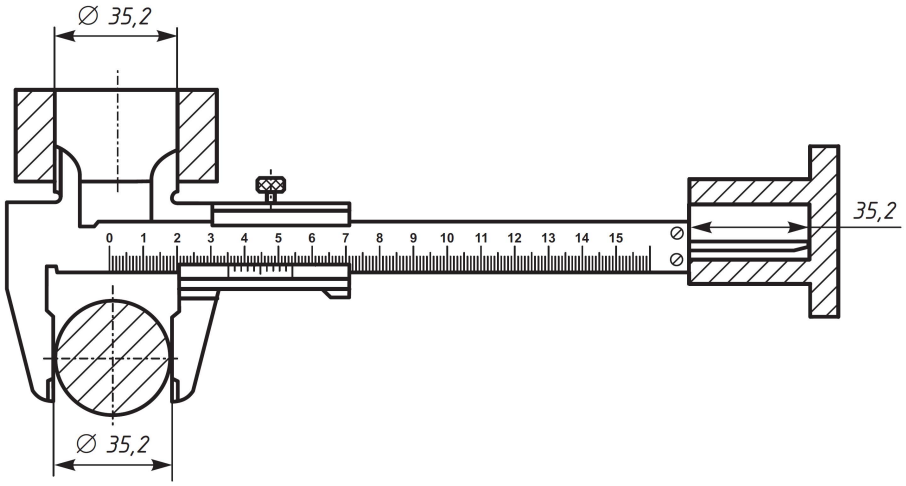


Рис. 2.30 – Схема вимірювань розмірів деталей штангенциркулем ШЦ-1

Приклад зчитування показів під час вимірювання штангенциркулем наведено на рис.2.24.

Границя допустимої похибки штангенциркуля при температурі навколишнього середовища (20±5) °С наведена в табл.2.13

Таблиця 2.13

Границя допустимої похибки штангенциркулів (±), мм (за ДСТУ ГОСТ 166)

Вимірювана довжина, мм	із значенням відліку за ноніусом			з ціною поділки кругової шкали відлікового пристрою				з кроком дискретності цифрового відлікового пристрою
	0,05	0,1 для класу точності		0,02	0,05	0,1 для класу точності		0,01
		1	2			1	2	
До 100	0,05	0,05	0,1	0,03	0,04	0,05	0,08	0,03
Понад 100 до 200								
" 200 " 300				0,04				0,04
" 300 " 400		0,1	-	-	-	-	-	
" 400 " 600	0,1							0,05
" 600 " 800								0,06
" 800 " 1000								0,07

Примітка: За вимірювальну довжину приймають номінальну відстань між вимірювальними поверхнями губок.

Вимірювання поверхонь штангенрейсмусом. Для перевірки нульового положення штангенрейсмуса потрібно прилад розмістити на еталонну плиту і переміщати його в поздовжньому напрямку. Контрольна пряма не повинна мати ламаних ділянок і інших відхилень, які в абсолютному вираженні виходять за межі точності.

Для просторової розмітки і прямих вимірювань відстаней від базових поверхонь деталей до виїмок, виступів і осей отворів необхідно (рис.2.31):

- надягти тримач для ніжки на виступ рамки приладу;
- встановити ніжку у паз тримача та закріпити стопорним гвинтом;
- помістити штангенрейсмус на контрольну еталонну плиту;
- переконатися в тому, що прилад стоїть рівно;
- притримуючи основу інструмента лівою рукою, пересунути рамку вгору та зафіксувати ніжку вище заготовки;
- встановити виріб під ніжку штангенрейсмуса;
- опустити рамку до щільного контакту ніжки з верхньою поверхнею заготовки;
- зафіксувати положення рамки за допомогою стопорного гвинта;
- покази штангенрейсмуса зчитати так само, як наведено в прикладі на рис.2.24-2.26.

При вимірюванні висоти верхньою вимірювальною площиною необхідно до отриманого розміру додати висоту ніжок.

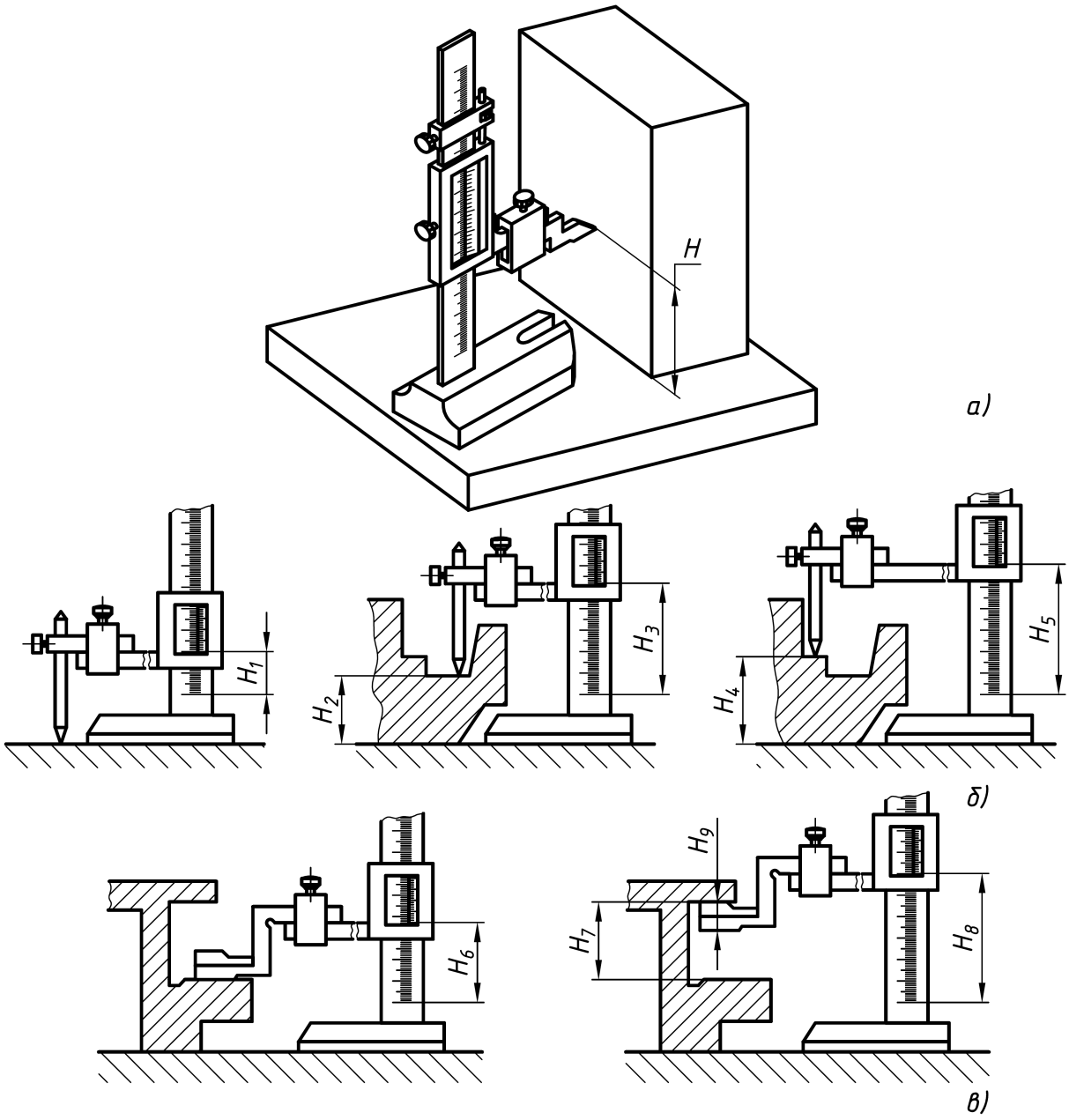


Рис. 2.31 – Схема просторової розмітки і прямих вимірювань штангенрейсмусом

Границя допустимої похибки штангенрейсмуса як при затягнутому так і при незатягнутому гвинті рамки при температурі навколишнього середовища (20±10) °С, відносній вологості не більше ніж 80% наведена в табл. 2.14.

Таблиця 2.14

Границя допустимої похибки штангенрейсмусів (±), мм (за ДСТУ ГОСТ 164)

Вимірювана довжина, мм	із значенням відліку за ноніусом		з ціною поділки кругової шкали відлікового пристрою		з кроком дискретності цифрового відлікового пристрою	
	0,05	0,10	0,02	0,05	0,01 для класів точності	
					1	2
До 250	0,05	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05
Понад 250 до 400			-		0,04	0,06
Понад 400 до 630		0,10		0,10	0,05	0,07
Понад 630 до 1000	0,10	0,10	-	0,10	0,07	0,09

Примітка: За вимірювальну довжину приймають номінальну відстань між вимірювальною поверхнею ніжки та повірочною плитою.

Вимірювання поверхонь штангенглибиноміром. Для вимірювання виробів штангенглибиноміром необхідно:

- перемістити вільно штангу в рамці і закріпити в потрібному положенні за допомогою гвинта, як показано на рис. 2.32;
- зняти покази глибини виточки або канавки за шкалою штанги та ноніусу, як наведено в прикладах на рис.2.24-2.26.

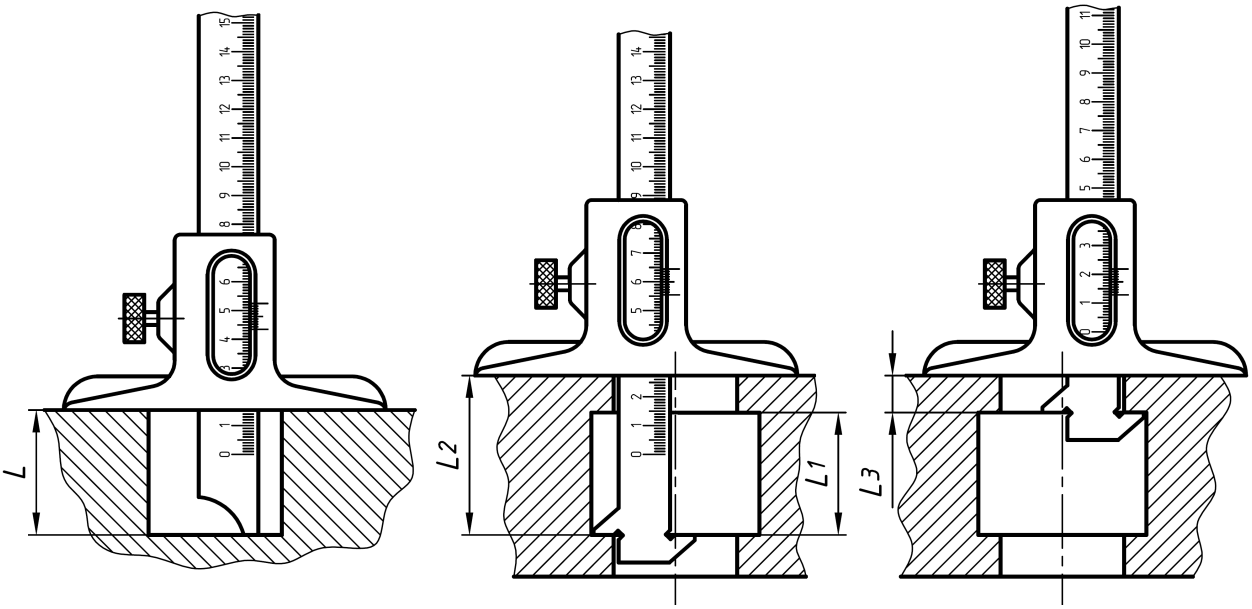


Рис. 2.32 – Схема вимірювань розмірів деталей штангенглибиноміром

Границя допустимої похибки штангенглибиноміра як при затягнутому так і при незатягнутому гвинті рамки при температурі навколишнього середовища (20±10) °С, ві-

дносній вологості не більше ніж 80% наведена в табл. 2.15.

Таблиця 2.15

Границя допустимої похибки штангенглибиноміра (±), мм (за ДСТУ ГОСТ 162)

<table>
<tr><td rowspan="2">Вимірювана довжина, мм</td><td colspan="2">із значенням відліку за ноніусом</td><td colspan="2">з ціною поділки кругової шкали відлікового пристрою</td><td>з кроком дискретності цифрового відлікового пристрою</td></tr>
<tr><td>0,05</td><td>0,1</td><td>0,02</td><td>0,05</td><td>0,01</td></tr>
<tr><td>До 100</td><td rowspan="4">0,05</td><td rowspan="3">0,05</td><td rowspan="2">0,03</td><td rowspan="4">0,05</td><td rowspan="2">0,03</td></tr>
<tr><td>Понад 100 " 200</td></tr>
<tr><td>" 200 " 300</td><td rowspan="2">0,04</td><td rowspan="2">0,04</td></tr>
<tr><td>" 300 " 400</td><td rowspan="2">0,10</td></tr>
<tr><td>" 400 " 600</td><td rowspan="2">0,10</td><td rowspan="3">-</td><td rowspan="3">-</td><td rowspan="3">-</td></tr>
<tr><td>" 600 " 800</td><td rowspan="2">0,15</td></tr>
<tr><td>" 800 " 1000</td><td>0,15</td></tr>
</table>

2.4.3. Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо основних термінів та визначень допусків і посадок гладких з’єднань (п.2.1).

2. Вивчити будову штангенінструментів (пп2.4.1, 2.4.2).

3. Ознайомитись зі схемами вимірювання.

4. Залежно від завдання, заданого викладачем, підібрати необхідний штангенінструмент та виконати вимірювання розмірів деталі, дані занести в протокол (табл.2.16).

5. Обчислити дійсні розміри деталі, зіставити їх з відповідними граничними розмірами та зробити висновок щодо придатності деталі.

6. Виконати ескіз деталі та нанести відповідні розміри.

Таблиця 2.16

Результати вимірювання розміру деталі

<table>
<tr><td>1.</td><td>Вимірювальний прилад</td><td></td></tr>
<tr><td>2.</td><td>Ціна поділки приладу, мм</td><td></td></tr>
<tr><td>3.</td><td>Розмір деталі за кресленником</td><td></td></tr>
<tr><td>4.</td><td>Номінальний розмір деталі, мм</td><td></td></tr>
<tr><td>5.</td><td>Найбільший граничний розмір, мм</td><td></td></tr>
<tr><td>6.</td><td>Найменший граничний розмір, мм</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">7.</td><td>№ вимірювання</td><td>Виміряний розмір, мм</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td></tr>
<tr><td>...</td><td></td></tr>
<tr><td>...</td><td></td></tr>
<tr><td>n</td><td></td></tr>
<tr><td>8.</td><td>Дійсний розмір, мм</td><td></td></tr>
<tr><td>9.</td><td>Висновок щодо придатності деталі</td><td></td></tr>
</table>

2.5. Лабораторна робота № 3. Вимірювання розмірів зовнішніх поверхонь мікрометричним інструментом.

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання лінійних розмірів деталей мікрометричним інструментом.

Завдання

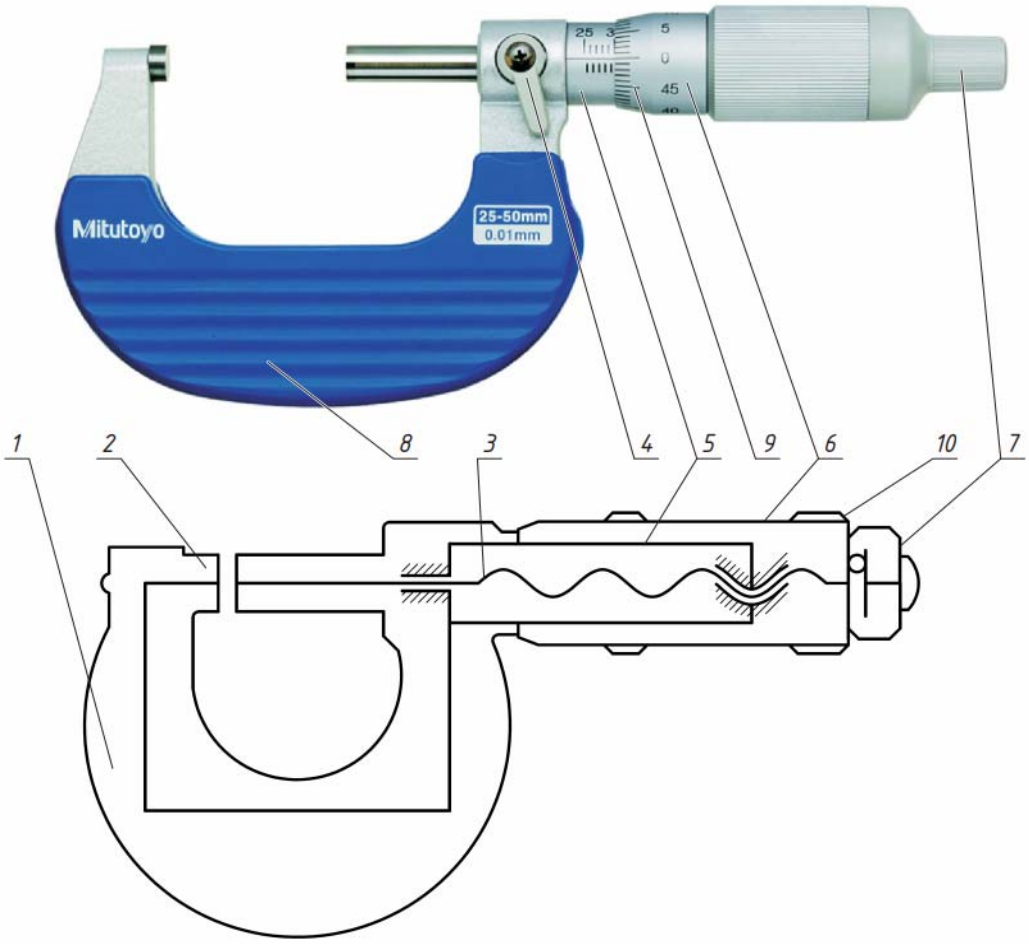
За допомогою мікрометра виміряти діаметр циліндричного вала та визначити, якому полю допуску відповідають дійсні розміри вала. Накреслити схему полів допусків та схему посадки вала з основним отвором того ж квалітету.

Технічне забезпечення

1. Циліндричний вал – 1 шт.
2. Мікрометр гладкий – 1 шт.
3. Плоскопаралельні кінцеві міри – 1 набір.

2.5.1. Мікрометр гладкий. Будова та принцип дії.

Мікрометр гладкий (рис. 2.33) призначений для вимірювання зовнішніх розмірів виробів (ДСТУ ГОСТ 6507). Скоби мікрометрів мають термоізолюючі накладки *8* і забезпечують підвищену жорсткість, вимірювальні поверхні виконані з твердого сплаву. В якості відлікового пристрою застосовується мікрометрична головка з ціною поділки 0,01 мм. Мікрогвинт у мікрометричній головці – гартований, з шліфованою різьбою.



1 – скоба
2 – п’ятка
3 – мікрометричний гвинт
4 – стопор
5 – стебло
6 – барабан
7 – тріскачка
8 – теплоізолююча накладка
9 – шкала барабана
10 – стопорна гайка барабана

Рис. 2.33 – Основні частини мікрометра

В основу конструкції мікрометричного інструменту покладено застосування гвинтової мікрометричної пари з кроком p = 0,5 мм. Мікрометр для зовнішніх вимірювань має такі основні деталі (рис.2.33): скобу *1*, в яку з одного боку запресовано п'ятку *2* з вимірювальною поверхнею, а з другого - стебло *5* з основною шкалою, барабан *6* з круговим ноніусом, мікрометричний гвинт *3* з торцевою вимірювальною поверхнею, тріскачку *7*, стопорний пристрій шпинделя *4*, стопорну гайку *10*, яка є корпусом тріскачки.

На стеблі *5* нанесено повздовжню риску, з двох боків якої розміщено групи штрихів, відстань між якими дорівнює 1 мм, але верхня шкала зміщена відносно нижньої праворуч на 0,5 мм. Уздовж нижньої шкали проставлено цифри; за нею при вимірюванні ведуть відлік цілих міліметрів, а за верхньою – половин міліметрів.

На скосі барабана *6* розміщено кругову допоміжну шкалу барабана *9* з числом штрихів n = 50. Беручи до уваги, що крок різьби мікрогвинта p= 0,5 мм, повороту барабана на одну поділку відповідає переміщення вимірювальної поверхні стебла *5* на 0,01 мм, тобто ціна поділки кругової шкали $c = 0{,}5 : 50 = 0{,}01$ мм.

2.5.2. Налаштування мікрометра гладкого

Перед початком вимірювання треба обов'язково перевірити точність нульового положення.

Для цього у мікрометрів з діапазоном вимірювання 0…25 мм, обертаючи тріскачку *8* (рис.2.34 а), переміщують мікрометричний гвинт *3* доти, доки він досягне вимірювальної поверхні п'ятки *2*. Тріскачка почне проскакувати і зробить три-чотири потріскування. При цьому треба, щоб відліковий торець барабанчика *6* відкрив перший штрих повздовжньої шкали *5* (рис.2.34 а), а нульовий штрих кругової шкали барабанчика *6* збігся з повздовжньою рискою.

Під час перевірки мікрометрів з діапазонами вимірювання 25…50 мм та 50…75 мм між вимірювальними поверхнями встановлюють кінцеві міри довжини 1, розмір яких відповідає найменшому вимірювальному розміру 25 та 50 мм відповідно (рис.2.34 а). Можна також користуватися циліндричною установочною мірою, яка є у комплекті мікрометра. Далі перевіряють так само, як і мікрометр з діапазоном вимірювання 0…25 мм.

Якщо потрібного положення штрихів не досягнено, треба мікрометр відрегулювати, а саме, стебло 5 з мікрометричним гвинтом 3 стопорять стопором 4, потім, обертаючи гайку 7, звільняють барабан 6 і встановлюють його так, щоб нуль кругової шкали 6 збігався з повздовжньою рискою. Це положення фіксують стопорною гайкою барабана, звільняють шпиндель стопором 4 і знову перевіряють точність нульової установки мікрометра.

2.5.3. Вимірювання зовнішніх поверхонь мікрометром

Щоб виміряти деталь, її встановлюють між вимірювальними поверхнями мікрометра (рис. 2.35), потім обертають мікрогвинт **обов'язково за тріскачку *7*** (рис.2.33) до потріскування. Це положення мікрометричного гвинта фіксують стопором 4 (рис.2.33) і після цього ведуть відлік.

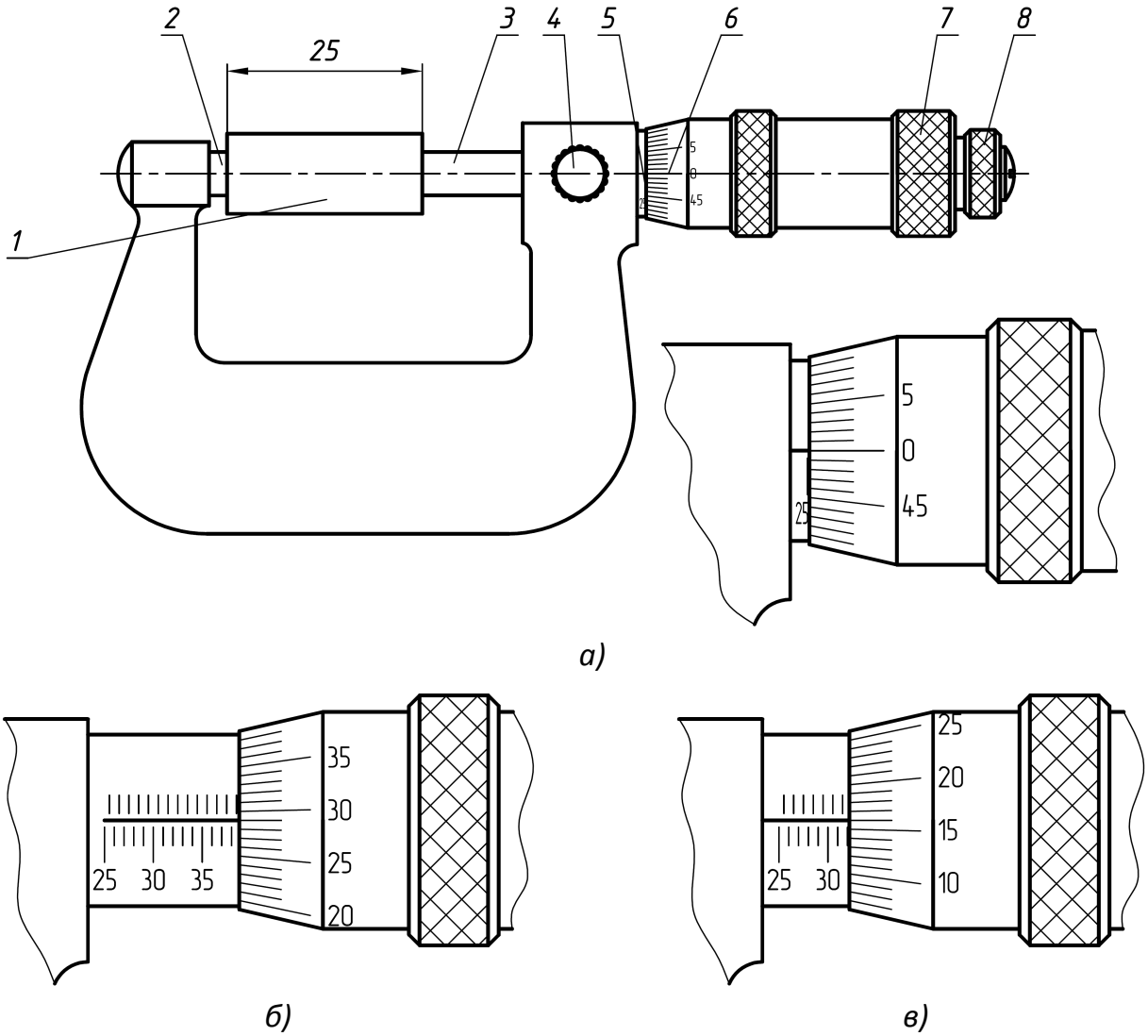


Рис. 2.34– -Відліковий пристрій мікрометра:
а – налаштування нульового положення; б,в - приклади відліку

Деталь встановлюється між вимірювальними поверхнями мікрометра (рис. 2.35). Вимірювання відбувається обертанням мікрометричного гвинта *3* **обов'язково за тріскачку *7*** (рис.2.33) до потріскування. При цьому вимірювана деталь затискається між вимірювальними поверхнями мікрометра.

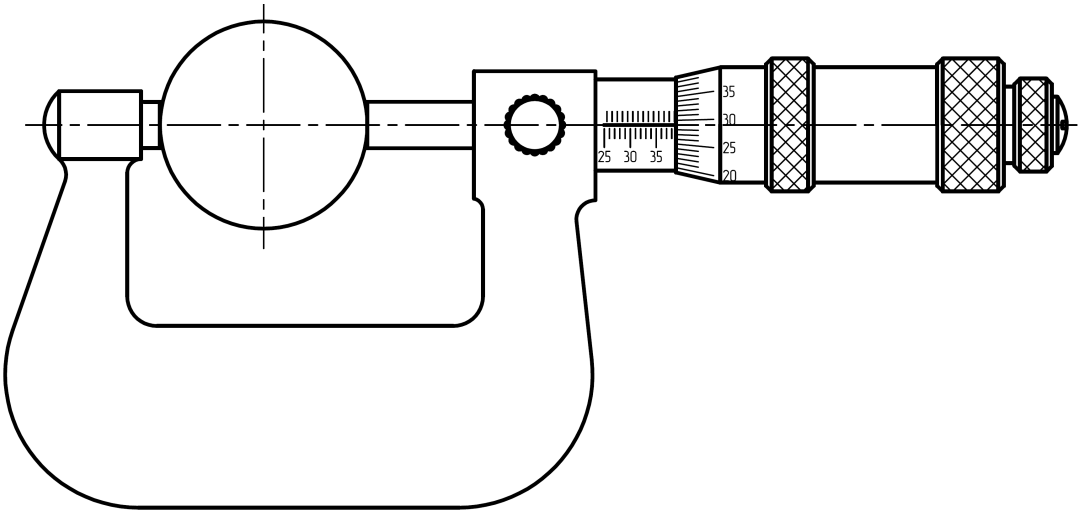


Рис. 2.35 – Схема встановлення деталі при вимірюванні

Відлік розміру (рис. 2.34,б,в) починають з цілих міліметрів на нижній частині основної шкали. Якщо барабан відкриває штрих на верхній частині основної шкали (рис. 2.34,б), тоді до числа цілих міліметрів додають 0,5 мм. Кількість сотих частки міліметра відраховують за круговою шкалою барабанчика; воно відповідає тій поділці шкали, яка збігається з повздовжньою рискою основної шкали.

Вимірювальний розмір визначається, як:

$$d = l + kc \text{ ,}$$

де l - кількість поділок на нижній повздовжній шкалі стебла, мм;

k - кількість поділок кругової шкали на скосі барабана;

c - ціна поділки, c=0,01 мм.

$$d = 38 + 0{,}5 + 29 \cdot 0{,}01 = 38{,}79 \text{ мм};$$

$$d = 32 + 16 \cdot 0{,}01 = 32{,}16 \text{ мм}.$$

Приклад відліку наведено на рис.2.34,б,в.

Приклад 1. Для валів ∅18*f6,* ∅18*js7,* ∅18*k5* розрахувати граничні розміри та побудувати схему полів допусків.

Визначаємо граничні розміри вала ∅18*f6*:

- Граничні відхилення:
  основне відхилення (табл. 2.4) - верхнє : $es = -16$ мкм;
  допуск для 6 квалітету (табл. 2.2): $IT = 11$ мкм;
  нижнє відхилення $ei = es - IT = -16 - 11 = -27$ мкм;
- Граничні розміри:
  найбільший $d_{\max} = d + es = 18 - 0{,}016 = 17{,}984$ мм;
  найменший $d_{\min} = d + ei = 18 - 0{,}027 = 17{,}973$ мм.

Визначаємо граничні розміри для вала ∅18*js7*:

- Граничні відхилення:
  допуск для 7 квалітету (табл. 2.2): $IT = 18$ мкм;
  верхнє відхилення (табл. 2.4): $es = +\frac{IT}{2} = +\frac{18}{2} = +9$ мкм;
  нижнє відхилення $ei = -\frac{IT}{2} = -\frac{18}{2} = -9$ мкм;
- Граничні розміри:
  найбільший $d_{\max} = d + es = 18 + 0{,}009 = 18{,}009$ мм;
  найменший $d_{\min} = d + ei = 18 - 0{,}009 = 17{,}991$ мм.

Визначаємо граничні розміри для вала ∅18*k5*:

- Граничні відхилення:
  основне відхилення (табл. 2.4) – нижнє: $ei = +1$ мкм;
  допуск для 5 квалітету (табл. 2.2): $IT = 8$ мкм;
  верхнє відхилення $es = ei + IT = +1 + 8 = +9$ мкм;
- Граничні розміри:
  найбільший $d_{\max} = d + es = 18 + 0{,}009 = 18{,}009$ мм;
  найменший $d_{\min} = d + ei = 18 + 0{,}001 = 18{,}001$ мм.

Будуємо схему полів допусків ∅18*f6,* ∅18*js7,* ∅18*k5 (рис.2.36)*:

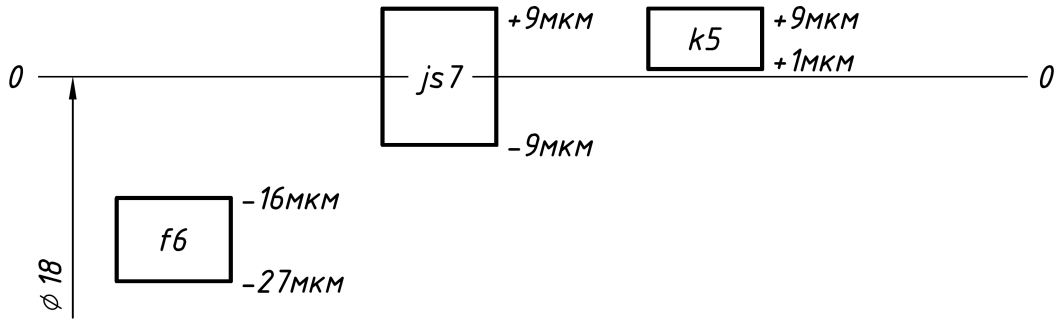


Рис. 2.36 – Схема полів допусків валів ∅18f6, ∅18js7, ∅18k5

Приклад 2. В результаті вимірювання зовнішнього діаметра вала отримані наступні розміри: ∅12,03; ∅12,02; ∅12,01; ∅12,01; ∅12,03; ∅12,02мм.

Для виміряного вала підібрати стандартне поле допуску та побудувати посадку в системі отвору, того ж квалітету що й вал. Визначити характеристики посадки.

1. Приймаємо номінальний діаметр – $d = 12$ мм.
2. Найбільший виміряний розмір вала: $d_{\partial\max} = 12{,}03$ мм.

Найбільше дійсне відхилення: $es_\partial = d_{\max} - d = 12{,}03 - 12 = 0{,}03$ мм.

3. Найменший виміряний розмір вала: $d_{\partial\min} = 12{,}01$ мм.

Найменше дійсне відхилення: $ei_\partial = d_{\min} - d = 12{,}01 - 12 = 0{,}01$ мм.

4. Будуємо поле розсіювання дійсних розмірів вала у довільному масштабі (рис. 2.37, а):
   - будуємо нульову лінію;
   - відкладаємо від нульової лінії, з урахуванням знаку:
     найбільше дійсне відхилення $es_\partial = 0{,}03$ мм;
     найменше дійсне відхилення $ei_\partial = 0{,}01$ мм;
   - виміряні розміри вала знаходяться в межах поля розсіювання, тобто між es_∂ та ei_∂.
5. Підбираємо поле допуску вала з умов:
   $d_{\min} \le d_{\partial\min}$ – найменший граничний розмір вала повинен бути менше або дорівнювати найменшому виміряному граничному розміру вала;
   $d_{\max} \ge d_{\partial\max}$ – найбільший граничний розмір вала повинен бути більше або дорівнювати найбільшому виміряному граничному розміру вала;

   або

   $ei \le ei_\partial$ – нижнє стандартне відхилення вала повинно бути менше або дорівнювати нижньому найменшому виміряному відхиленню;
   $es \ge es_\partial$ – верхнє стандартне відхилення вала повинно бути більше або дорівнювати верхньому найбільшому виміряному відхиленню.
   - Граничні відхилення, для номінального діаметра d :

основне відхилення – визначаємо наступним чином:

– з двох дійсних відхилень es_∂ та ei_∂ визначаємо найближче до нульової лінії (найменше за модулем) відхилення.

Оскільки $es_\partial = 0{,}03$ мм, $ei_\partial = 0{,}01$ мм, відповідно, найближче до нульової лінії є найменше дійсне відхилення $ei_\partial = 0{,}01$ мм;

– визначаємо (табл. 2.4) основне відхилення, яке повинно дорівнювати або бути менше (за модулем) найближчого до нульової лінії відхилення ($ei_\partial = 0{,}01$ мм).

Такій умові відповідає основне відхилення *m* – нижнє відхилення становить $ei = +7$ мкм;

допуск – визначаємо з умови: $es = ei + IT \geq es_\partial$, тобто допуск $IT \geq es_\partial - ei \geq +30 - (+7) \geq 23$ мкм.

Значення допуску *IT* визначаємо за табл. 2.2, найближче значення допуску становить $IT = 27$ мкм, що відповідає 8 квалітету;

верхнє відхилення визначаємо із залежності $es = ei + IT = +7 + 27 = +34$ мкм.

- Граничні розміри вала:

найбільший $d_{\max} = d + es = 12 + 0{,}034 = 12{,}034$ мм;

найменший $d_{\min} = d + ei = 12 + 0{,}007 = 12{,}007$ мм.

Таким чином – умови $d_{\min} \leq d_{\partial\min}$ та $d_{\max} \geq d_{\partial\max}$ виконуються, виміряний вал відповідає розміру ∅12*m8*.

6. Визначаємо граничні розміри основного отвору, того ж квалітету що й вал, тобто ∅12*H8*:

- Граничні відхилення:

основне відхилення (табл. 2.3)- нижнє: $EI = 0$ мкм;

допуск за 8 квалітетом (табл. 2.2): $IT = 27$ мкм;

верхнє відхилення $ES = EI + IT = 0 + 27 = +27$ мкм;

- Граничні розміри:

найбільший $D_{\max} = D + ES = 12 + 0{,}027 = 12{,}027$ мм;

найменший $D_{\min} = D + EI = 12 + 0 = 12$ мм.

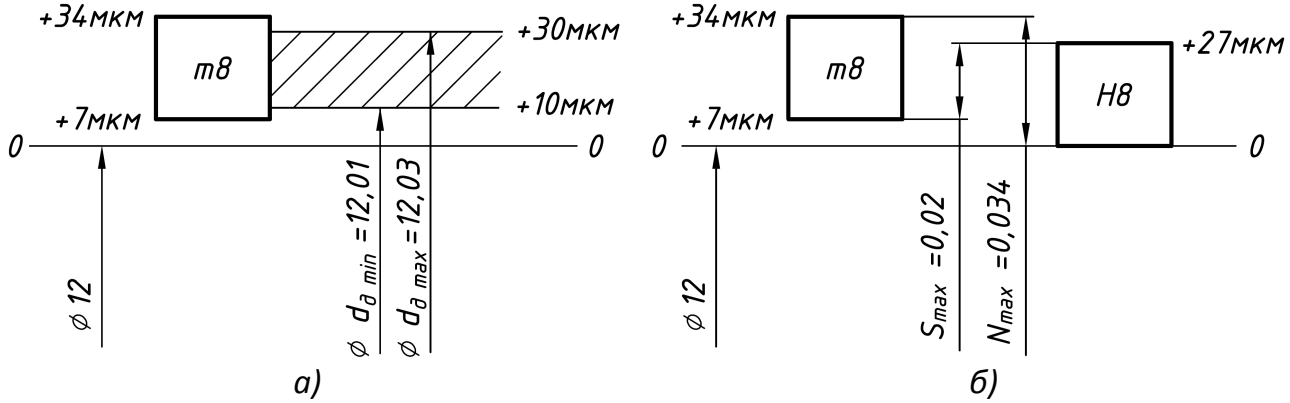


Рис. 2.37– Схема посадки $\varnothing 12\ \frac{H8}{m8}$

7. Визначаємо характеристики посадки (рис. 2.37, б)

- Посадка перехідна, оскільки при графічному зображенні поля допусків отвору та вала перекриваються (рис. 2.37, б);
- Найбільший граничний зазор $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 12{,}027 - 12{,}007 = 0{,}020$ мм;

- Найбільший граничний натяг $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 12,034 - 12 = 0,034$ мм;
- Допуск посадки $T_{SN} = S_{\max} + N_{\max} = 0,020 + 0,034 = 0,054$ мм;

$$T_{SN} = T_D + T_d = 0,027 + 0,027 = 0,054 \text{ мм}.$$

Висновок. Вал відповідає полю допуску $\varnothing 12m8$, посадка $\varnothing 12\frac{H8}{m8}$ - перехідна з характеристиками: $S_{\max} = 0,02$ мм, $N_{\max} = 0,034$ мм, $T_{SN} = 0,054$ мм.

2.5.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо основних термінів та визначень допусків і посадок гладких з'єднань (п.2.1…2.3).

2. Вивчити будову та принцип дії мікрометра.

3. Налаштувати прилад на нульове положення (п.2.5.2).

4. Виміряти діаметр вала у двох взаємно перпендикулярних напрямах: *I-I* і *II-II* та в трьох перерізах *1*, *2*, *3* (рис. 2.38). Дані вимірювання заносять до протоколу (табл. 2.17).

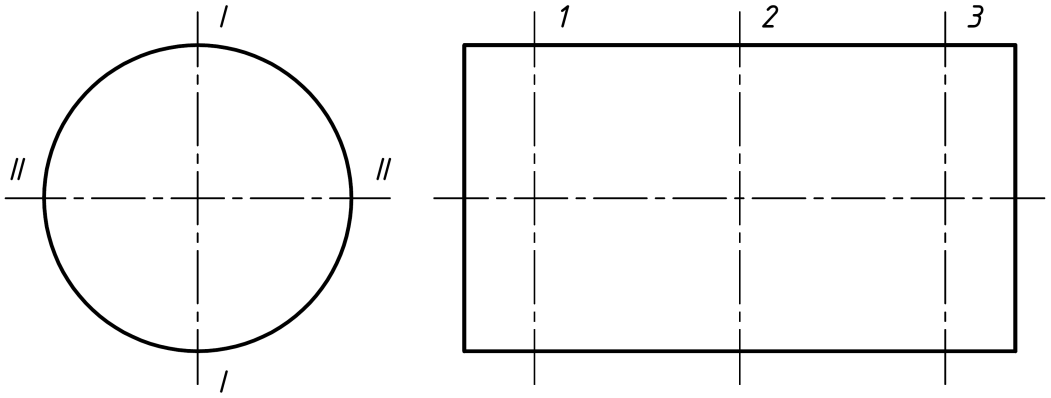


Рис. 2.38– Схема вимірювання

Таблиця 2.17

Результати вимірювання зовнішнього діаметра вала

Дійсні розміри, мм			Висновок про відповідність розміру деталі до розміру кресленика
Перерізи	Напрями		
	I-I	II-II	
1			
2			
3			

5. Визначити граничні відхилення і граничні розміри для заданих полів допусків та занести до протоколу (табл. 2.18).

6. Побудувати в довільному масштабі схему полів допусків. На схемі показати найбільший і найменший дійсні розміри вала.

7. Порівнюючи дійсні розміри з граничними, зробити висновок, якому полю допуску відповідає виміряний вал.

8. Утворити посадку в системі отвору. Квалітет отвору відповідає квалітету вала.

9. Побудувати схему посадки та позначити її характеристики.

Таблиця 2.18

Результати розрахунків граничних відхилень заданих полів допусків вала

№	Розмір за кресленником, мм	Граничні відхилення, мкм		Граничні розміри, мм	
		Верхнє	Нижнє	Найбільший	Найменший
1					
2					
3					
4					
5					

2.6. Лабораторна робота № 4. Вимірювання розмірів внутрішніх поверхонь індикаторним нутроміром

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання діаметрів отворів за допомогою індикаторного нутроміра.

Завдання

За допомогою індикаторного нутроміра виміряти діаметр циліндричного отвору та визначити, якому полю допуску відповідають дійсні розміри отвору. Накреслити схему полів допусків та схему посадки отвору з основним валом того ж квалітету.

Технічне забезпечення

1. Втулка – 1 шт.
2. Індикаторний нутромір – 1 шт.
3. Плоскопаралельні кінцеві міри – 1 набір.
4. Приладдя

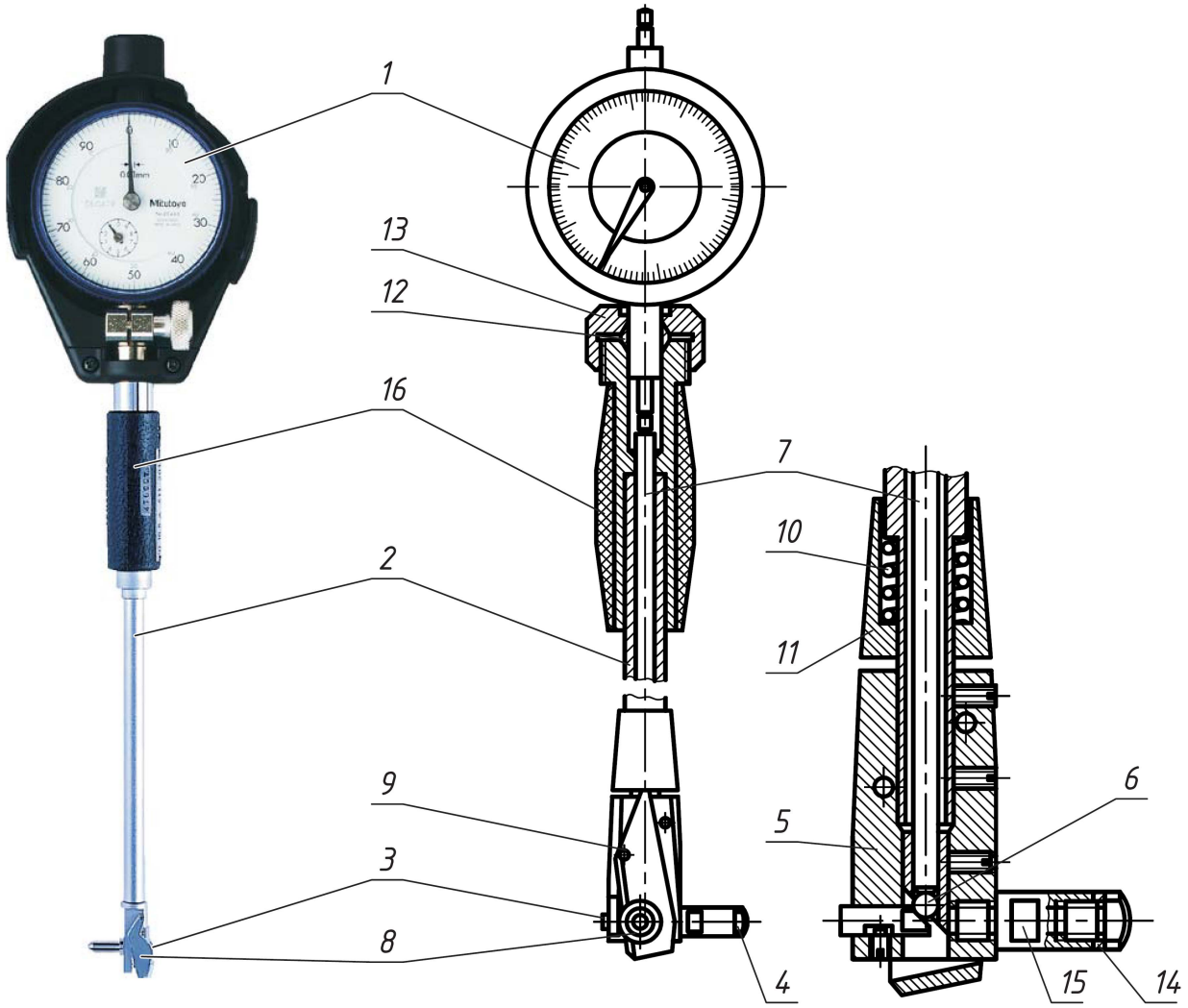
2.6.1. Вимірювальний прилад

Індикаторний нутромір (рис. 2.39) застосовують для вимірювання отворів та інших внутрішніх поверхонь. Найбільш широко застосовуються у промисловості двох-контактні нутроміри з границями вимірів 6 - 1000 мм.

На рис. 2.39 показаний індикаторний нутромір (ГОСТ 868) з границями вимірювання 50 - 100 мм. Індикатор *1* встановлюють у верхню частину корпусу *2* і затискують розрізним кільцем *12* та гайкою *13*. Вимірювальний рухомий стрижень *3* та вставка *4* розміщені у корпусі *5*. Рухомий стрижень своїм клиновим кінцем примушує переміщатися кульку *6*, яка передає рух через стрижень *7* на вимірювальний стрижень індикатора. Нутромір має центруючий місток *8*, який шарнірно з'єднаний через вісь *9* з корпусом *5*. Призначення центруючого містка – розміщувати вимірювальні поверхні нутроміра в осьовій площині контрольованого отвору. Зусилля містка створюються пружиною *10*, що діє на місток через ковпачок *11*.

Вимірювальне зусилля створюється індикатором та пружиною *10*. До нутромірів додають змінні вимірювальні вставки *4*, шайби *14* та подовжувачі *15*. Такий набір дає

змогу вимірювати отвори в досить широких діапазонах. При вимірюванні нутромір треба тримати за теплоізоляційну рукоятку *16*.



1 – індикатор
2 – верхня частина корпуса
3 – рухомий вимірювальний стрижень
4 – вставка
5 – корпус
6 – кулька
7 – стрижень
8 – центруючий місток
9 – вісь
10 – пружина
11 – ковпачок
12 – розрізне кільце
13 – гайка
14 – шайба
15 – подовжувач
16 – теплоізоляційна рукоятка

Рис. 2.39 – Індикаторний нутромір

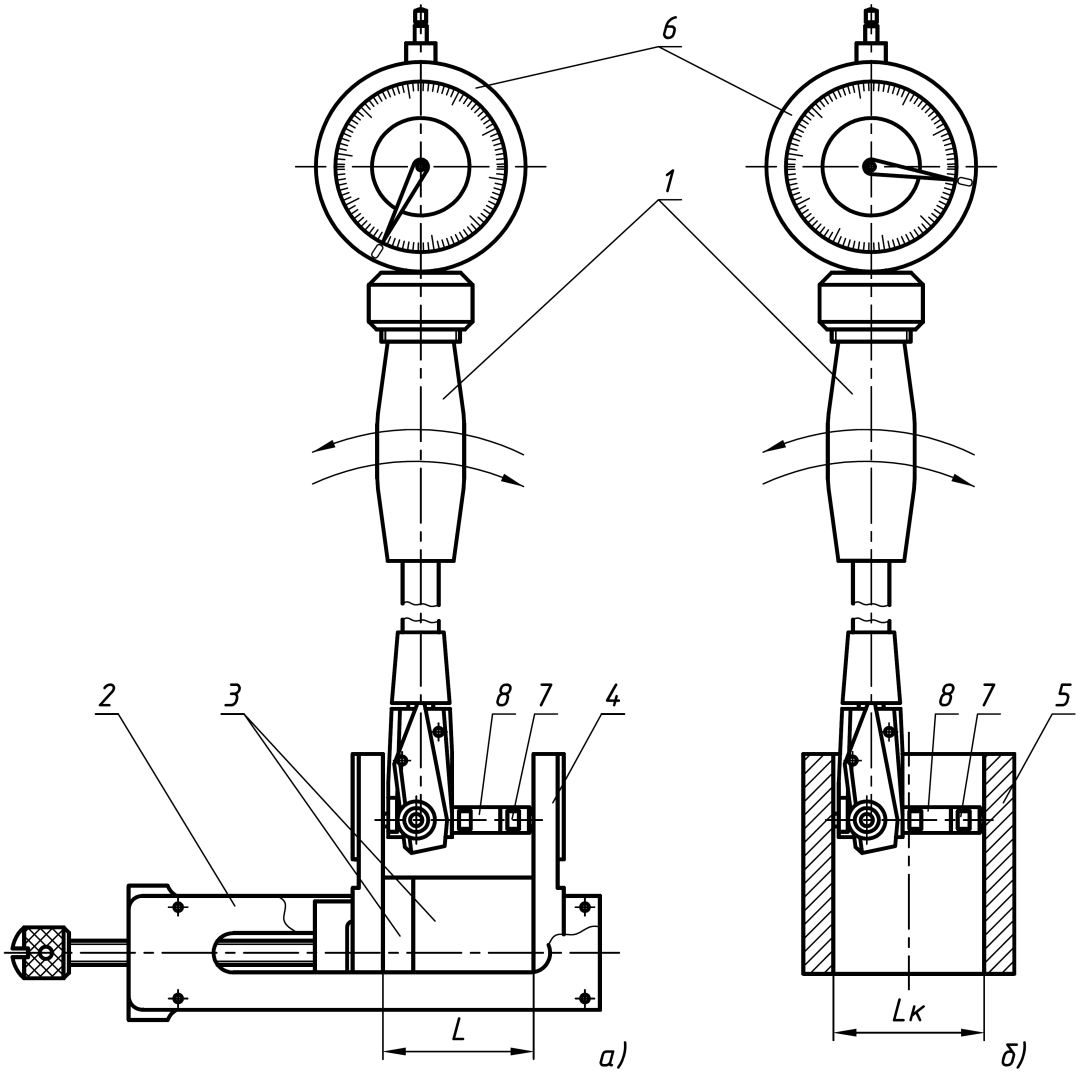
2.6.2. Налаштування приладу

Перед початком вимірювання нутромір встановлюють на нуль за установочним кільцем *5* (рис. 2.40,б) або блоком плоскопаралельних кінцевих мір *3* (рис. 2.40,а), розмір яких має дорівнювати номінальному діаметру вимірювального отвору(L, L_k).

При налаштуванні на нуль за блоком плоскопаралельних кінцевих мір складається блок мір, згідно рекомендацій п. 2.2.2, з обох боків якого притирають боковики *4*, встановлюють у державку *2* і закріплюють гвинтом (рис. 2.40 а).

Обережно вводячи вимірювальні стрижні нутроміра між боковиками *4* або в установочне кільце *5* намагаються встановити вісь рухомого та нерухомого стрижнів перпендикулярно площині боковиків *4* або осі установочного кільця *5*. Похитуючи нутромір *2* у вертикальній площині та повертаючи у горизонтальній, відносно точки дотику вставки *7* нерухомого стрижня нутроміра, знаходять крайнє положення стрілки індикатора за напрямком руху годинникової стрілки. Обертаючи за обід циферблата індикатора *6* досягаємо, щоб нульовий штрих шкали збігався з положенням стрілки. Точність установки шкали слід перевірити, повторивши процедуру похитування нутроміра у вертикальній площині та повороту в горизонтальній.

Потім нутромір виводять з установочного кільця *5* або боковиків *4* і вводять у вимірювальний отвір для вимірювання.



1 – рукоятка нутроміра
2 – державка
3 – плоскопаралельні кінцеві міри
4 – боковики
5 – установочне кільце
6 – індикатор
7 – вставка
8 - подовжувач

Рис. 2.40 – Прилади для налаштування індикаторного нутроміру:
а – державка для кріплення кінцевих мір і блоків; б – зразкове кільце.

2.6.3. Вимірювання внутрішніх поверхонь нутроміром

При вимірюванні циліндричного отвору нутромір вводять у вимірювальний отвір у потрібному положенні. Похитуючи нутромір у вертикальній площині стрілка індикатора буде відхилятися за та проти годинникової стрілки. Під час похитування нутроміра знаходять крайнє положення стрілки індикатора за напрямком руху годинникової стрілки, яке відповідає дійсному відхиленню вимірювальної величини від номінального розміру, з врахуванням ціни поділки індикатора. Відхилення за годинниковою стрілкою відповідає зменшенню розміру, тобто відхилення буде зі знаком «мінус», відхилення проти годинникової стрілки відповідає збільшенню розміру, тобто відхилення буде зі знаком «плюс». Дійсний розмір деталі визначається як алгебраїчна сума номінального розміру та дійсного відхилення. Закінчивши вимірювання, слід перевірити нульове положення стрілки. Якщо її положення змінилося, більше ніж на половину поділки шкали, вимірювання вважають не дійсним.

Приклад 1. Для отворів ∅30*E7,* ∅30*M8,* ∅30*P8* розрахувати граничні розміри та побудувати схему полів допусків.

Визначаємо граничні розміри отвору ∅30*E7*:

- Граничні відхилення:
  основне відхилення - нижнє (табл. 2.3): $EI = +40$ мкм;
  допуск за 7 квалітетом (табл. 2.2): $IT = 21$ мкм;
  верхнє відхилення $ES = EI + IT = +40 + 21 = +61$ мкм;
- Граничні розміри:
  найбільший граничний $D_{\max} = D + ES = 30 + 0,061 = 30,061$ мм;
  найменший граничний $D_{\min} = D + EI = 30 + 0,040 = 30,040$ мм

Визначаємо граничні розміри отвору ∅30*M8*:

основне відхилення – верхнє (табл. 2.3): $ES = -8 + \Delta = -8 + 12 = +4$ мкм;
допуск за 8 квалітетом (табл. 2.2): $IT = 33$ мкм;
нижнє відхилення $EI = ES - IT = +4 - 33 = -29$ мкм;

- Граничні розміри:
  найбільший граничний $D_{\max} = D + ES = 30 + (+0,004) = 30,004$ мм;
  найменший граничний $D_{\min} = D + EI = 30 + (-0,029) = 29,971$ мм

Визначаємо граничні розміри отвору ∅30*P8*:

- Граничні відхилення:
  основне відхилення – верхнє (табл. 2.3): $ES = -22$ мкм;
  допуск за 8 квалітетом (табл. 2.2): $IT = 33$ мкм;
  нижнє відхилення $EI = ES - IT = -22 - 33 = -55$ мкм;
- Граничні розміри:
  найбільший граничний $D_{\max} = D + ES = 30 + (-0,022) = 29,978$ мм;
  найменший граничний $D_{\min} = D + EI = 30 + (-0,055) = 29,945$ мм

Будуємо схему полів допусків ∅30*E7,* ∅30*M8,* ∅30*P8 (рис.2.41)*:

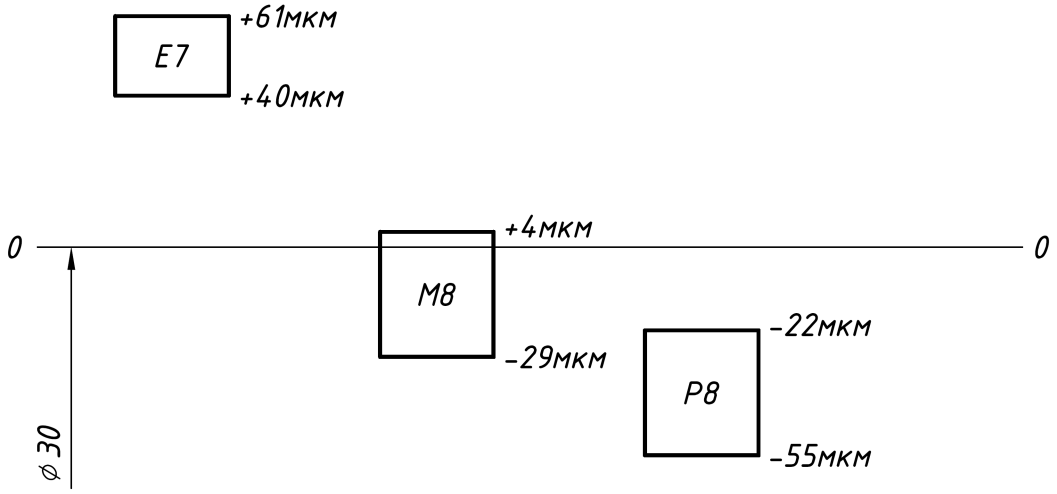


Рис. 2.41 – Схема полів допусків отворів ∅30*E7,* ∅30*M8,* ∅30*P8*

Приклад 2. В результаті вимірювання діаметра отвору отримані наступні розміри ∅65,03; ∅65,02; ∅65,01; ∅65,01; ∅65,02; ∅65,03 мм. Підібрати стандартне поле допуску виміряного отвору та побудувати посадку в системі вала того ж квалітету що й отвір. Визначити характеристики посадки.

1. Приймаємо номінальний діаметр D=65 мм.

2. Найбільший виміряний розмір отвору: $D_{\partial\max} = 65{,}03$ мм.

Найбільше дійсне відхилення: $ES_\partial = D_{\max} - D = 65{,}03 - 65 = 0{,}03$ мм.

3. Найменший виміряний розмір отвору: $D_{\partial\min} = 65{,}01$ мм

Найменше дійсне відхилення: $EI_\partial = D_{\min} - D = 65{,}01 - 65 = 0{,}01$ мм.

4. Будуємо у довільному масштабі поле розсіювання дійсних розмірів отвору (рис. 2.42, а). Відкладаємо від нульової лінії з урахуванням знаку верхнє дійсне відхилення $ES_\partial = 0{,}03$ мм та нижнє - $EI_\partial = 0{,}01$ мм. Виміряні розміри отвору знаходяться в межах вказаного поля розсіювання.

5. Підбираємо поле допуску отвору з умов:

$D_{\min} \le D_{\partial\min}$ - найменший граничний розмір отвору повинен бути менше або дорівнювати найменшому виміряному граничному розміру отвору;

$D_{\max} \ge D_{\partial\max}$ – найбільший граничний розмір отвору повинен бути більше або дорівнювати найбільшому виміряному граничному розміру отвору;

або

$EI \le EI_\partial$ – нижнє стандартне відхилення отвору повинно бути менше або дорівнювати нижньому найменшому виміряному відхиленню;

$ES \ge ES_\partial$ – верхнє стандартне відхилення отвору повинно бути більше або дорівнювати верхньому найбільшому виміряному відхиленню.

- Граничні відхилення, для номінального діаметра D :

основне відхилення – визначаємо наступним чином:

– з двох дійсних відхилень ES_∂ та EI_∂ визначаємо найближче до нульової лінії (найменше за модулем) відхилення.
Оскільки $ES_\partial = 0{,}03$ мм, $EI_\partial = 0{,}01$ мм, відповідно, найближче до нульової лінії є найменше дійсне відхилення $EI_\partial = 0{,}01$ мм;

– визначаємо (табл. 2.3) основне відхилення, яке повинно дорівнювати або бути менше (за модулем) найближчого до нульової лінії відхиленню ($EI_\partial = 0{,}01$ мм).
Такій умові відповідає основне відхилення *G* – нижнє відхилення становить $EI = +10$ мкм;

допуск – визначаємо з умови: $ES = EI + IT \geq ES_\partial$, тобто допуск $IT \geq ES_\partial - EI \geq +30 - (+10) \geq 20$ мкм.

Значення допуску IT визначаємо за табл. 2.2, найближче значення допуску становить $IT = 30$ мкм, що відповідає 7 квалітету;

верхнє відхилення визначаємо із залежності $ES = EI + IT\,7 = +10 + 30 = +40$ мкм.

- Граничні розміри отвору:
  найбільший $D_{\max} = D + ES = 65 + 0{,}04 = 65{,}04$ мм;
  найменший $D_{\min} = D + EI = 65 + 0{,}01 = 65{,}01$ мм.

Таким чином – умови $D_{\min} \leq D_{\partial\min}$ та $D_{\max} \geq D_{\partial\max}$ виконуються, виміряний отвір відповідає розміру ∅65*G7*.

6. Визначаємо граничні розміри основного вала, того ж квалітету що й отвір, тобто ∅65*h7*:

- Граничні відхилення:
  основне відхилення (табл. 2.4)- верхнє: $es = 0$ мкм;
  допуск за 7 квалітетом (табл. 2.2): $IT = 30$ мкм;
  нижнє відхилення $ei = es - IT = 0 - 30 = -30$ мкм;
- Граничні розміри:
  найбільший $d_{\max} = d + es = 65 + 0 = 65$ мм;
  найменший $d_{\min} = d + ei = 65 - 0{,}030 = 29{,}970$ мм.

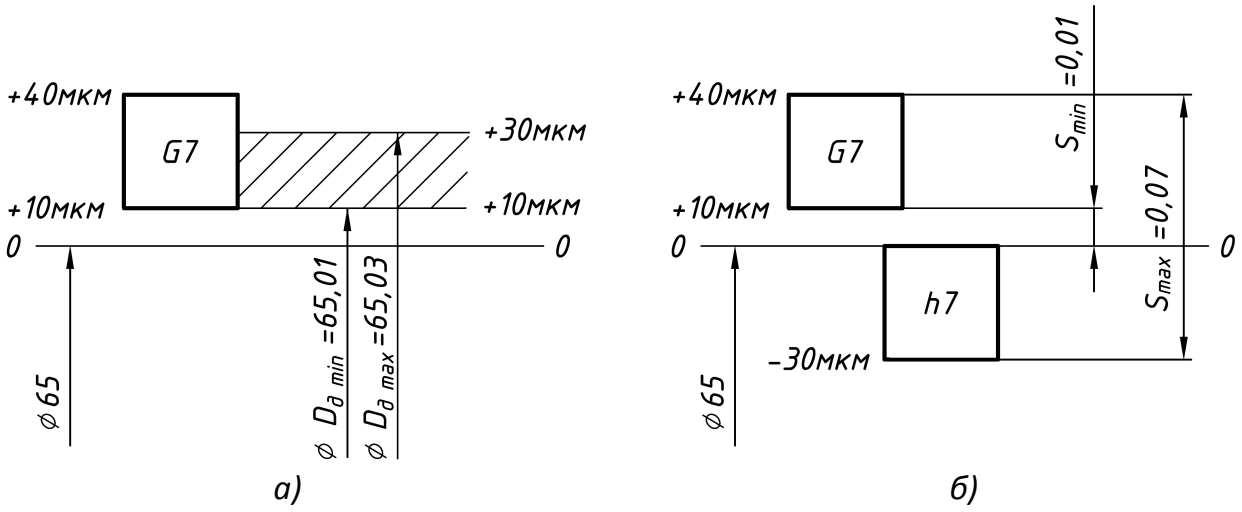


Рис. 2.42– Схема посадки $\varnothing 65\ \frac{G7}{h7}$

7. Визначаємо характеристики посадки (рис. 2.42, б)

- Посадка з зазором, оскільки при графічному зображенні поле допуску отвору знаходиться вище за поле допуску вала (рис. 2.42, б);
- Найбільший граничний зазор $S_{\max} = D_{\max} - d_{\min} = 65,04 - 64,97 = 0,070$ мм;
- Найменший граничний зазор $S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 65,01 - 65 = 0,01$ мм;
- Допуск посадки $T_S = S_{\max} - S_{\min} = 0,07 - 0,01 = 0,06$ мм;

$T_S = T_D + T_d = 0,030 + 0,030 = 0,060$ мм.

Висновок. Отвір відповідає полю допуску ∅65*G7,* посадка ∅67 $\frac{G7}{h7}$ - з зазором з характеристиками: $S_{\max} = 0,070$ мм, $S_{\min} = 0,01$ мм, $T_S = 0,06$ мм.

2.6.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо основних термінів та визначень допусків і посадок гладких з'єднань (п.2.1…2.3).

2. Вивчити будову та принцип дії індикаторного нутроміра.

3. Налаштувати прилад на нульове положення (п.2.6.2).

4. Виміряти діаметр отвору втулки у двох взаємно перпендикулярних напрямах: *I-I* і *II-II* та в трьох перерізах *1*, *2*, *3* (рис. 2.43). Дані вимірювання заносять до протоколу (табл. 2.19).

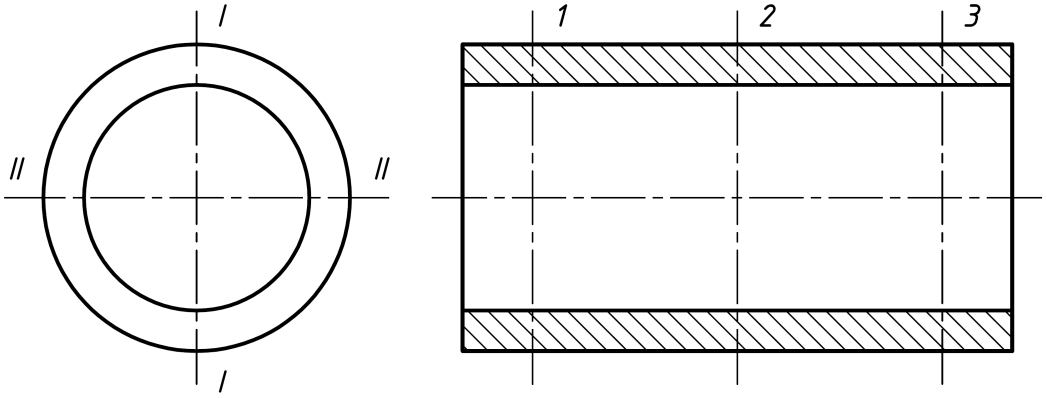


Рис. 2.43 – Схема вимірювання

Таблиця 2.19

Результати вимірювання внутрішнього діаметра отвору

Дійсні розміри, мм			Висновок про відповідність розміру деталі до розміру кресленика
Перерізи	Напрями		
	I-I	II-II	
1			
2			
3			

5. Визначити граничні відхилення і граничні розміри для заданих полів допусків. Дані розрахунків вписують у протокол (табл.2.20).

Таблиця 2.20

Результати розрахунків граничних відхилень заданих полів допусків отвору

№	Розмір за кресленником, мм	Граничні відхилення, мкм		Граничні розміри, мм	
		Верхнє	Нижнє	Найбільший	Найменший
1					
2					
3					
4					
5					

6. Побудувати в масштабі схему полів допусків. На схемі показати найбільший і найменший дійсні розміри отвору втулки.

7. Порівнюючи дійсні розміри з граничними, зробити висновок про те, якому полю допуску відповідають дійсні розміри отвору втулки.

8. Утворити посадку в системі вала. Квалітет вала відповідає квалітету отвора.

9. Побудувати схему посадки та позначити її характеристики.

2.7. Лабораторна робота № 5. Контроль гладких циліндричних з'єднань

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання циліндричних деталей гладким мікрометром та індикаторним нутроміром.

Завдання

За допомогою гладкого мікрометра та індикаторного нутроміра виміряти діаметри вала і отвору втулки та встановити яким полям допуску вони відповідають. Утворити посадку з'єднання вала і втулки та побудувати схему полів допусків.

Технічне забезпечення

1. Втулка – 1 шт.
2. Вал – 1 шт.
3. Індикаторний нутромір – 1 шт.
4. Мікрометр гладкий – 1 шт.
5. Плоскопаралельні кінцеві міри – 1 набір.
6. Державка для кріплення кінцевих мір і блоків.

2.7.1. Вимірювальний прилад

Для вимірювання зовнішніх поверхонь застосовують мікрометр гладкий, конструкція якого наведена в п. 2.5.1.

Для вимірювання отворів та інших внутрішніх поверхонь застосовують індикаторний нутромір, конструкція якого наведена в п. 2.6.1.

2.7.2. Налаштування приладу

Налаштування мікрометра гладкого наведено в п. 2.5.2.

Налаштування індикаторного нутроміра наведено в п. 2.6.2.

2.7.3. Вимірювання зовнішніх та внутрішніх поверхонь

Вимірювання зовнішніх поверхонь за допомогою мікрометра гладкого наведено в п. 2.5.3.

Вимірювання внутрішніх поверхонь за допомогою індикаторного нутроміра наведено в п. 2.6.3.

Приклад 1. Побудувати схему посадки для з'єднання отвору ∅40*R8* та вала ∅40*n8*.

1. Приймаємо номінальний розмір з'єднання – 40 мм.
2. Визначаємо граничні розміри отвору ∅40*R8*:
   - Граничні відхилення:
     основне відхилення (табл. 2.3)- верхнє: $ES = -34$ мкм;
     допуск за 8 квалітетом (табл. 2.2): $IT = 39$ мкм;
     нижнє відхилення $EI = ES - IT = -34 - 39 = -73$ мкм;
   - Граничні розміри:
     найбільший $D_{\max} = D + ES = 40 - 0,034 = 39,966$ мм;
     найменший $D_{\min} = D + EI = 40 - 0,073 = 39,927$ мм.
3. Визначаємо граничні розміри вала ∅40*n8*:
   - Граничні відхилення:
     основне відхилення (табл. 2.4)- нижнє: $ei = +17$ мкм;
     допуск за 8 квалітетом (табл. 2.2): $IT = 39$ мкм;
     верхнє відхилення $es = ei + IT = +17 + 39 = +56$ мкм;
   - Граничні розміри:
     найбільший $d_{\max} = d + es = 40 + 0,056 = 40,056$ мм;
     найменший $d_{\min} = d + ei = 40 + 0,017 = 40,017$ мм.
4. Будуємо посадку $\varnothing 40\frac{R8}{n8}$ (рис. 2.44)

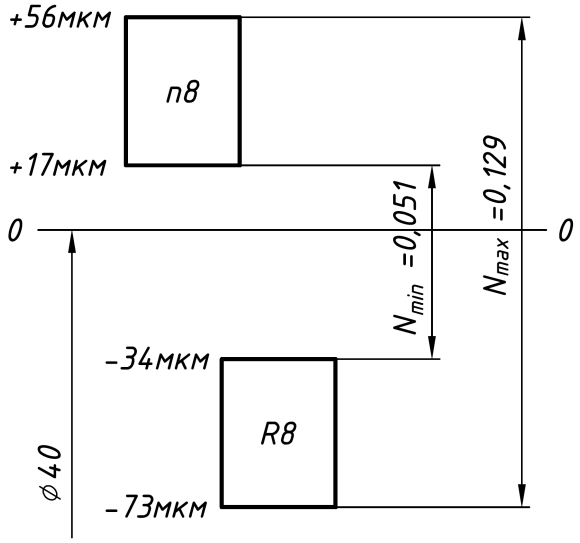


Рис. 2.44 – Схема посадки $\varnothing 40\frac{R8}{n8}$

5. Визначаємо характеристики посадки (рис. 2.44)

- Посадка з натягом, оскільки при графічному зображенні поле допуску отвору знаходиться нижче ніж поле допуску вала;
- Найбільший граничний натяг $N_{\max} = d_{\max} - D_{\min} = 40,056 - 39,927 = 0,129$ мм;
- Найменший граничний натяг $N_{\min} = d_{\min} - D_{\max} = 40,017 - 39,966 = 0,051$ мм;
- Допуск посадки $T_N = N_{\max} - N_{\min} = 0,129 - 0,051 = 0,078$ мм;

$$T_N = T_D + T_d = 0,039 + 0,039 = 0,078 \text{ мм}.$$

Висновок. П*осадка* $\varnothing 40\frac{R8}{n8}$ - з натягом з характеристиками: $N_{\max} = 0,129$ мм, $N_{\min} = 0,051$мм, $T_N = 0,078$ мм.

2.7.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо основних термінів та визначень допусків і посадок гладких з'єднань (п.2.1…2.3).

2. Вивчити будову та принцип дії мікрометра гладкого та індикаторного нутроміра (п.2.5.1-2.5.3, п. 2.6.1-2.6.3).

3. Налаштувати прилади на нульове положення (п. 2.5.2, 2.6.2).

4. Виміряти діаметри вала та отвору втулки у двох взаємно перпендикулярних напрямах: *I-I* і *II-II* та в трьох перерізах *1*, *2*, *3* (рис. 2.45). Дані вимірювання заносять до протоколу (табл. 2.21, 2.22).

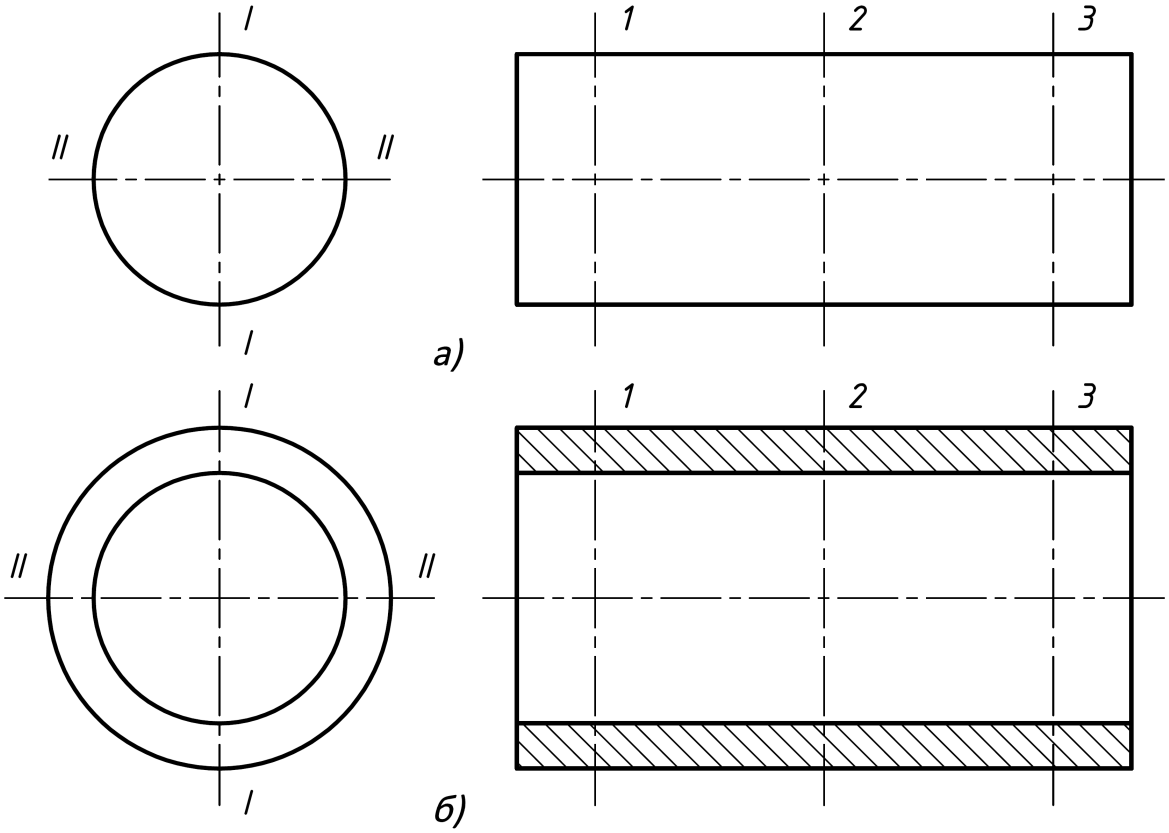


Рис. 2.45– Схема вимірювання дійсних розмірів вала(а) та втулки (б).

Таблиця 2.21

Результати вимірювання зовнішнього діаметра вала

Дійсні розміри, мм			Висновок про відповідність розміру деталі до розміру кресленика
Перерізи	Напрями		
	I-I	II-II	
1			
2			
3			

Таблиця 2.22

Результати вимірювання внутрішнього діаметра отвору

Дійсні розміри, мм			Висновок про відповідність розміру деталі до розміру кресленика
Перерізи	Напрями		
	I-I	II-II	
1			
2			
3			

5. Визначити граничні відхилення і граничні розміри для заданих полів допусків вала та отвору. Дані розрахунків вписують у протокол (табл.2.23, 2.24).

Таблиця 2.23

Результати розрахунків граничних відхилень заданих полів допусків вала

№	Розмір за кресленикoм, мм	Граничні відхилення, мкм		Граничні розміри, мм	
		Верхнє	Нижнє	Найбільший	Найменший
1					
2					
3					
4					
5					

Таблиця 2.24

Результати розрахунків граничних відхилень заданих полів допусків отвору

№	Розмір за кресленикoм, мм	Граничні відхилення, мкм		Граничні розміри, мм	
		Верхнє	Нижнє	Найбільший	Найменший
1					
2					
3					
4					
5					

6. Побудувати в масштабі схему полів допусків. На схемі показати найбільший і найменший дійсні розміри отвору втулки та вала.

7. Порівнюючи дійсні розміри з граничними, зробити висновок про те, яким полям допусків відповідають дійсні розміри отвору втулки та вала.

8. Утворити посадку з полями допусків,що відповідають виміряним деталям.

9. Побудувати схему посадки та позначити її характеристики.

2.8 Лабораторна робота № 6. Контроль гладких калібрів

Мета роботи

Вивчення методики та техніки визначення придатності калібра-пробки для контролю отвору.

Завдання

За допомогою мініметра виміряти розміри прохідної та непрохідної сторони робочого гладкого калібра-пробки для контролю отвору та зробити висновок щодо придатності калібра. Накреслити схему полів допусків.

Технічне забезпечення

1. Робочий калібр-пробка – 1 шт.
2. Мініметр – 1 шт.
3. Плоский змінний вимірювальний наконечник – 1 шт.
4. Плоскопаралельні кінцеві міри – 1 набір.

2.8.1 Мініметр. Будова та принцип дії

Для визначення дійсних розмірів калібра-пробки застосовують мініметр. Мініметр є приладом з важільною передачею, призначений для вимірювання розмірів гладких калібрів та інших точних деталей відносним методом. Відліковий пристрій приладу показує відхилення вимірюваної величини від встановлювальної міри.

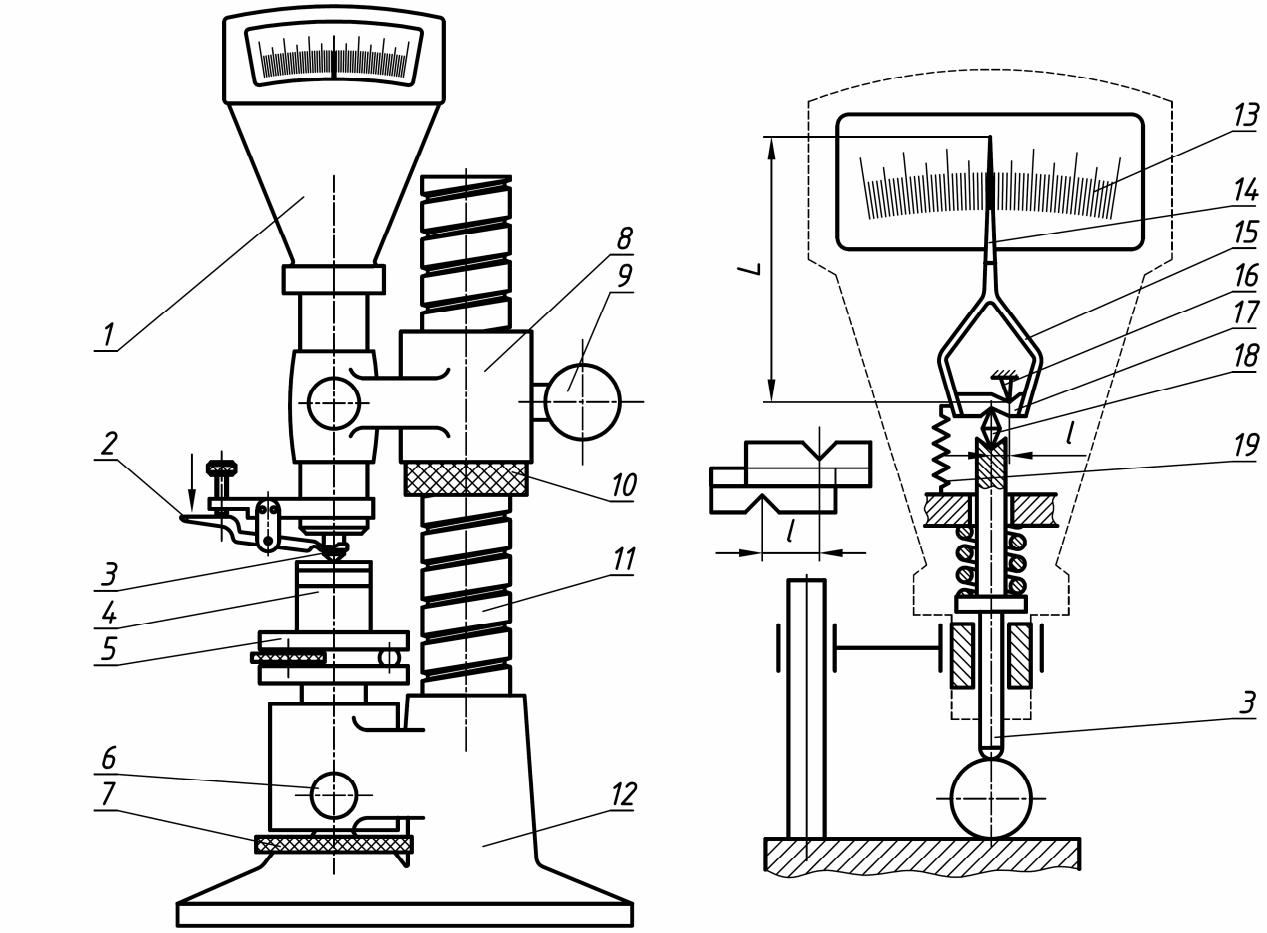
Мініметри виготовляються двох типів вузькошкальні з ціною поділки від 0,01 до 0,001 мм, що мають межі вимірювань від 0,2 до 0,02 мм, і широкошкальні з ціною поділки від 0 , 01 до 0,001 мм при межах вимірювання від 0,6 до 0,06 мм.

До мініметрів додаються змінні вимірювальні наконечники – плоский і сферичний. Плоский наконечник використовується при вимірюванні сферичних деталей, а сферичний - для круглих і плоских деталей.

У загальному випадку прилад для вимірювання методом порівняння з мірою складається з вимірювальної головки та настільного приладу (рис. 2.46 а). Настільний прилад має основу *12*, колону *11* та кронштейн *8*, який переміщується по колоні обертанням гайки *10* та фіксується стопором *9*. Вимірювальний стіл *5* для встановлення деталей чи кінцевих мір довжини 4. Вимірювальний стіл регулюється гайкою підйому столу *7* та фіксується стопором *6*. У кронштейні встановлюється вимірювальна головка (мініметр) *1* з аретиром *2* та вимірювальним наконечником *3*.

При переміщенні вимірювального наконечника *3* (рис. 2.46 б) рамка *15* зі стрілкою *14* буде повертатися навколо нерухомого леза ножа 18. Стрілка переміщується вздовж шкали *13*. Призма *17* впирається в ножову опору *16* і притискається до ножа *18* пружиною *19*. Передавальне відношення мініметра забезпечено нерівноплечим важе-

лем, у якого довгим плечем є стрілка *14*, а коротким – відстань між лезом ножа *18* і лезом ножової опори 16. Передавальне відношення головки мініметра: $i = \frac{L}{l}$.



а) *б)*

1 – вимірювальна головка(мініметр)
2 – аретир
3 – вимірювальний наконечник
4 – кінцеві міри довжини
5 – вимірювальний стіл
6 – стопор вимірювального стола
7 – гайка підйому столу
8 – кронштейн
9 – стопор кронштейна
10 – гайка кронштейна
11 – колона
12 – основа
13 – шкала
14 – стрілка
15 – рамка
16 – ножова опора
17 – призма
18 – ніж
19 – пружина

Рис. 2.46 – Мініметр: а – загальний вигляд; б – кінематична схема головки мініметра

2.8.2. Налаштування приладу

Для налаштування приладу на номінальний розмір калібра-пробки розраховують його граничні розміри. Для калібра-пробки номінальними розмірами прохідного та непрохідного боків є найбільші граничні розміри відповідних боків.

Налаштовують прилад на номінальний розмір спочатку непрохідного боку калібра-пробки. Для цього збирають блок кінцевих мір (див. п. 2.2.2), розмір якого повинен дорівнювати номінальному розміру непрохідного боку калібра-пробки, який округляють до сотих долей міліметра. Блок кінцевих мір встановлюють на вимірювальний стіл *5*

(рис. 2.46 а). Обертанням гайки *10*, опускають кронштейн *8* з головкою мініметра *1* так, щоб вимірювальний наконечник *3* наблизився до поверхні блоку кінцевих мір *4* на 0,5 ... 1 мм. Після цього кронштейн *8* фіксують стопором *9*. Точну установку стрілки мініметра на нуль проводять обертанням гайки підйому стола *7*. Після установки стрілки приладу на нуль стіл фіксують стопором *6*. Точність установки стрілки приладу перевіряють 2-х, 3-х кратним натисканням на важіль аретира *2*. Якщо після натискання на важіль аретира стрілка не встановлюється на нуль, то, відвернувши стопор 6, повторюють налаштування.

Після остаточного налаштування, натискаючи на важіль аретира, піднімають вимірювальний стрижень і знімають зі столу приладу блок кінцевих мір. Далі виконуємо вимірювання непрохідного боку калібра-пробки.

Налаштування приладу на номінальний розмір прохідного боку калібра-пробки виконують за тим самим алгоритмом що і для непрохідного боку калібра-пробки.

2.8.3. Вимірювання дійсних розмірів непрохідного та прохідного боків калібра-пробки

Дійсні відхилення розмірів непрохідного боку калібра-пробки вимірюють наступним чином: піднявши за допомогою аретира вимірювальний стрижень, на стіл приладу встановлюють вимірювану деталь і обережно опускають важіль аретира. При вимірюванні відхилень, щоб уникнути перекосу, деталь щільно притискають до столика і, злегка прокочуючи під вимірювальним стрижнем, стежать за рухом стрілки, фіксують її крайнє праве положення. Підраховують кількість поділок між крайнім положенням стрілки приладу і нульовою рискою шкали (рис.2.47), з врахуванням знака та ціни поділки мініметра, отримують дійсне відхилення. Тоді виміряний розмір визначають як алгебраїчну суму номінального розміру та дійсного відхилення.

Рис. 2.47 – Приклад показу мініметра

Вимірювання дійсних відхилень розмірів прохідного боку калібра-пробки так само, як і вимірювання дійсних відхилень розмірів непрохідного боку, починають виконувати з налаштування мініметра на номінальний розмір прохідного боку, який округляють до сотих долей міліметра. Далі вимірювання дійсних відхилень виконують, як і при вимірюванні непрохідного боку калібра-пробки за тим самим алгоритмом вимірювання.

Приклад. В результаті вимірювання діаметрів прохідного боку калібра-пробки отримані наступні розміри: ∅15,976; ∅15,978; ∅15,976; ∅15,977; ∅15,975; ∅15,974 мм. В результаті вимірювання діаметрів непрохідного боку калібра-пробки отримані наступ-

ні розміри: ∅15,994; ∅15,995; ∅15,996; ∅15,994; ∅15,995; ∅15,994 мм. Визначити придатність калібра-пробки для контролю отвору $\varnothing 16N7$.

1. Розраховуємо граничні розміри отвору $\varnothing 16N7$:
   - Граничні відхилення:
     основне відхилення - верхнє (табл. 2.3): $ES = -12 + \Delta$ мкм, Δ для 7 квалітета $\Delta = 7$ мкм, таким чином $ES = -12 + 7 = -5$ мкм;
     допуск за 7 квалітетом (табл. 2.2): $IT = 18$ мкм;
     нижнє відхилення $EI = ES - IT = -5 - 18 = -23$ мкм;
   - Граничні розміри:
     найбільший граничний $D_{\max} = D + ES = 16 + (-0{,}005) = 15{,}995$ мм;
     найменший граничний $D_{\min} = D + EI = 16 + (-0{,}023) = 15{,}977$ мм.
2. Розраховуємо граничні розміри калібра-пробки:
   - Допуски і граничні відхилення калібра-пробки за табл.(ГОСТ 24853-81) - $H = 3$ мкм, $Z = 2{,}5$ мкм, $Y = 2$ мкм
   - Найбільший граничний діаметр робочого прохідного калібра -пробки:
     $$ПР_{\max} = D_{\min} + Z + \frac{H}{2} = 15{,}977 + 0{,}0025 + \frac{0{,}003}{2} = 15{,}981 \text{ мм}$$
   - Найменший граничний діаметр робочого прохідного калібра -пробки:
     $$ПР_{\min} = D_{\min} + Z - \frac{H}{2} = 15{,}977 + 0{,}0025 - \frac{0{,}003}{2} = 15{,}978 \text{ мм}$$
   - Найменший діаметр зношеного робочого прохідного калібра -пробки:
     $ПР_{зн} = D_{\min} - Y = 15{,}977 - 0{,}002 = 15{,}975$ мм;
   - Виконавчий розмір прохідного боку робочого калібра -пробки: $ПР_{вик} = ПР_{\max\text{-Н}} = 15{,}981_{-0{,}003}$
   - На кресленику проставляємо: $\varnothing 15{,}981_{-0{,}003}$
   - Найбільший граничний діаметр робочого непрохідного калібра -пробки:
     $$НЕ_{\max} = D_{max} + \frac{H}{2} = 15{,}995 + \frac{0{,}003}{2} = 15{,}9965 \text{ мм}$$
   - Найменший граничний діаметр робочого непрохідного калібра -пробки:
     $$НЕ_{\min} = D_{max} - \frac{H}{2} = 15{,}995 - \frac{0{,}003}{2} = 15{,}9935 \text{ мм}$$
   - Виконавчий розмір непрохідного боку робочого калібра -пробки: $НЕ_{вик} = НЕ_{\max\text{-Н}} = 15{,}9965_{-0{,}003}$
   - На кресленику проставляємо: $\varnothing 15{,}9965_{-0{,}003}$
3. Будуємо схему полів допусків для заданого калібра-пробки (рис.2.48)
4. На схемі (рис. 2.48) відкладаємо поле розсіювання дійсних розмірів прохідного ($ПР_{д\min}$, $ПР_{д\max}$) та непрохідного ($НЕ_{д\min}$, $НЕ_{д\max}$) боків калібра-пробки.

Висновок. Прохідний бік калібра-пробки не придатний для контролю отвору $\varnothing 16N7$, непрохідний - придатний для контролю отвору $\varnothing 16N7$.

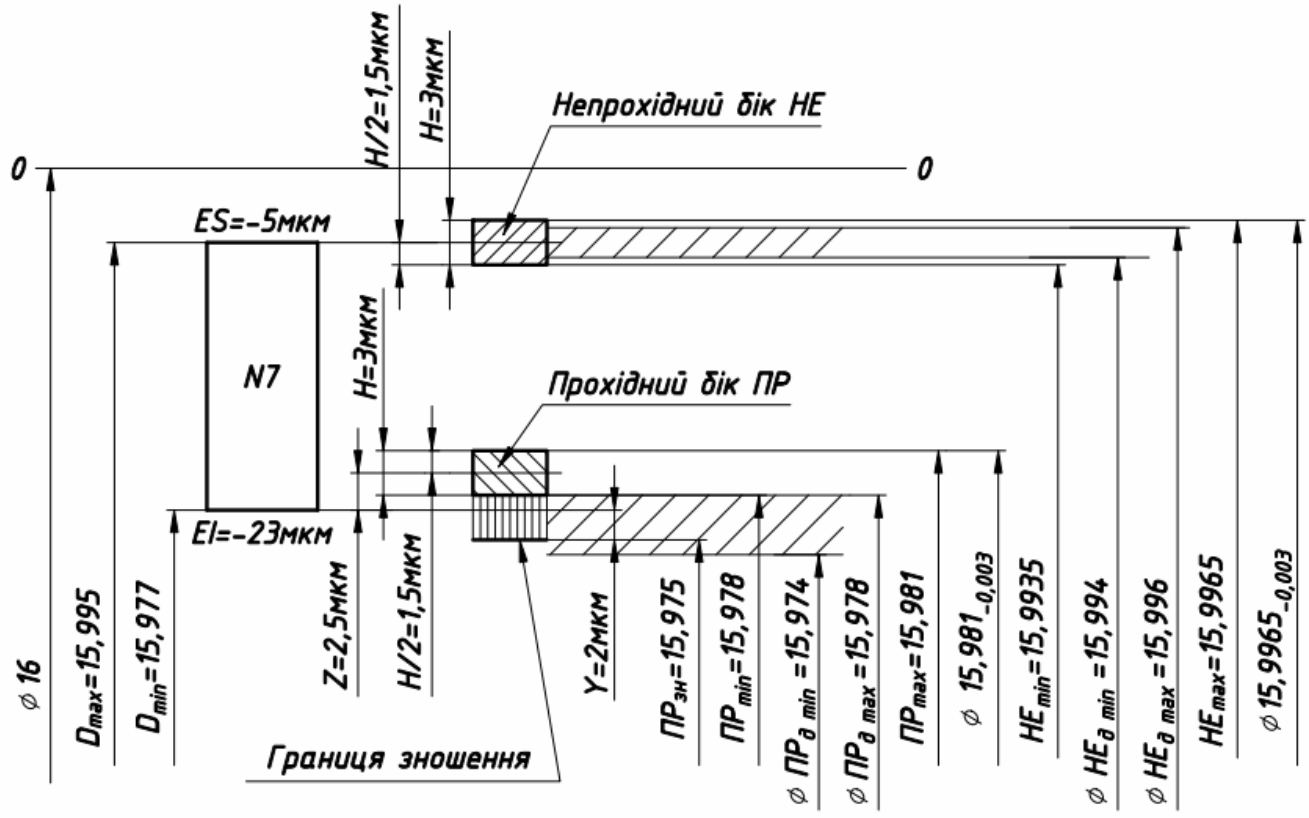


Рис. 2.48 – Схема полів допусків на виготовлення калібра-пробки ∅16N7.

2.8.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо основних термінів та визначень гладких калібрів (п.2.2).

2. Вивчити будову та принцип дії мініметра (п.2.8.1, 2.8.2).

3. Розшифрувати маркування калібра-пробки та занести у протокол: номінальний розмір отвору, основне відхилення отвору, квалітет.

4. Для отвору визначити за таблицями: допуск на виготовлення, верхнє та нижнє відхилення, граничні розміри.

5. Розрахувати граничні та виконавчі розміри непрохідного та прохідного боків калібра-пробки. Дані розрахунків вписують у протокол.

6. Побудувати у довільному масштабі схему полів допусків калібра-пробки для контролю заданого отвору.

7. На схему калібра-пробки у протоколі нанести виконавчі розміри для прохідного та непрохідного боків.

8. Підготувати вимірювальний прилад до роботи.

9. Виміряти дійсні відхилення розмірів прохідного та непрохідного боків калібра-пробки у двох взаємно перпендикулярних напрямах *I-I* і *II-II* та в трьох перерізах *1*, *2*, *3* (рис.2.49).

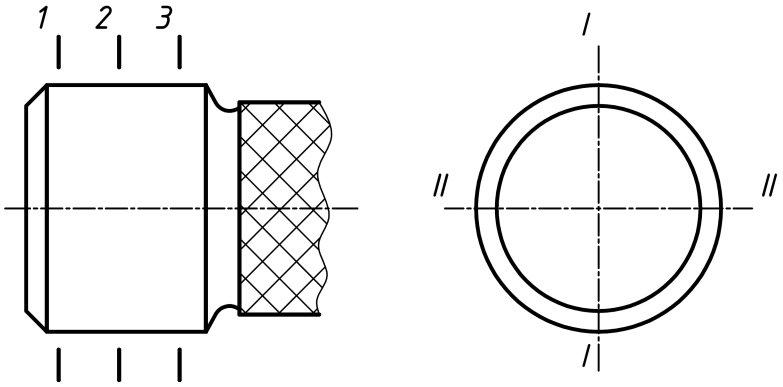


Рис. 2.49 – Схема вимірювання дійсних відхилень калібра-пробки.

10. Обчислити дійсні розміри непрохідного та прохідного боків калібра-пробки, як алгебраїчну суму розміру блоку мір та дійсного відхилення розміру калібра-пробки, дійсні розміри вписують у протокол (табл.2.25.).

Таблиця 2.25

Дійсні розміри калібра-пробки, мм

Напрям	Дійсні розміри непрохідного боку калібра НЕ			Дійсні розміри прохідного боку калібра ПР		
	1	2	3	1	2	3
I-I						
II-II						

11. Зробити висновок щодо придатності робочого калібра, порівнявши дійсні розміри прохідного калібра $ПР_д$ та непрохідного калібра $НЕ_д$ з відповідними граничними розмірами (рис. 2.48).

2.9. Контрольні запитання

- ***до теоретичної частини***

1. Що називають розміром? В чому полягає відмінність між номінальним, граничними та дійсним розмірами?
2. Що називають відхиленням? Як визначаються відхилення граничні, середні, дійсні?
3. В чому полягає відмінність між поняттями допуск та поле допуску; посадка та допуск посадки?
4. Як встановити відповідність деталі заданому полю допуску?
5. Що називають зазором та які види зазорів бувають?
6. Що називають натягом та які види натягів бувають?
7. Якими параметрами характеризується посадка з зазором?
8. Якими параметрами характеризується посадка з натягом?
9. Якими параметрами характеризується перехідна посадка?
10. Одиниця допуску. Призначення та формули визначення.
11. Квалітет. Які квалітети передбачені системою допусків та посадок, область застосу-

вання?

12. Основне відхилення. Які основні відхилення отворів та валів передбачені в ЄСДП?
13. Посадки в системі отвору. Які вони мають переваги?
14. Посадки в системі вала. Коли вони застосовуються?
15. Як визначаються допуски за квалітетом? Як змінюється величина допуску залежно від номінального розміру та квалітету?
16. Чи можна, порівнюючи тільки значення допусків для двох різних розмірів, визначити, у якого з цих розмірів більш точний допуск? Обґрунтуйте.
17. Способи позначення розмірів та відхилень на кресленнях.
18. Що таке калібр?
19. Для контролю деталей яких квалітетів застосовують гладкі калібри?
20. Що таке нормальні та граничні калібри?
21. Чим робочий калібр відрізняється від контрольного?
22. Як встановити придатність деталі при контролі гладкими калібрами?
23. Що таке брак виправний та брак невиправний?
24. Як розташовані допуски на виготовлення калібрів-пробок та калібрів-скоб на схемі полів допусків?
25. Якими літерами позначаються відхилення та допуски на виготовлення калібрів?
26 Що приймають за номінальний розмір прохідного та непрохідного боку калібру-пробки?
27. Що приймають за номінальний розмір прохідного та непрохідного боку калібру-скоби?
28. Для яких калібрів встановлюють допуски на зношення?
29. Що таке виконавчий розмір, правило проставляння виконавчих розмірів калібрів-пробок і калібрів-скоб на кресленнях?

- ***до лабораторної роботи №1***

30. Що таке міра? У чому полягає відмінність між зразковими та робочими мірами?
31. Яку конструкцію мають міри?
32. Яка область застосування кінцевих мір?
33. Які вимоги висуваються до кінцевих мір?
34. Що таке довжина кінцевої міри?
35. Що таке серединна довжина кінцевої міри?
36. Що таке відхилення від плоскопаралельності кінцевої міри?
37. Що таке клас мір, які бувають класи?
38. Що таке розряд мір, чим він характеризується, які є розряди?
39. У чому полягають основні принципи формування блоків мір?
40. Які є способи притирання мір?

- ***до лабораторної роботи №2***

41. Як встановити відповідність деталі заданому полю допуску?
42. З яких частин складається штангенрейсмус?

43. З яких частин складається штангенциркуль?
44. З яких частин складається штангенглибиномір?
45. Що таке діапазон вимірювань, діапазон показів шкали, ціна поділки шкали?
46. Як виконуються вимірювання деталей штангенінструментом?
47. Як проводиться зчитування розміру за шкалами штанги та ноніуса?

- ***до лабораторної роботи №3***

48. Будова та принцип дії мікрометра гладкого.
49. Налаштування мікрометра гладкого.
50. Як перевіряють точність нульового положення мікрометра гладкого?
51. Як здійснюють відлік за шкалами мікрометра гладкого?

- ***до лабораторної роботи №4***

52. Будова та принцип дії індикаторного нутроміра
53. Налаштування індикаторного нутроміра
54. Як встановлюють нутромір на нуль?
55. Чому дорівнює розмір деталі при вимірюванні нутроміром?

- ***до лабораторної роботи №5***

56. Будова та принцип дії мікрометра гладкого.
57. Будова та принцип дії індикаторного нутроміра
58. Налаштування мікрометра гладкого.
59. Налаштування індикаторного нутроміра
60. Як перевіряють точність нульового положення мікрометра гладкого?
61. Як встановлюють нутромір на нуль?
62. Як здійснюють відлік за шкалами мікрометра гладкого?
63. Чому дорівнює розмір деталі при вимірюванні нутроміром?

- ***до лабораторної роботи №6***

64. До якого типу приладів відносять мініметр?
65. Яка ціна поділки мініметра?
66. Будова та принцип дії мініметра.
67. Налаштування мініметра.
68. Чому дорівнює дійсний розмір прохідного та непрохідного боків калібра-пробки при вимірювання мініметром?

2.10 Рекомендована література до розділу 2

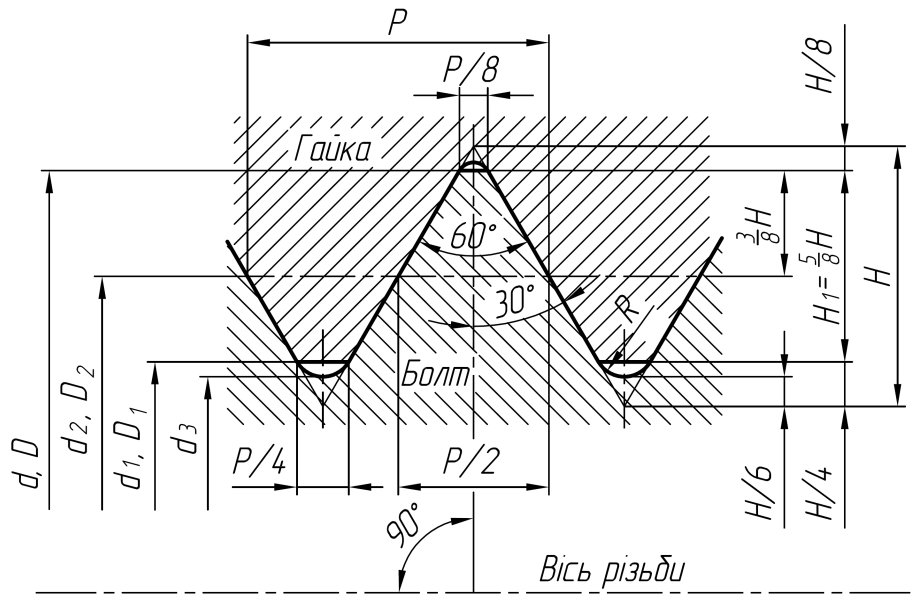
1. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 [Текст] : навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – С. 6-28.
2. Метрологія та вимірювальна техніка [Текст] : підручник / Є. С. Поліщук [та ін.] ; ред. Є. С. Поліщук. - Л.: Бескид Біт, 2003. - 544 с. - ISBN 966-96071-8-3
3. ДСТУ 2234 Калібри. Терміни та визначення.

4. ДСТУ 2681 Метрологія. Терміни та визначення. З поправкою
5. ДСТУ ГОСТ 162 Штангенглибиноміри. Технічні умови
6. ДСТУ ГОСТ 164 Штангенрейсмасы. Технические условия
7. ДСТУ ГОСТ 166 Штангенциркулі. Технічні умови
8. ДСТУ ГОСТ 6507 Мікрометри. Технічні умови (ГОСТ 6507-90)
9. ДСТУ 2500 Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми.
10. ДСТУ ISO 286-1 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок.
11. ДСТУ ISO 286-2 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів.
12. ГОСТ 24853 Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски.
13. ГОСТ 25346 Основные нормы взаимозаменяэмости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки.
14. ГОСТ 25347 Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки.
15. ГОСТ 6636 Основные нормы взаимозаменяемости.Нормальные линейные размеры.
16. ГОСТ 868 Нутромеры индикаторные.
17. ГОСТ 9038 Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия.
18. МИ 1604 Методические указания. ГСИ. Меры длины концевые плоскопараллельные. Общие требования к методикам поверки/ ВНИИМ им. Д.И.Менделеева. - М.: Издательство стандартов, 1988 год.
19. Марков Н.Н, Ганевский Г.М. Конструкция, расчет и эксплуатация контрольно-измерительных приспособлений и приборов. М.: Машиностроение. 1993. – 416 с. ISBN 5-217-01265-X

РОЗДІЛ 3
ВИМІРЮВАННЯ МЕТРИЧНОЇ РІЗЬБИ

3.1 Профіль різьби, його елементи

Різьбові з'єднання широко застосовують у конструкціях деталей машин, механізмів, приладів. Найбільшого поширення набули кріпильні метричні різьби з трикутним профілем [1]. Профіль метричної різьби встановлений ДСТУ ISO 68-1 (рис. 3.1).



d	–	зовнішній діаметр зовнішньої різьби (болта)	P	–	крок різьби
D	–	зовнішній діаметр внутрішньої різьби (гайки)	α	–	кут профілю
d_2	–	середній діаметр зовнішньої різьби	$\alpha/2$	–	половина кута профілю
D_2	–	середній діаметр внутрішньої різьби	H	–	висота вихідного профілю різьби
d_1	–	внутрішній діаметр зовнішньої різьби	H_1	–	робоча висота профілю різьби
D_1	–	внутрішній діаметр внутрішньої різьби			

Рис. 3.1 – Профіль метричної різьби

Зовнішній діаметр різьби *d (D)*

діаметр уявної циліндричної поверхні, описаної навколо верхівок зовнішньої та/чи западин внутрішньої різьби. Для кріпильних метричних різьб цей розмір є номінальним діаметром різьби.

Внутрішній діаметр різьби d_1 (D_1)

діаметр уявної циліндричної поверхні, вписаної в западини зовнішньої та/чи у верхівки внутрішньої різьби.

Середній діаметр різьби d_2 (D_2)

діаметр уявного, співвісного з різьбою прямого кругового циліндра, твірна якого перетинає реальну різьбу таким чином, що її відрізки, утворені перетином з канавкою різьби, дорівнюють половині номінального кроку різьби *P*.

Тобто твірна цього циліндра перетинає номінальний профіль різьби в точках, де ширина западин дорівнює ширині виступів і дорівнює половині кроку *P*/2.

Номінальні величини відповідних параметрів зовнішньої та внутрішньої різьби однакові, наприклад, $d = D$, $d_2 = D_2$ і т. ін. Формули для розрахунку середніх та внутрішніх діаметрів метричної різьби наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Формули для розрахунку середнього та внутрішнього діаметрів різьб (ДСТУ ISO 724)

Діаметр	Зовнішня різьба	Внутрішня різьба
Середній діаметр	$d_2 = d - 0{,}6495\ P$	$D_2 = D - 0{,}6495\ P$
Внутрішній діаметр	$d_1 = d - 1{,}0825\ P$	$D_1 = D - 1{,}0825\ P$

Крок різьби *P*

відстань у напрямку осі різьби між однойменними найближчими точками суміжних відповідних бічних поверхонь різьби.

Хід різьби *Ph*

відстань між найближчими однойменними бічними сторонами профілю, що належать тій самій гвинтовій поверхні, у напрямі, паралельному до осі різьби.

Для однозахідної різьби її крок дорівнює ходу, тобто $P = Ph$. Для багатозахідної різьби хід *Ph* дорівнює добутку числа заходів *n* на крок *P*, тобто $Ph = n \times P$. Хід різьби визначає осьове переміщення гайки за один її оберт, якщо гвинт нерухомий.

Різьби метричні поділяють на різьби з великим (основним) і дрібними кроками. У різьб з великим кроком кожному діаметру відповідає крок, що визначається залежністю $d(D) = 6 \cdot P^{1,3}$. Різьби з дрібними кроками можуть мати різні кроки за однакового зовнішнього діаметра. Якщо зовнішні діаметри *d (D)* однакові, різьби з дрібним кроком відрізняються від різьб з великим кроком меншою висотою профілю. Метричні різьби застосовують найширше як кріпильні, причому різьбу з великим кроком вважають основною кріпильною різьбою. Різьби з дрібним кроком застосовують на тонкостінних деталях, для з'єднань деталей з малою довжиною згвинчування, а також для виготовлення різних регулювальних пристроїв. Метричні різьби з великим та дрібними кроками наведено у табл. 3.2.

Кут профілю α

кут між двома суміжними бічними поверхнями різьби в площині осьового перерізу.

Половина кута профілю $\alpha/2$

кут між бічною стороною профілю та перпендикуляром до осі різьби.

Довжина згвинчування різьби *L*

довжина ділянки взаємного сполучення зовнішньої та внутрішньої різьб в осьовому напрямку.

3.2 Похибки основних елементів різьби

Під час виготовлення різьби неминуче виникають відхилення її профілю та розмірів. Розрізняють номінальний, граничні та дійсний профілі різьби.

Номінальний профіль

профіль, відносно якого визначають граничні відхилення елементів. Номінальний профіль побудовано на основі теоретичного основного профілю різьби.

Граничні профілі *(найбільший та найменший)*

профілі, положення яких задається за допомогою відхилень (верхніх та нижніх) відносно номінального профілю.

Дійсний профіль

профіль деталі після різьбоутворення, який включає похибки елементів різьби.

Таблиця 3.2

Номінальні діаметри та кроки метричних різьб з зазором (ДСТУ ISO 261, фрагмент)

Номинальний діаметр різьби *d* = *D*, мм			Крок, мм							
1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	великий	дрібний						
				3	2	1,5	1,25	1	0,75	0,5
4			0,7							0,5
	4,5		0,75							0,5
5			0,8							0,5
		5,5								0,5
6			1						0,75	0,5
	7		1						0,75	0,5
8			1,25					1	0,75	0,5
		9	1,25					1	0,75	0,5
10			1,5				1,25	1	0,75	0,5
		11	1,5					1	0,75	0,5
12			1,75			1,5	1,25	1	0,75	0,5
	14		2			1,5	1,25	1	0,75	0,5
		15				1,5		1		
16			2			1,5		1	0,75	0,5
		17				1,5		1		
	18		2,5		2	1,5		1	0,75	0,5
20			2,5		2	1,5		1	0,75	0,5
	22		2,5		2	1,5		1	0,75	0,5
24			3		2	1,5		1	0,75	
		25			2	1,5		1		
		26				1,5				
	27		3		2	1,5		1	0,75	
		28			2	1,5		1		
30			3,5	(3)	2	1,5		1	0,75	
		32			2	1,5				
	33		3,5	(3)	2	1,5		1	0,75	
		35				1,5				
36			4	3	2	1,5		1		
		38				1,5				
	39		4	3	2	1,5		1		
		40		3	2	1,5				

Примітка: Під час вибору діаметра різьби перевагу надають ряду 1, потім – 2, а вже потім – 3.

Основною умовою взаємозамінності різьбових деталей є можливість їх згвинчування. Для згвинчування парних різьб необхідно, щоб на всій довжині згвинчування дійсні профілі зовнішньої та внутрішньої різьби не виходили за межі їх граничних профілів.

За зовнішнім і внутрішнім діаметрами різьбового з'єднання передбачені зазори, а тому похибки цих елементів не можуть спричинити порушення взаємозамінності. Основні похибки елементів різьби – це похибки середнього діаметра, кроку і половини кута профілю. Ці похибки хоч і є незалежними, але вони можуть бути компенсовані зміною середнього діаметра різьби.

3.2.1 Відхилення кроку та його діаметральна компенсація

Відхилення кроку різьби ΔP

різниця між дійсною та номінальною відстанями в осьовому напрямку між двома точками будь-яких однойменних бічних сторін профілю в межах довжини згвинчування або заданої довжини.

Відхилення кроку складається з прогресивних похибок кроку, які зростають пропорційно до кількості витків n на довжині згвинчування L, періодичних похибок, що змінюються за певним законом, та місцевих похибок, що мають випадковий характер і не залежать від кількості витків на довжині згвинчування.

Діаметральна компенсація похибки кроку f_P

величина, на яку необхідно зменшити середній діаметр зовнішньої різьби (болта) або збільшити середній діаметр внутрішньої різьби (гайки), щоб забезпечити зґвинчування за наявності похибок кроку.

Щоб визначити величину діаметральної компенсації похибки кроку, розглядають осьовий переріз різьби гайки з номінальним профілем і розмірами, та осьовий переріз різьби болта, який має похибку кроку ΔP на довжині зґвинчування (рис. 3.2). Якщо середні діаметри зовнішньої і внутрішньої різьби однакові ($d_2 = D_2$), то ці різьби зґвинтити не можна (на рис. 3.2, *а* видно, що праві сторони профілів перекриваються).

Зґвинтити ці деталі можна, якщо профіль зовнішньої різьби (болта) зсунути донизу на $0{,}5 f_P$ (тобто, якщо зменшити середній діаметр зовнішньої різьби на величину f_P) (рис. 3.2, *б*). Значення f_P можна визначити із трикутника *ABC*:

$$\frac{f_P}{2} = \frac{\Delta P}{2} ctg \frac{\alpha}{2} \quad \text{або} \quad f_P = \Delta P \cdot ctg \frac{\alpha}{2}$$

Для метричних різьб, у яких кут профілю α = 60°

$$f_P = 1{,}732 \cdot \Delta P \tag{3.1}$$

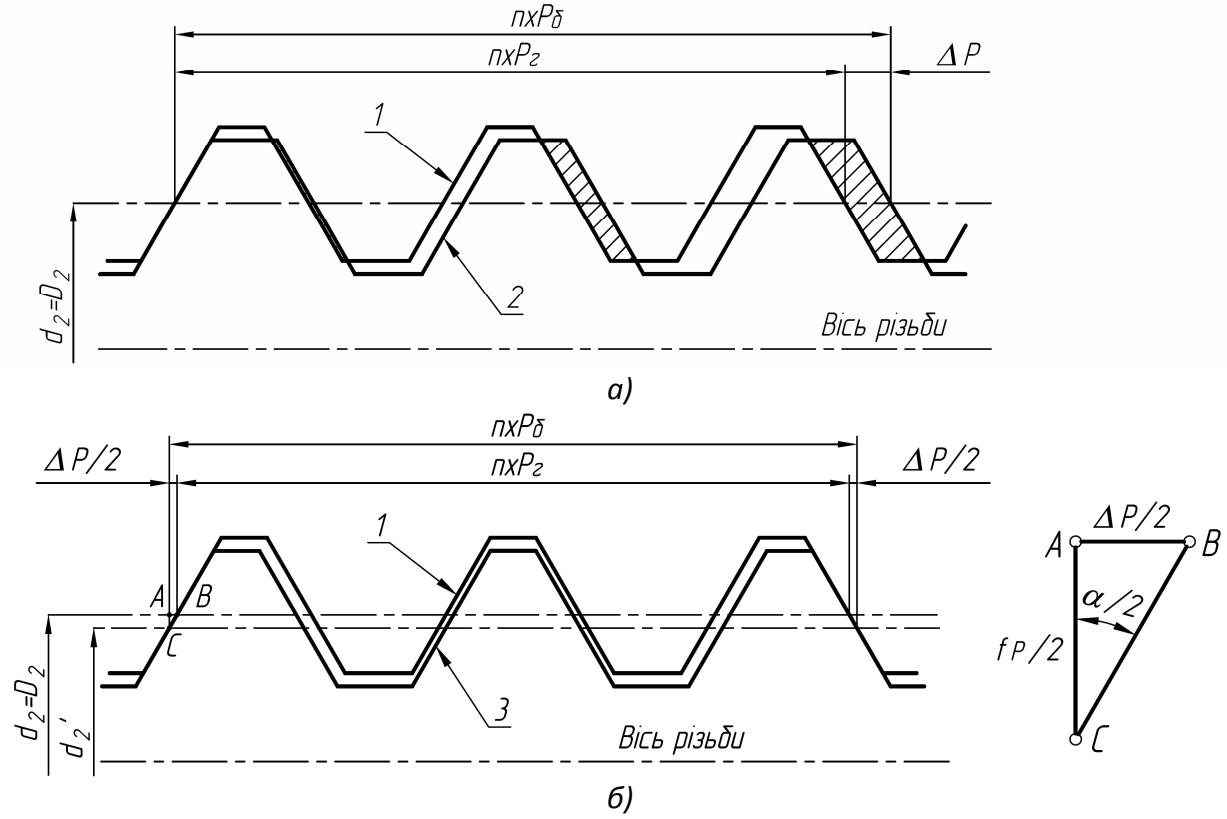
де f_P та ΔP - задано в мікрометрах.

3.2.2 Відхилення кута профілю та його діаметральна компенсація

Через похибки різьбонарізного інструмента та похибки його установки під час виготовлення різьби може статися так, що права і ліва половини кута профілю будуть неоднакові. Тому вимірюють не кут профілю α, а його половини $\alpha/2_{пр.}$ та $\alpha/2_{лів}$. Під час такого вимірювання можна виявити не лише похибки кута α, а й можливий перекіс різьби.

Відхилення половини кута профілю Δα/2

різниця між дійсним та номінальним значеннями α/2 болта або гайки.



1 – номінальний профіль різьби гайки

2 – профіль різьби болта з похибкою кроку

3 – профіль різьби болта з компенсованим середнім діаметром

$P_г$ – крок різьби гайки; $P_б$ – крок різьби болта

n – кількість кроків на довжині згвинчування

Рис. 3.2 - Схема для визначення діаметральної компенсації похибок кроку f_P

Діаметральна компенсація похибок половини кута профілю f_α

величина, на яку треба зменшити середній діаметр зовнішньої різьби (болта), або збільшити середній діаметр внутрішньої різьби (гайки), щоб забезпечити зґвинчування за наявності похибок половини кута профілю.

Величину f_α можна визначити, якщо розглянути осьовий переріз внутрішньої різьби (гайки) з номінальним профілем і розмірами та осьовий переріз зовнішньої різьби, яка має похибку половини кута профілю (рис. 3.3).

Зґвинчування цих деталей неможливе через те, що профілі різьб перехрещуються (на рис. 3.3 це показано штрихуванням). Зґвинтити ці деталі можна, якщо профіль зовнішньої різьби болта зсунути донизу на величину 0,5 f_α. Величину f_α можна визначити із трикутника *ABC*:

$$\frac{f_\alpha}{2} = \frac{H_1 \cdot \Delta\frac{\alpha}{2}}{\sin\alpha} \text{ або } f_\alpha = \frac{2H_1 \cdot \Delta\frac{\alpha}{2}}{\sin\alpha}$$

Для метричної різьби, у якої α = 60°

$$f_\alpha \approx 0{,}36P \cdot \Delta(\alpha/2) \tag{3.2}$$

де f_α - у мікрометрах;

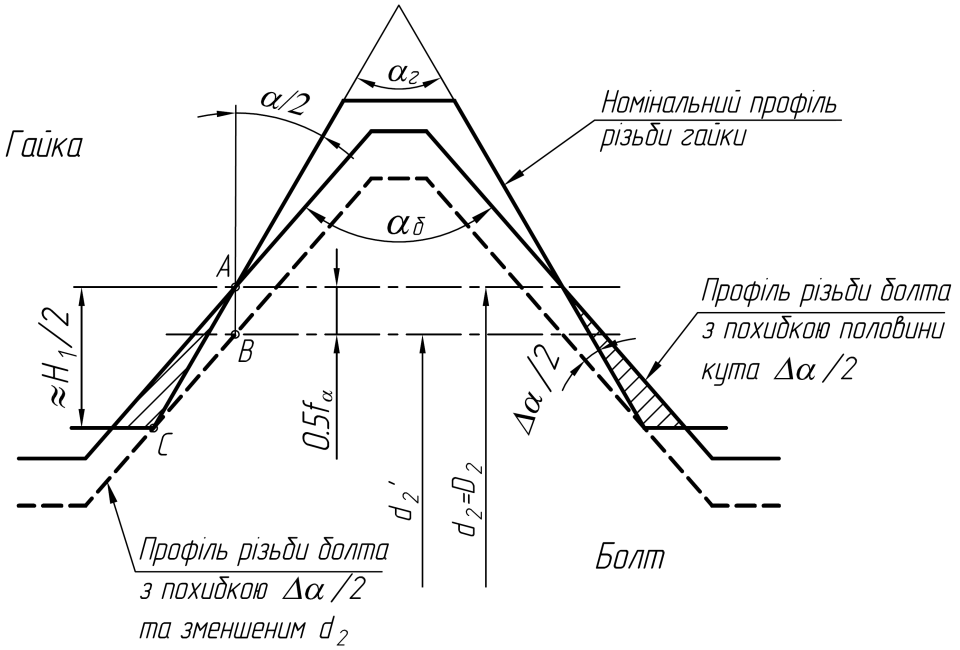
P - у міліметрах;

$\Delta\alpha/2$ - у кутових мінутах, що визначають за формулою.

$$\Delta\frac{\alpha}{2} = \frac{\left|\Delta\frac{\alpha}{2}пр.\right| + \left|\Delta\frac{\alpha}{2}лів.\right|}{2}$$

де $\Delta\frac{\alpha}{2}пр.$ - різниця між дійсним та номінальним значеннями правої половини кута профілю різьби;

$\Delta\frac{\alpha}{2}лів.$ - різниця між дійсним та номінальним значеннями лівої половини кута профілю різьби.



$\alpha_г$ – кут профілю різьби гайки; $\alpha_б$ – кут профілю різьби болта

Рис. 3.3 – Схема для визначення діаметральної компенсації похибок половини кута профілю f_α

Похибки середнього діаметра, похибки кроку та похибки половини кута профілю можна звести до однієї величини – середнього діаметра. Тому для спрощення контролю різьби та розрахунку допусків введено поняття приведеного середнього діаметра різьби, що враховує вплив на зґвинчування величин виміряного середнього діаметра ($d_{2д}$, $D_{2д}$), похибок кроку (ΔP) та похибок половини кута профілю ($\Delta\alpha/2$).

Приведений середній діаметр різьби

середній діаметр уявної ідеальної різьби, яка має визначений основний профіль і яка щільно (без взаємного зміщення або натягу) зґвинчується з реальною різьбою на задану довжину зґвинчування.

Приведений середній діаметр внутрішньої різьби:

$$D_{2прив} = D_{2д} - (f_P + f_\alpha) \tag{3.3}$$

Приведений середній діаметр зовнішньої різьби

$$d_{2прив} = d_{2д} + f_P + f_\alpha \tag{3.4}$$

Під час виготовлення різьби крім похибок кроку та половини кута профілю виникає також похибка середнього діаметра. Повний допуск на середній діаметр різьби складається з трьох величин: допуску на власне середній діаметр Δd_2 (ΔD_2), діаметральної компенсації похибок кроку f_P та діаметральної компенсації похибок половини кута профілю f_α:

$$T_{d_2\,(D_2)} = \Delta d_2\,(\Delta D_2) + f_p + f_\alpha \qquad (3.5)$$

Придатність різьбових деталей за середнім діаметром під час диференційованого (поелементного) контролю визначається за приведеним середнім діаметром. При цьому повинні виконуватись умови:

для болта: $d_{2\partial}^{\min} \geq d_{2\min}$, $d_{2прив} \leq d_{2\max}$

для гайки: $D_{2\partial}^{\max} \leq D_{2\max}$ $D_{2прив} \geq D_{2\min}$

де $d_{2\partial}^{\min}$ - найменший дійсний (виміряний) середній діаметр болта;

$D_{2\partial}^{\max}$ - найбільший дійсний (виміряний) середній діаметр гайки.

3.3 Система допусків і посадок метричних різьб

Ця система розроблена на основі міжнародних стандартів і поширюється на метричні різьби діаметром 1…600 мм (ДСТУ ISO 965-1). Системою передбачені посадки з зазором–ДСТУ ISO 965-3,посадки з натягом – ГОСТ 4608 та посадки перехідні – ГОСТ 24834.

Посадка в різьбовому з'єднанні

характер різьбового з'єднання деталей, який визначається різницею середніх діаметрів зовнішньої та внутрішньої різьби до складання.

Посадка з зазором у різьбовому з'єднанні

посадка, у якої поле допуску середнього діаметра внутрішньої різьби розташоване над полем допуску середнього діаметра зовнішньої різьби. До посадок з зазором також відноситься посадка, у якої нижнє відхилення середнього діаметра внутрішньої різьби збігається з верхнім відхиленням середнього діаметру зовнішньої різьби.

Посадки з зазором є найбільш поширеними. Системою допусків і посадок передбачається:

- допуски діаметрів різьби;
- основні відхилення;
- класифікація довжин згвинчування;
- поля допусків і їх застосування для різьб з різними довжинами згвинчування.

3.3.1 Квалітети допусків різьби

Під «допуском» розуміють різницю між найбільшим та найменшим допустимими значеннями параметра. Допуск характеризує точність параметра. Чим більший допуск, тим нижча точність і навпаки, чим менший допуск, тим точність вища. Для різьб допуски встановлюються для середнього діаметра (d_2, D_2) та діаметрів верхівок зовнішньої та внутрішньої різьбі (d, D_1) за ступенями точності (квалітетами допуску), що позначаються цифрами (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Квалітети допусків внутрішньої та зовнішньої різьби для посадок з зазором

Діаметр зовнішньої різьби:	Ступені точності (квалітети допусків)
- зовнішній d	4; 6; 8
- середній d_2	3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10
Діаметр внутрішньої різьби:	
- внутрішній D_1	4; 5; 6; 7; 8
- середній D_2	4; 5; 6; 7; 8; 9

Допуски на внутрішній діаметр зовнішньої різьби d_1 та зовнішнього діаметра D внутрішньої різьби не встановлюються.

Допуски на зовнішній діаметр зовнішньої різьби d та внутрішній діаметр внутрішньої різьби D_1 наведено в табл. 3.4.

Допуски на середні діаметри зовнішньої та внутрішньої різьби d_2 та D_2 наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.4

Допуски діаметрів d і D_1

Крок, мм	Зовнішня різьба			Внутрішня різьба				
	Ступінь точності							
	4	6	8	4	5	6	7	8
	Допуск, мкм							
	T_d			T_{D1}				
0,2	36	56	-	38	48	60	-	-
0,25	42	67	-	45	56	71	-	-
0,3	48	75	-	53	67	85	-	-
0,35	53	85	-	63	80	100	-	-
0,4	60	95	-	71	90	112	-	-
0,45	63	100	-	80	100	125	-	-
0,5	67	106	-	90	112	140	180	-
0,6	80	125	-	100	125	160	200	-
0,7	90	140	-	112	140	180	224	-
0,75	90	140	-	118	150	190	236	-
0,8	95	150	236	125	160	200	250	315
1	112	180	280	150	190	236	300	375
1,25	132	212	335	170	212	265	335	425
1,5	150	236	375	190	236	300	375	475
1,75	170	265	425	212	265	335	425	530
2	180	280	450	236	300	375	475	600
2,5	212	335	530	280	355	450	560	710
3	236	375	600	315	400	500	630	800
3,5	265	425	670	355	450	560	710	900
4	300	475	750	375	475	600	750	950
4,5	315	500	800	425	530	670	850	1060
5	335	530	850	450	560	710	900	1120
5,5	355	560	900	475	600	750	950	1180
6	375	600	950	500	630	800	1000	1250

Таблиця 3.5

Допуски середнього діаметра зовнішнього і внутрішнього діаметра різьби

Номінальний діаметр різьби d, мм	Крок P, мм	Зовнішня різьба						Внутрішня різьба		
		Ступінь точності								
		3	4	5	6	7	8	4	5	6
		Допуск T_{d2} , *мкм*						Допуск T_{D2} , *мкм*		
Від 1 до 1,4	0,2	24	30	38	48	(60)	(75)	40	50	63
	0,25	26	34	42	53	(67)	(85)	45	56	71
	0,3	28	36	45	56	(71)	(90)	48	60	75
Понад 1,4 до 2,8	0,2	25	32	40	50	(63)	(90)	42	53	67
	0,25	28	36	45	56	(71)	(100)	48	60	75
	0,35	32	40	50	63	80	(106)	53	67	85
	0,4	34	42	53	67	85	(112)	56	71	90
	0,45	36	45	56	71	90	-	60	75	95
Понад 2,8 до 5,6	0,25	28	36	45	56	(71)	-	48	60	75
	0,35	34	42	53	67	85	(106)	56	71	90
	0,5	38	48	60	75	95	(118)	63	80	100
	0,6	42	53	67	85	106	(132)	71	90	112
	0,7	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118
	0,75	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118
	0,8	48	60	75	95	118	150	80	100	125
Понад 5,6 до 11,2	0,25	32	40	50	63	(80)	-	53	67	85
	0,35	36	45	56	71	90	-	60	75	95
	0,5	42	53	67	85	106	(132)	71	90	112
	0,75	50	63	80	100	125	(160)	85	106	132
	1	56	71	90	112	140	180	95	118	150
	1,25	60	75	95	118	150	190	100	125	160
	1,5	67	85	106	132	170	212	112	140	180
Понад 11,2 до 22,4	0,35	38	48	60	75	95	-	63	80	100
	0,5	45	56	71	90	112	(140)	75	95	118
	0,75	53	67	85	106	132	(170)	90	112	140
	1	60	75	95	118	150	190	100	125	160
	1,25	67	85	106	132	170	212	112	140	180
	1,5	71	90	112	140	180	224	118	150	190
	1,75	75	95	118	150	190	236	125	160	200
	2	80	100	125	160	200	250	132	170	212
	2,5	85	106	132	170	212	265	140	180	224
Понад 22,4 до 45	0,5	48	60	75	95	118	-	80	100	125
	0,75	56	71	90	112	140	(180)	95	118	150
	1	63	80	100	125	160	200	106	132	170
	1,5	75	95	118	150	190	236	125	160	200
	2	85	106	132	170	212	265	140	180	224
	3	100	125	160	200	250	315	170	212	265
	3,5	106	132	170	212	265	335	180	224	280
	4	112	140	180	224	280	355	190	236	300

Примітка. Значення, вказані у дужках, по можливості не застосовувати.

3.3.2 Основні відхилення

Положення поля допуску діаметра різьби визначається основним відхиленням відносно нульової лінії. Розрізняють верхнє відхилення, нижнє та основне.

Нульова лінія

лінія, що відповідає номінальному розміру, від якої відкладаються відхилення розмірів в разі графічного зображення полів допусків та посадок.

Верхнє відхилення *ES, es*

алгебраїчна різниця між найбільшим граничним та номінальним розмірами.

Нижнє відхилення *EI, ei*

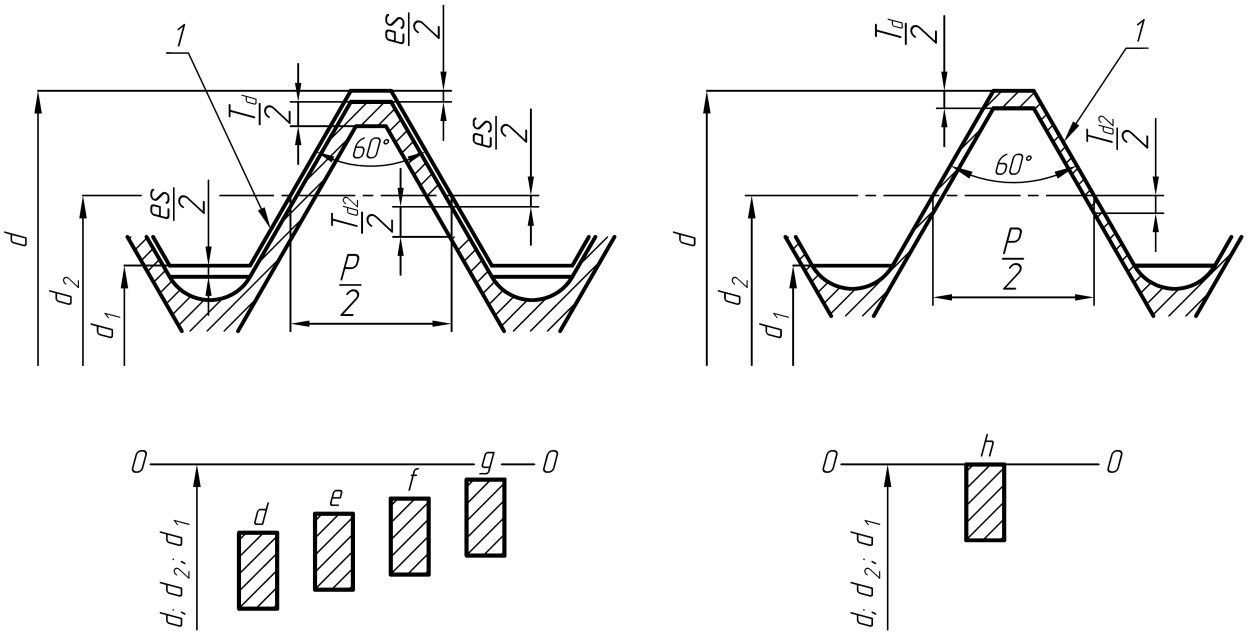
алгебраїчна різниця між найменшим граничним та номінальним розмірами.

Основне відхилення

одне з двох граничних відхилень (верхнє або нижнє), що визначає положення поля допуску відносно нульової лінії. В Єдиній системі допусків і посадок – це відхилення, найближче до нульової лінії.

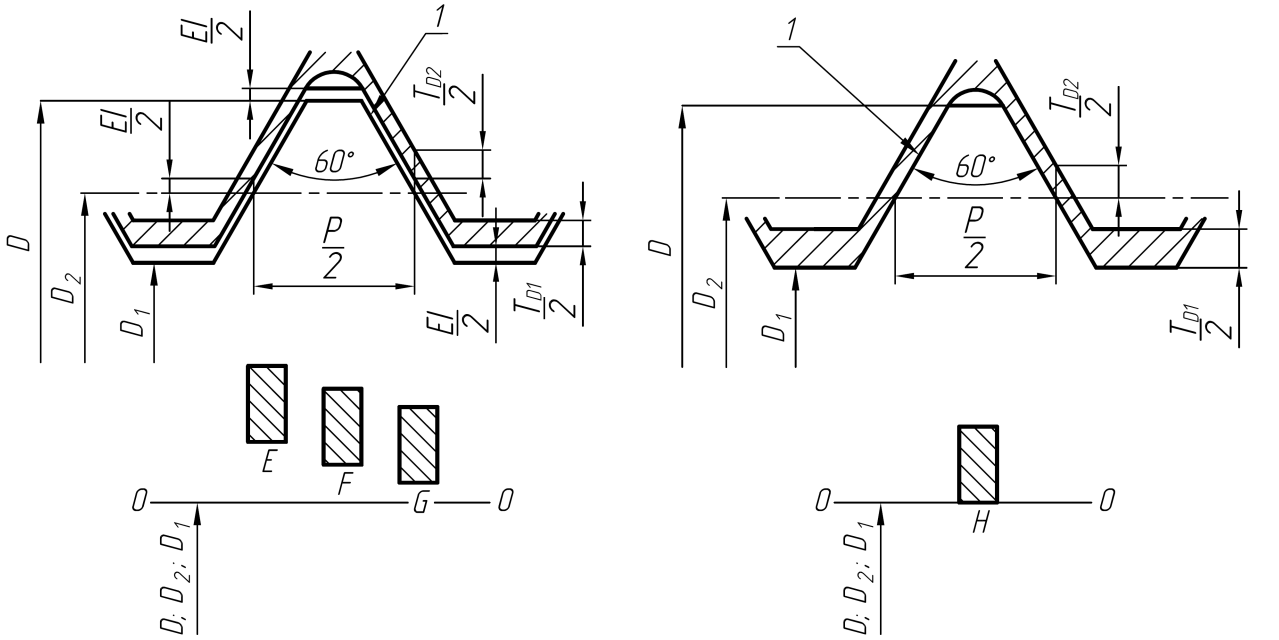
Щоб отримати неосновне відхилення, треба до основного відхилення додати з тим же знаком величину допуску.

Для метричних різьб з зазором стандартом встановлено п’ять основних відхилень для зовнішніх різьб - *d*, *e*, *f*, *g*, *h* (рис. 3.4) і чотири – для внутрішніх - *E*, *F*, *G*, *H* (рис. 3.5). Основним відхиленням діаметрів зовнішніх різьб є верхнє *es*, а для діаметрів внутрішніх різьб – нижнє *EI*. Відхилення відраховують від номінального профілю різьби у напрямі, перпендикулярному до осі різьби. Основні відхилення діаметрів зовнішньої та внутрішньої різьби наведені у табл. 3.6.



а) для основних відхилень d, e, f, g *б)* для основного відхилення h

Рис. 3.4 - Схема полів допусків зовнішньої різьби



а) для основних відхилень E, F, G *б)* для основного відхилення H

Рис. 3.5 - Схема полів допусків внутрішньої різьби

Таблиця 3.6

Основні відхилення діаметрів зовнішньої та внутрішньої різьби

Крок різьби *P*, мм	Зовнішня різьба					Внутрішня різьба			
	Діаметр різьби *d*; d_2; d_1					Діаметр різьби *D*; D_1; D_2			
	Основне відхилення *es*, *мкм*					Основне відхилення *EI*, *мкм*			
	d	*e*	*f*	*g*	*h*	*E*	*F*	*G*	*H*
0,2	-	-	-32	-17	0	-	+32	+17	0
0,25	-	-	-33	-18	0	-	+33	+18	0
0,3	-	-	-33	-18	0	-	+33	+18	0
0,35	-	-	-34	-19	0	-	+34	+19	0
0,4	-	-	-34	-19	0	-	+34	+19	0
0,45	-	-	-35	-20	0	-	+35	+20	0
0,5	-	-50	-36	-20	0	+50	+36	+20	0
0,6	-	-53	-36	-21	0	+53	+36	+21	0
0,7	-	-56	-38	-22	0	+56	+38	+22	0
0,75	-	-56	-38	-22	0	+56	+38	+22	0
0,8	-	-60	-38	-24	0	+60	+38	+24	0
1	-90	-60	-40	-26	0	+60	+40	+26	0
1,25	-95	-63	-42	-28	0	+63	+42	+28	0
1,5	-95	-67	-45	-32	0	+67	+45	+32	0
1,75	-100	-71	-48	-34	0	+71	+48	+34	0
2	-100	-71	-52	-38	0	+71	+52	+38	0
2,5	-106	-80	-58	-42	0	+80	-	+42	0
3	-112	-85	-63	-48	0	+85	-	+48	0
3,5	-118	-90	-	-53	0	+90	-	+53	0
4	-125	-95	-	-60	0	+95	-	+60	0
4,5	-132	-100	-	-63	0	+100	-	+63	0
5	-132	-106	-	-71	0	+106	-	+71	0
5,5	-140	112	-	75	0	+112	-	+75	0
6	-150	-116	-	-80	0	+118	-	+80	0

Посадки із зазором метричних різьб утворюються поєднанням полів допусків зовнішньої та внутрішньої різьби (рис. 3.6). Поєднання полів допусків з основними відхиленнями H/h утворює посадку з найменшим зазором, що дорівнює нулю, інші поля допусків утворюють посадки з гарантованими зазорами.

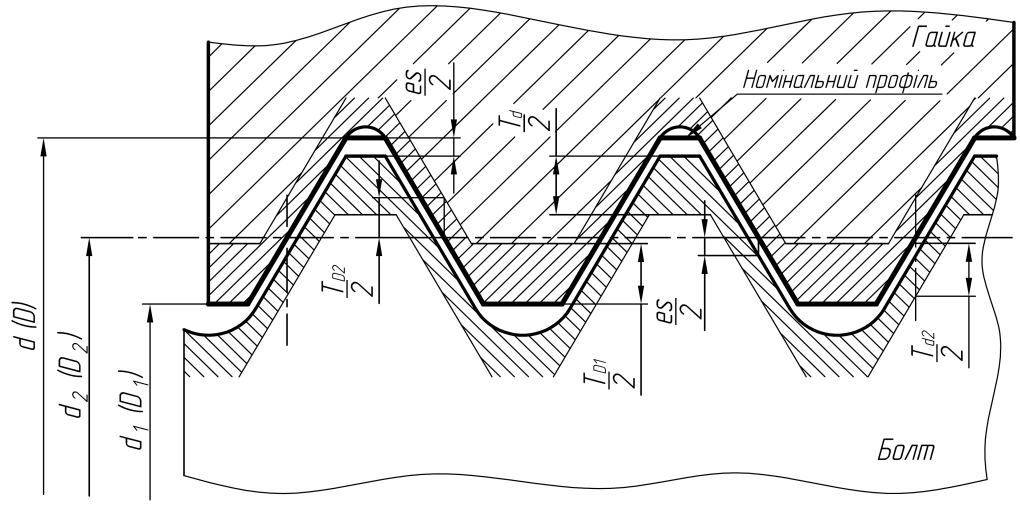


Рис. 3.6 - Схема посадки з зазором

Довжини згвинчування. Для вибору ступеню точності у залежності від довжини згвинчування різьби встановлено три групи довжин згвинчування: *S* – короткі, *N* – нормальні та *L* – довгі (табл. 3.7)

Таблиця 3.7

Довжини згвинчування метричної різьби

Група	Позначення	Довжина згвинчування *l*, мм
Короткі	*S*	$l \le 2{,}24 \cdot P \cdot d^{0{,}2}$
Нормальні	*N*	$2{,}24 \cdot P \cdot d^{0{,}2} < l \le 6{,}7 \cdot P \cdot d^{0{,}2}$
Довгі	*L*	$l > 6{,}7 \cdot P \cdot d^{0{,}2}$
P – крок різьби, мм; *d* – зовнішній діаметр, мм		

3.3.3 Класи точності

Поля допусків зовнішньої та внутрішньої різьб передбачені у трьох класах точності: точному, середньому та грубому (табл. 3.8, 3.9). Поняття про класи точності умовне, його використовують для порівняння точності різьби. На кресленнях позначають не клас точності, а поле допуску різьби.

Таблиця 3.8

Поля допусків зовнішньої різьби

Клас точності	Довжина згвинчування									
	S			*N*				*L*		
	Поля допуску зовнішньої різьби									
Точний		(3*h*4*h*)				(4*g*)	**4*h***			(5*h*4*h*)
Середній	5*g*6*g*	(5*h*6*h*)	(6*d*)	**6*e***	**6*f***	**6*g***	6*h*	(7*e*6*e*)	7*g*6*g*	(7*h*6*h*)
Грубий				(8*e*)		8*g*	(8*h*)*	(9*e*8e)	(9*g*8*g*)	

* Тільки для різьби з кроком $P \ge 0{,}8$ мм. Для різьби з кроком $P < 0{,}8$ мм треба застосувати поле допуску *8h6h*.

Таблиця 3.9

Поля допусків внутрішньої різьби

Клас точності	Довжина згвинчування					
	S		*N*		*L*	
	Поля допуску внутрішньої різьби різьби					
Точний		4*H*		**5*H***		6*H*
Середній	(5*G*)	5*H*	**6*G***	**6*H***	(7*G*)	7*H*
Грубий			(7*G*)	7*H*	(8*G*)	8*H*

Примітка до табл. 3.8 та 3.9:

1. Поля допусків, які взяті у рамки, є переважними.
2. Поля допусків, що взяті у дужки, по можливості не застосовувати.

Умовне позначення різьби. Умовне позначення різьби (ДСТУ ISO 965-1) складається з позначення виду різьби (метрична), розміру різьби, позначення поля допуску, а також, за необхідності, позначення особливих параметрів – кроку, напрямку витків різьби, довжини згвинчування.

Зовнішня різьба (болт): *M*16×1,5 – 7*h*6*h*

*M*16 – різьба метрична, номінальний (зовнішній) діаметр 16 мм;
1,5 – крок різьби 1,5 мм
7*h* – поле допуску середнього діаметра d_2
6*h* – поле допуску зовнішнього діаметра *d*

Внутрішня різьба (гайка): *M*16×1,5 – 5*H*6*H*

*M*16 – різьба метрична, номінальний (зовнішній) діаметр 16 мм;
1,5 – крок різьби 1,5 мм
5*H* – поле допуску середнього діаметра D_2
6*H* – поле допуску внутрішнього діаметра D_1

П**осадка**: $M16\times1{,}5-\frac{5H6H}{7h6h}$

5*H*6*H* – поля допусків внутрішньої різьби
7*h* 6*h* – поля допусків зовнішньої різьби

Якщо крок різьби великий, то в позначенні його не вказують: *M*24 – 4*H*5*H*.

За табл. 3.2 крок різьби P = 2 мм.

Якщо для зовнішньої різьби поля допусків середнього і зовнішнього діаметрів збігаються, то його в позначенні поля допуску різьби не повторюють: *M*12-6*g*.

Якщо для внутрішньої різьби поля допусків середнього і внутрішнього діаметрів збігаються, то його в позначенні поля допуску різьби не повторюють: *M*12-6*H*.

Якщо довжина згвинчування різьби є «нормальною», то її в позначенні не вказують.

Якщо довжина згвинчування різьби «коротка» *S* або «довга» *L*, то її вказують після позначення поля допуску різьби і відокремлюють тире: *M*20×2-5*H*-S, M6-7*H*/7*g*6*g*-*L*.

Ліву різьбу позначають літерами *LH*, які слідують після позначення різьби:

*M*20×2 – *LH*;

*M*5×0,5 – 5*g*4*g* – *S* – *LH*;

Приклади позначення точності різьб та посадок наведені на рис. 3.7.

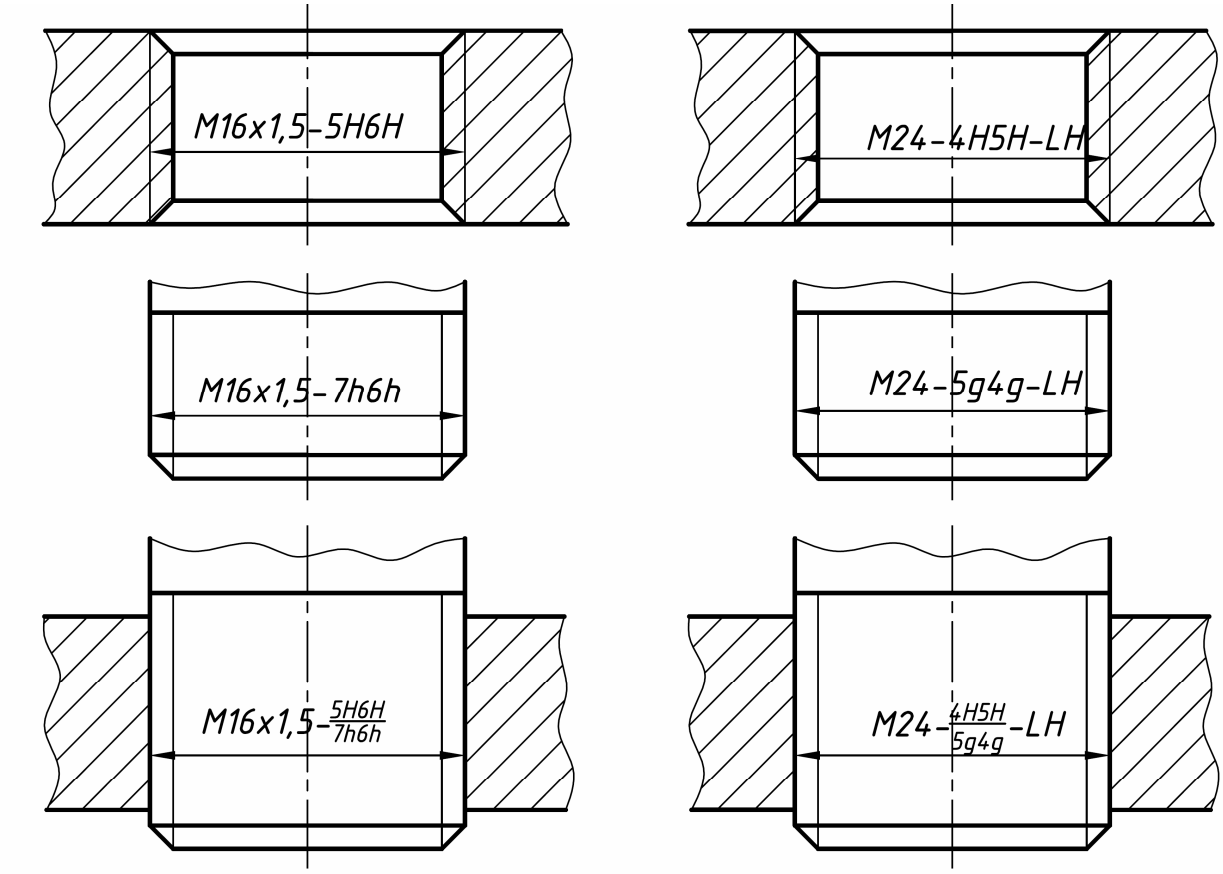


Рис. 3.7 – Позначення на кресленнях точності різьб та різьбових посадок

3.4 *Лабораторна робота № 7.* Вимірювання середнього діаметра зовнішньої метричної різьби методом трьох дротиків

Мета роботи

Вивчити методику та техніку вимірювання середнього діаметра зовнішньої різьби методом трьох дротиків.

Завдання

Виміряти середній діаметр зовнішньої різьби за допомогою гладкого мікрометра і трьох дротиків та зробити висновок щодо придатності різьби деталі. Побудувати схему поля допуску різьби.

Технічне забезпечення

1. Мікрометр гладкий – 1 шт.
2. Комплект дротиків – 1 шт.
3. Валик різьбовий – 1 шт.

3.4.1 Методика вимірювання середнього діаметра різьби

Середній діаметр зовнішньої різьби вимірюють за допомогою гладкого мікрометра та комплекту з трьох каліброваних дротиків однакового діаметра відповідно до ГОСТ 2475. Дротики, закріплені на державці, закладають у западини зовнішньої різьби між вимірювальними наконечниками гладкого мікрометра (рис. 3.8). Потім мікрометром (або іншим точним приладом) вимірюють розмір *M* та розраховують значення середнього діаметра різьби.

Будову, принцип дії та техніку вимірювань гладким мікрометром описано в розділі 2. Дротики і ролики виготовляють із загартованих сталей. Вони мають високу твердість

58 ... 62 *HRC* та високу якість робочих поверхонь (максимальне значення параметра шорсткості *Ra* 0,04 мкм).

За конструкцією відповідно до ГОСТ 2475 розрізняють дротики і ролики наступних типів: дротики гладкі, дротики ступінчасті та ролики (рис. 3.9).

Діаметральні розміри дротиків суттєво впливають на значення параметра *M*, а відповідно і точність визначення середнього діаметра різьби. Розрізняють номінальний та граничні розміри дротиків.

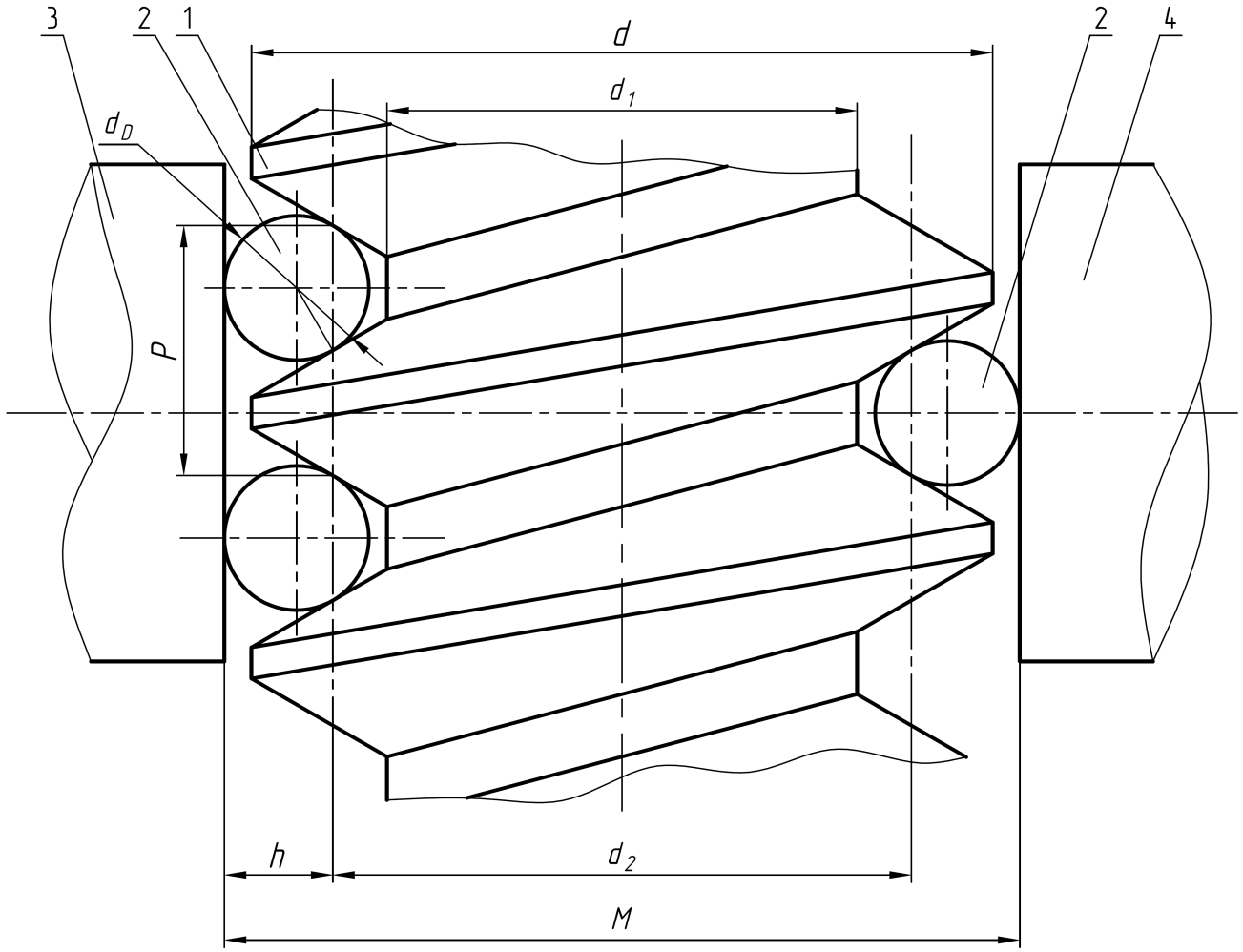
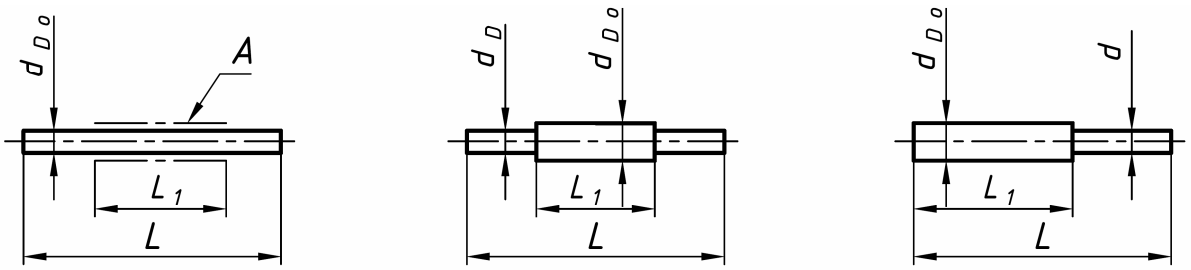


Рис. 3.8 – Схема вимірювання середнього діаметра різьби:
1 – деталь із зовнішньою різьбою; 2 – дротики; 3 – п'ятка гладкого мікрометра;
4 – мікрогвинт гладкого мікрометра; *M* – розмір, що вимірюється



а) дротики гладкі *б)* дротики ступінчасті *в)* ролики
А – робоча поверхня дротика; L_1 – довжина робочої поверхні; *L* – загальна довжина

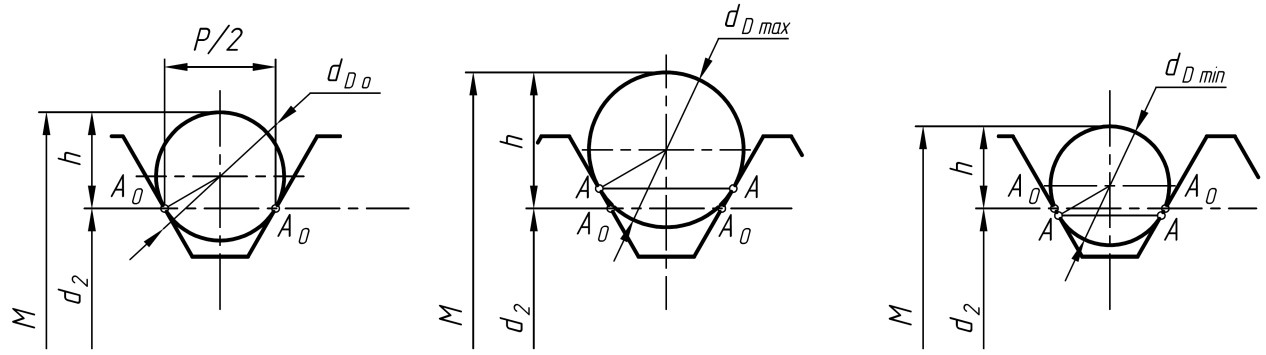
Рис. 3.9 – Конструкції дротиків та роликів

Номінальний діаметр дротика d_{D_0}

діаметр, який в процесі вимірювання різьби з симетричним профілем забезпечує точки дотику з вимірюваним профілем на рівні середнього діаметра (рис. 3.10,*а*).

Граничні значення діаметра дротика *(найбільший* $d_{D_{\max}}$ *та найменший* $d_{D_{\min}}$ *)*

діаметри, при яких точки дотику А зі сторонами профілю різьби віддалені від точок дотику A_0 (які забезпечуються дротиками діаметром d_{D_0}) на максимально допустиму відстань (рис. 3.10,*б*,*в*).



а) дротик номінального діаметра

б) дротик найбільшого граничного діамента

в) дротик найменшого граничного діамента

Рис. 3.10 – Номінальний та граничні діаметри дротиків

Найвищу точність вимірювання забезпечують дротики, які мають номінальний діаметр, такий діаметр називають найбільш вигідним або найкращим. Номінальний діаметр дротика розраховують за формулою

$$d_{D_0} = \frac{P}{2\cos(\alpha/2)} \tag{3.6}$$

де P - крок різьби, мм;

α - кут профілю різьби, градус.

Для метричної різьби з кутом $\alpha = 60^\circ$

$$d_{D_0} = 0{,}577 \cdot P$$

Найбільший та найменший граничні розміри дротика:

$$d_{D_{\max}} = 1{,}2 \cdot d_{D_0}$$
$$d_{D_{\min}} = 0{,}5052 \cdot P$$

Номінальні діаметри дротиків і роликів для вимірювання середнього діаметра зовнішньої різьби в залежності від кроку наведені в табл. 3.10.

Середній діаметр d_2 зовнішньої різьби зв'язаний з розміром *M* залежністю

$$d_2 = M - 2h = M - \frac{d_D\,(1+\sin\frac{\alpha}{2})}{\sin\frac{\alpha}{2}} + \frac{P \cdot ctg\frac{\alpha}{2}}{2}$$

де h - відстань від середнього діаметра різьби до поверхні, дотичної до дротика, мм;

d_D - дійсний діаметр дротика, мм.

Для метричної різьби з кутом $\alpha = 60°$ дійсний середній діаметр визначають за залежністю

$$d_{2\partial} = M - 3 \cdot d_D + 0{,}866 \cdot P \qquad (3.7)$$

Таблиця 3.10

Номінальний та граничні розміри дротиків для вимірювання метричної різьби

Крок	d_{D_0}	$d_{D_{\max}}$	$d_{D_{\min}}$
0,5	0,289	0,347	0,253
0,6	0,346	0,415	0,304
0,7	0,404	0,485	0,354
0,75	0,433	0,520	0,379
0,8	0,462	0,554	0,405
1,0	0,577	0,692	0,506
1,25	0,722	0,866	0,632
1,5	0,866	1,039	0,758
1,75	1,010	1,212	0,885
2,0	1,155	1,386	1,011
2,5	1,443	1,732	1,264
3,0	1,732	2,078	1,516
3,5	2,021	2,425	1,769
4,0	2,309	2,771	2,021

3.4.2. Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо параметрів та взаємозамінності метричних різьб (п. 3.1 ... 3.3).
2. Вивчити будову гладкого мікрометра.
3. Для різьбового валика, виданого викладачем (відомими є номінальний розмір, крок та поле допуску різьби) розрахувати:
   - номінальний середній діаметр різьби d_2
   - найбільший граничний середній діаметр $d_{2_{\max}}$
   - найменший граничний середній діаметр $d_{2_{\min}}$
4. За формулою (3.6) розрахувати номінальний (найбільш вигідний) діаметр дротика. Вибрати з наявного набору комплект дротиків з діаметром найбільш близьким до розрахункового - $d_{D\partial}$.
5. Виміряти розмір *M* у трьох перерізах різьбового валика – у середній частині та по краях, дані занести в протокол (табл. 3.11). У кожному перерізі вимірювання виконати тричі (рис. 3.11). За дійсну величину розміру *M* прийняти середнє арифметичне отриманих значень.
6. За формулою (3.7) розрахувати дійсний середній діаметр різьби.
7. Порівнявши дійсний розмір середнього діаметра з граничними, зробити висновок щодо придатності різьби.
8. Побудувати схему поля допуску різьби деталі.

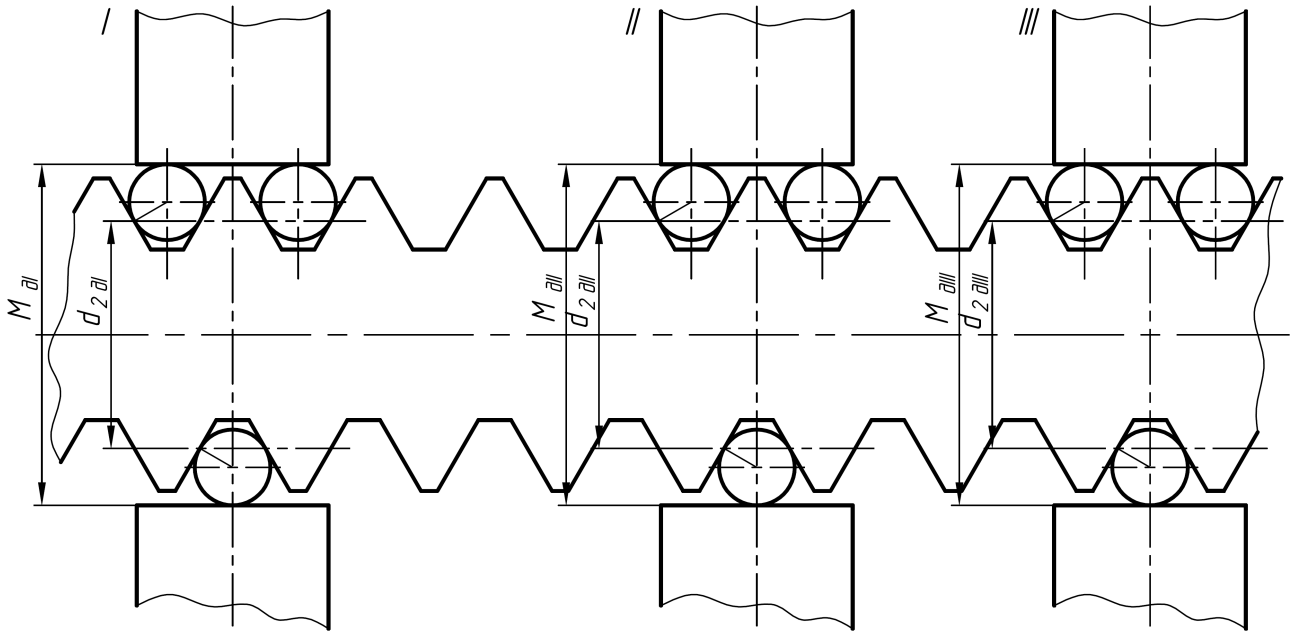


Рис. 3.11 – Схема вимірювання різьбової деталі

Таблиця 3.11

Результати вимірювання середнього діаметра різьби

1.	Умовне позначення різьби				
2.	Крок різьби *P*, мм				
3.	Номінальний середній діаметр різьби d_2, мм				
4.	Найбільший граничний середній діаметр $d_{2\max}$, мм				
5.	Найменший граничний середній діаметр $d_{2\min}$, мм				
6.	Номінальний дійсний діаметр дротика d_{D_0}				
7.	Дійсний діаметр дротика $d_{D\,д}$				
8.	Розмір *M*, мм	Переріз I-I	Переріз II-II	Переріз III-III	Середнє значення *M*
	покази 1				
	покази 2				
	покази 3				
9.	Дійсний середній діаметр гвинта $d_{2\,д}$				
10.	Висновок щодо придатності різьби за середнім діаметром				

3.5 *Лабораторна робота № 8.* Вимірювання середнього діаметра метричної різьби мікрометром з різьбовими вставками

Мета роботи

Вивчити методику та техніку вимірювання середнього діаметра зовнішньої різьби мікрометром з різьбовими вставками.

Завдання

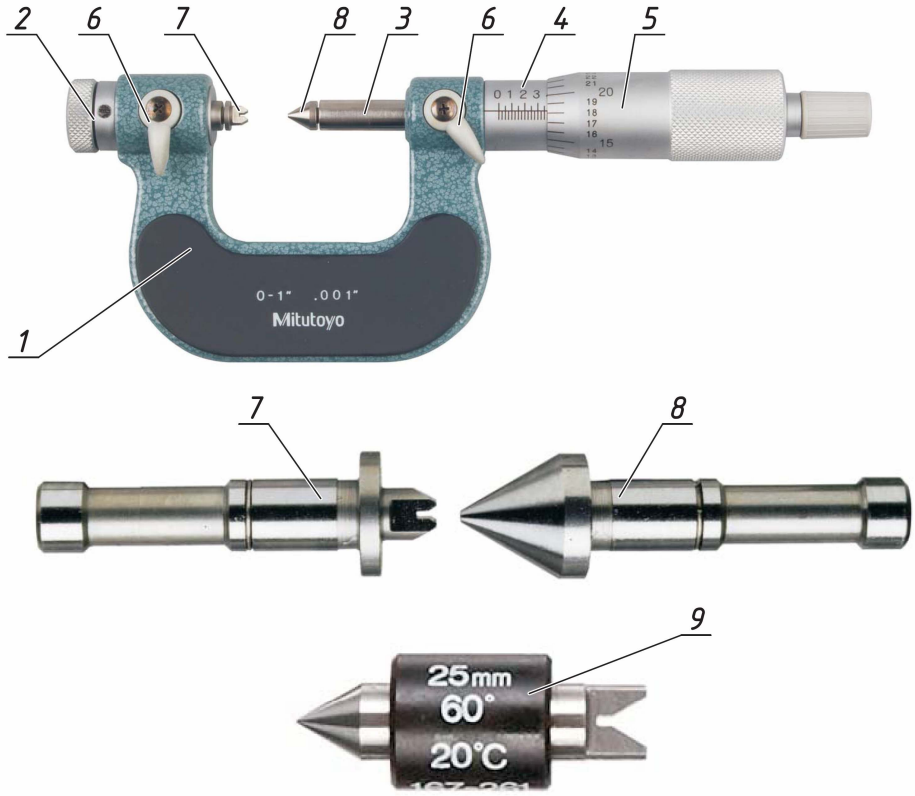
За допомогою мікрометра з різьбовими вставками виміряти середній діаметр різьби та зробити висновок щодо придатності різьби деталі. Побудувати схему поля допуску різьби.

Технічне забезпечення

1. Мікрометр гладкий – 1 шт.
2. Комплект різьбових вставок – 1 шт.
3. Валик різьбовий – 1 шт.

3.5.1 Методика вимірювання середнього діаметра різьби

Мікрометр з різьбовими вставками за ГОСТ 4380 призначений для вимірювання середнього діаметра метричних, дюймових і трубних різьб. Будова різьбового мікрометра така ж, як і гладкого мікрометра. Відмінність полягає у тому, що в отвір нерухомої п'яти 2 встановлюють різьбову призматичну вставку 7, а в отвір мікрометричного гвинта 3 – різьбову конічну 8 (рис. 3.12). Конструкція вставок забезпечує їх самовстановлення по куту підйому різьби.



1 – скоба
2 – п'ята
3 – мікрометричний гвинт
4 – стебло
5 – барабан
6 – стопори
7 – різьбова вставка призматична
8 – різьбова вставка конічна
9 – встановлювальна міра

Рис. 3.12 – Мікрометр з різьбовими вставками (Mitutoyo)

Вставки для вимірювання різьби мають високу твердість (59…65 *HRC*) та високу якість вимірювальних поверхонь ($Ra \le 0{,}32$ мкм). Їх об'єднують у набори парами (одна вставка призматична, інша – конічна). Одна пара вставок може бути використана для вимірювання певного діапазону кроків різьби. Число пар вставок для метричної різьби та їх характеристики різьби наведено в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

Набори різьбових вставок

Діапазон вимірювання мікрометром, мм	Кількість пар вставок у наборі, шт.	Крок (діапазон кроків) метричної різьби, які вимірюються однією парою вставок, мм
0-25	10	0,4-0,45; 0,5-0,6; 0,7-0,8; 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5; 3
25-50	9	0,7-0,8; 1; 1,5; 2; 3; 3,5; 4; 4,5; 5
50-75	8	1; 1,5; 2; 3; 4; 5; 5,5; 6
75-100	6	1; 1,5; 2; 3; 4; 6

Налаштування на нуль різьбових мікрометрів з діапазоном до 25 мм виконують аналогічно до гладких мікрометрів. Різьбові мікрометри з діапазоном вимірювання понад 25 мм налаштовують за спеціальними встановлювальними мірами (рис. 3.12). Кут профілю різьбових вставок і встановлювальної міри мають відповідати профілю різьби (для метричної різьби α=60°).

Для вимірювання середнього діаметра зовнішньої різьби контрольовану деталь встановлюють між вимірювальними губками різьбового мікрометра так, щоб її вісь була перпендикулярною до осі вимірювальних губок мікрометра – призматичну вставку треба поставити на один виток різьби, а конічну – в западину різьби (рис. 3.13). Зчитування показань мікрометра виконують так само, як при вимірюванні гладких циліндричних поверхонь. Ціна поділки шкали мікрометра складає 0,01 мм, а границя допустимої похибки: $\pm$10 мкм для кроків до 2 мм, $\pm$13 мкм для кроків 2 ...2,5 мм і $\pm$15 мкм для кроків понад 2,5 мм.

Для самоконтролю правильності вимірювання положення мікрогвинта фіксують стопорами 6 (рис. 3.12) і між вставками мікрометра обережно прокручують різьбову деталь. Якщо різьба проходить між вставками з легким зусиллям, то вимірювання виконано правильно, а якщо ж зусилля надмірно велике, то вимірювання варто повторити.

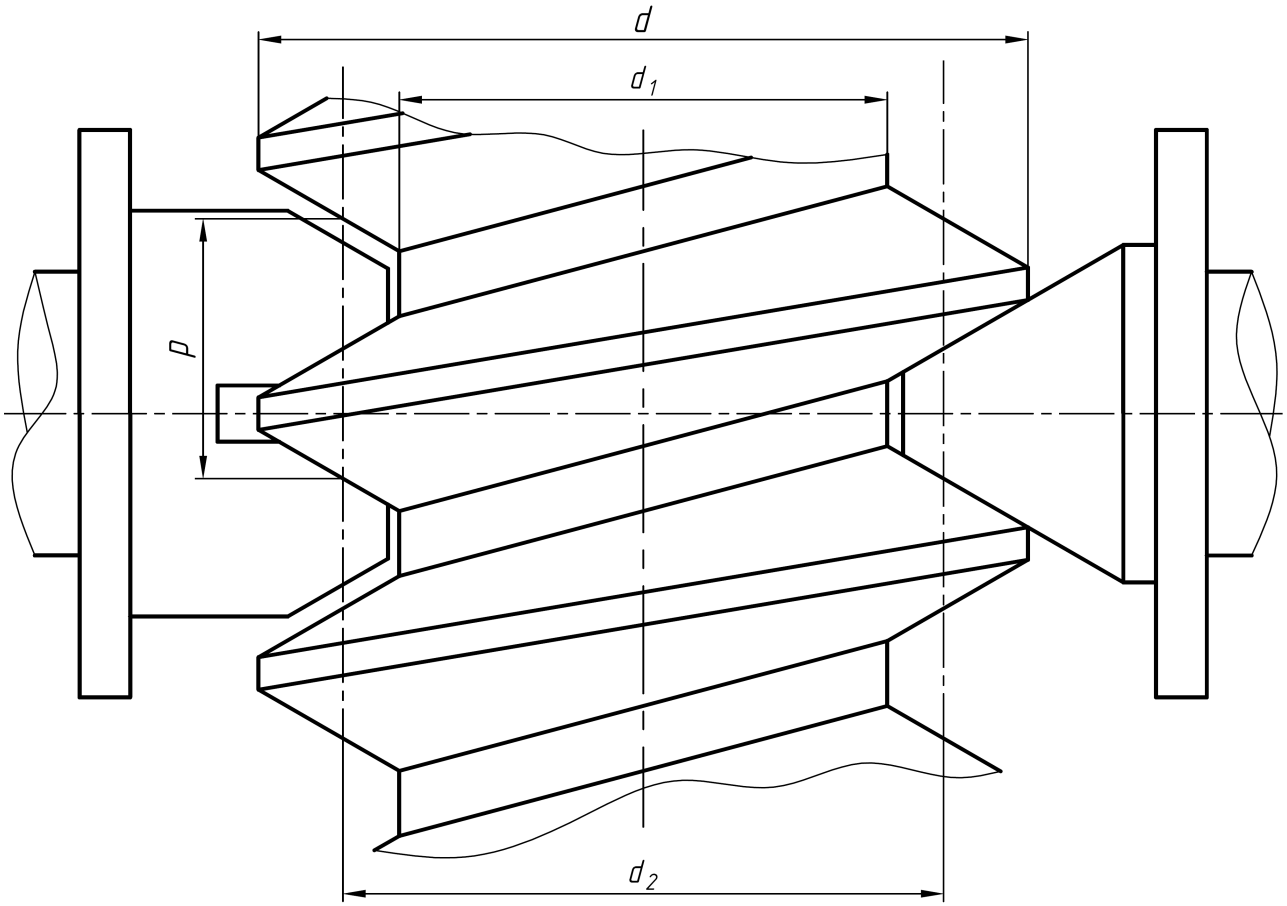


Рис. 3.13 – Схема вимірювання середнього діаметра різьби

3.5.2 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо параметрів та взаємозамінності метричних різьб (п. 3.1 ... 3.3).
2. Вивчити будову та принцип дії різьбового мікрометра.
3. Для різьбового валика, виданого викладачем (відомими є номінальний розмір,

крок та поле допуску різьби), розрахувати:

- номінальний середній діаметр різьби d_2
- найбільший граничний середній діаметр $d_{2\max}$
- найменший граничний середній діаметр $d_{2\min}$

4. За кроком різьби підібрати пару різьбових вставок. Встановити призматичну вставку у гніздо п'яти, а конічну – в гніздо мікрометричного гвинта.
5. Перевірити установку мікрометра на нуль.
6. Виміряти середній діаметр у трьох перерізах різьбового валика – у середній частині та по краях, дані занести в протокол (табл. 3.13). У кожному перерізі вимірювання виконати тричі (рис. 3.14).
7. Визначити дійсний середній діаметр різьби, як середнє арифметичне отриманих значень.
8. Порівнявши дійсний розмір середнього діаметра з граничними, зробити висновок щодо придатності різьби.
9. Побудувати схему поля допуску різьби деталі.

Таблиця 3.13

Результати вимірювання середнього діаметра різьби

1.	Умовне позначення різьби				
2.	Крок різьби *P*, мм				
3.	Номінальний середній діаметр різьби d_2, мм				
4.	Найбільший граничний середній діаметр $d_{2\max}$, мм				
5.	Найменший граничний середній діаметр $d_{2\min}$, мм				
6.	Виміряний середній діаметр, мм	Переріз I-I	Переріз II-II	Переріз III-III	Дійсний середній діаметр гвинта $d_{2\,д}$
	покази 1				
	покази 2				
	покази 3				
7.	Висновок щодо придатності різьби за середнім діаметром				

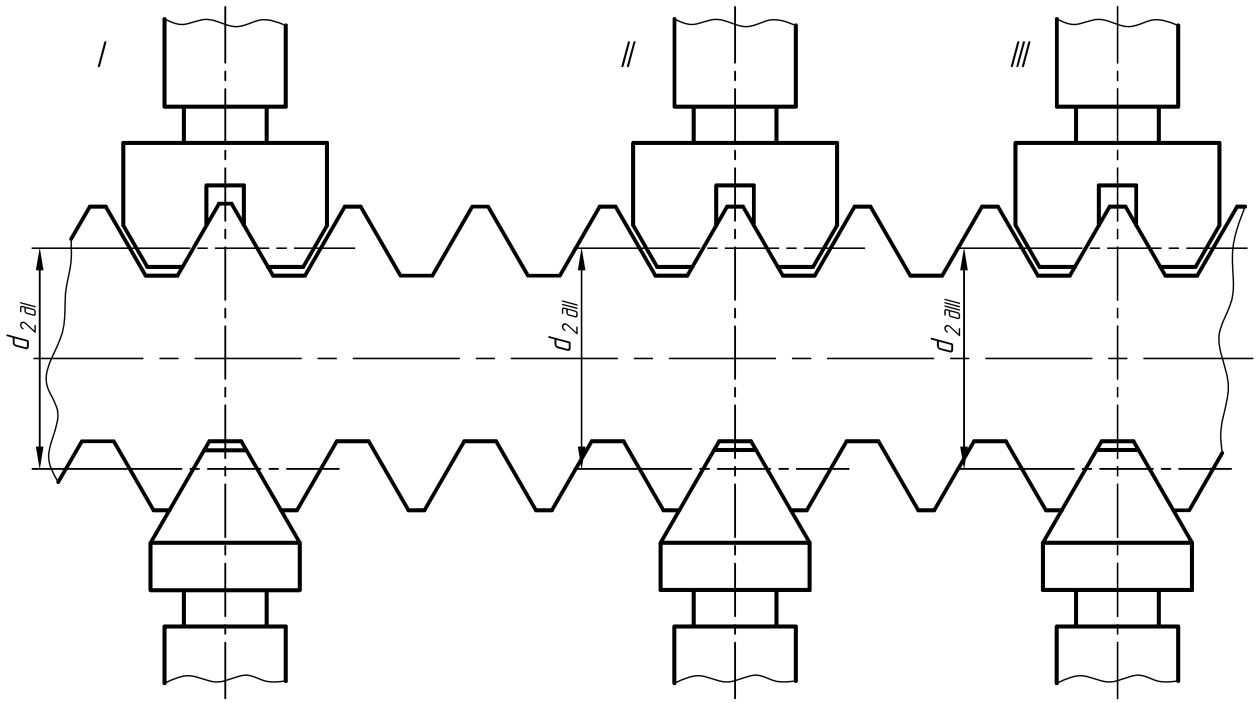


Рис. 3.14 – Схема вимірювання середнього діаметра різьби

3.6 *Лабораторна робота № 9.* Вимірювання елементів метричної різьби на інструментальному мікроскопі

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання зовнішньої різьби на інструментальному мікроскопі.

Зміст роботи

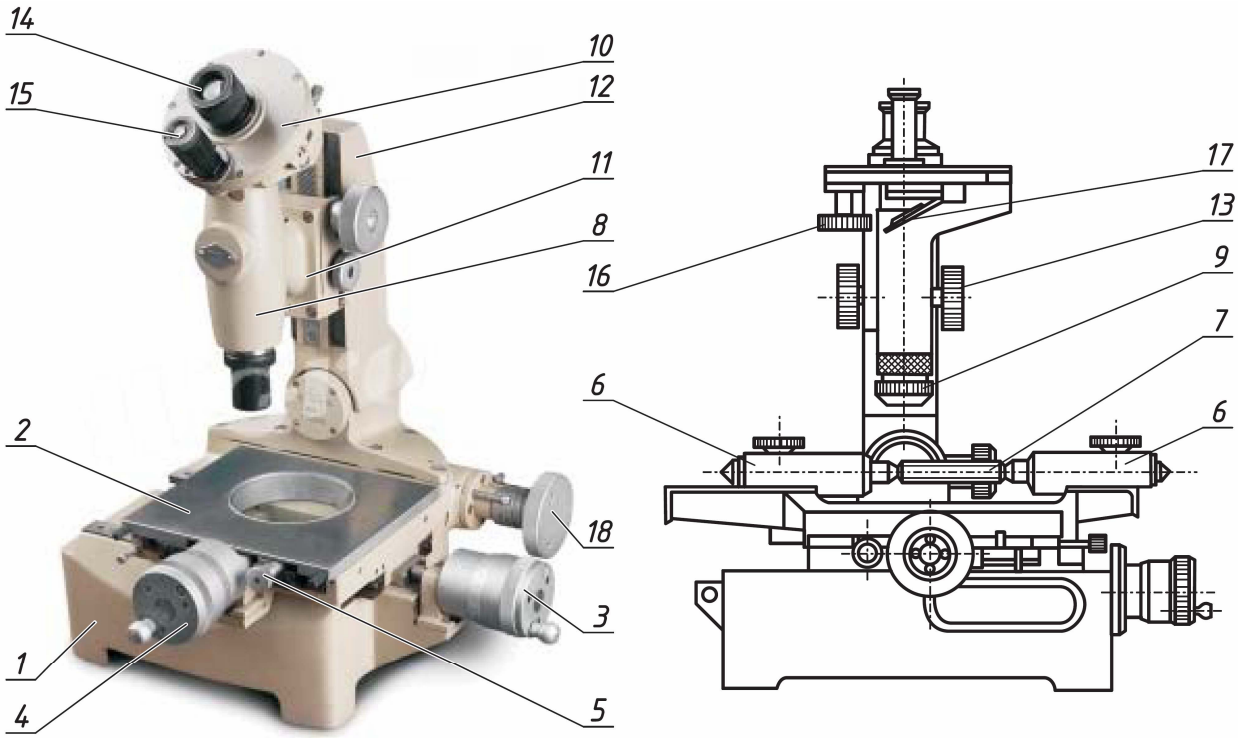
За допомогою інструментального мікроскопа виміряти лінійні та кутові параметри зовнішньої різьби та встановити чи відповідає виміряна різьба за зовнішнім та середнім діаметрами заданому полю допуску. Накреслити схему полів допусків різьби.

Технічне забезпечення

1. Мікроскоп інструментальний – 1 шт.
2. Валик різьбовий – 1 шт.

3.6.1 Будова та принцип дії малого інструментального мікроскопа

Інструментальний мікроскоп – це оптико-механічний вимірювальний прилад, призначений для вимірювання лінійних розмірів безконтактним методом у прямокутній системі координат (рис. 3.15).



1 – станина
2 – вимірювальний стіл
3 – мікрометричний гвинт поздовжнього переміщення
4 – мікрометричний гвинт поперечного переміщення
5 – гвинт повороту стола
6 – центри
7 – деталь, що вимірюється
8 – оптична головка
9 – об’єктив
10 – окулярна головка
11 – кронштейн
12 – колонка
13 – маховики переміщення кронштейна
14 – основний окуляр
15 – кутомірний окуляр
16 – маховичок повороту штрихової сітки
17 – дзеркальце
18 – маховик регулювання нахилу колонки

Рис. 3.15 – Основні частини мікроскопа

Мікроскоп складається з масивної станини 1, вздовж напрямних якої може переміщуватись вимірювальний стіл 2 у поздовжньому напрямі. Верхню частину вимірювального стола зі скляною пластиною можна переміщувати у поперечному напрямі [2]. Поздовжнє переміщення здійснюється за допомогою мікрометричного гвинта 3, а поперечне – мікрометричного гвинта 4.

Для відліку переміщень вимірювального стола як у поздовжньому, так і поперечному напрямах на кожному мікрометричному гвинті встановлено гільзу, яка скріплена з мікрометричною гайкою. На гільзі є шкала з ціною поділки 1 мм, а на барабанчику, що скріплений з мікрометричним гвинтом, є кругова шкала, ціна поділки якої складає 0,005 мм. Границі вимірювання мікрометричних гвинтів 0 … 25 мм. Вимірювальний стіл мікроскопа можна повертати навколо вертикальної осі за допомогою гвинта 5. Шкали для відліку кута повороту немає, тому що поворот стола потрібен лише для регулювання положення вимірюваної деталі відносно осі напрямних стола. Якщо вимірювана деталь плоска, то її розміщують безпосередньо на вимірювальному столі. Для вимірювання циліндричних деталей з центровими отворами, на вимірювальний стіл столик встановлюють рамку з центрами 6, а вимірювану деталь 7 закріплюють у центрах.

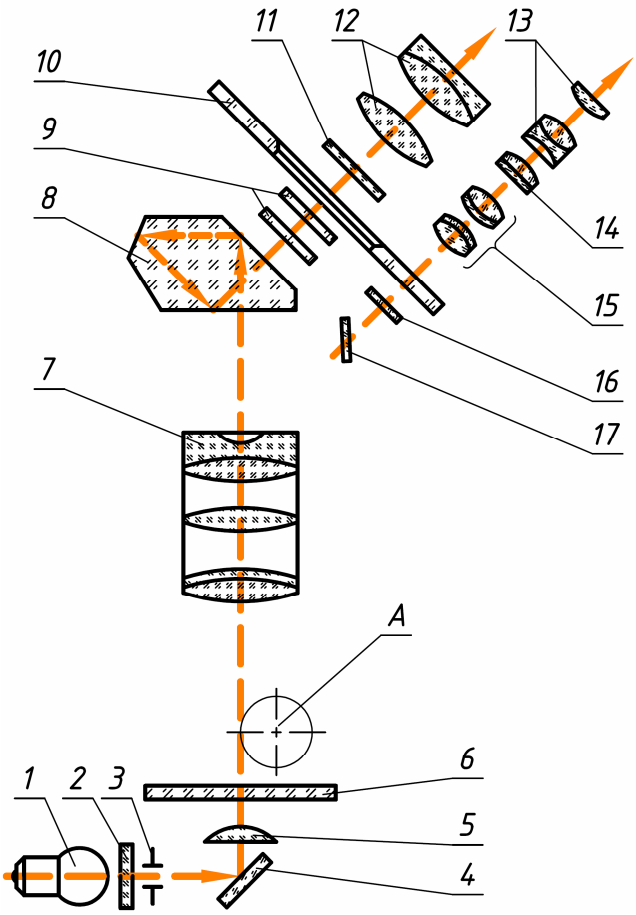
Оптичну головку 8 мікроскопа із змінними об’єктивами 9 та окулярною головкою 10 встановлено на кронштейні 11, який можна пересувати по напрямних колонки 12 вгору і вниз за допомогою маховиків 13. За допомогою цього переміщення виконують фокусування оптичної системи на об’єкт вимірювання. Для точного фокусування мікроскопа обертають рифлене кільце у нижній частині оптичної головки для її переміщення. У верхній частині окулярної головки 10 розміщено два окуляри: основний 14 та кутомірний 15, а також маховичок 16 повороту штрихової сітки в окулярі основного мікроскопа. Дзеркальце 17 повертають на певний кут, щоб спрямувати світло від зовнішнього джерела світла чи спеціальної лампочки в кутомірний окуляр. У задній стінці станини вмонтовано освітлювальний пристрій мікроскопа для роботи проекційним методом.

Оптична схема мікроскопа. Пучок променів від джерела світла 1 проходить через світлофільтр 2, діафрагму 3 і потрапляє на дзеркало 4, яке змінює напрямок променів на 90° від початкового (рис. 3.16). Потім світло проходить через конденсор 5 і предметне скло 6 вимірювального стола і освітлює вимірюваний об’єкт А. Якщо об’єкт А є непрозорий, то в полі зору мікроскопа спостерігається тіньовий контур об’єкта.

Промені проходять через лінзи об’єктива 7, призму 8, захисні скляні пластини 9, сітку змінної головки 11 і потрапляють в окуляр 12. Завдяки призмі 8, зображення об’єкта видно у прямому, а не перевернутому вигляді, що суттєво спрощує вимірювання. До складу відлікової кутомірної головки входять: лімб 10, окуляр мікроскопа 13, мінутна шкала 14, об’єктив 15, світлофільтр 16 та дзеркало 17 для освітлювання градусної і мінутної шкал.

Відлік показів приладу. Покази мікрометричного гвинта зчитуються наступним чином (рис. 3.17): за шкалою 1, що нанесена на гільзі мікрометричного гвинта, відраховують ціле число міліметрів, пройдене скошеним краєм барабанчика. За шкалою 2, що нанесена на барабанчику, по поділці, встановленій навпроти поздовжньої риски гільзи, відраховують дробові долі міліметра з точністю до 5 мкм. Наприклад, відлік на рис. 3.17, *а* дорівнює 24,025 мм.

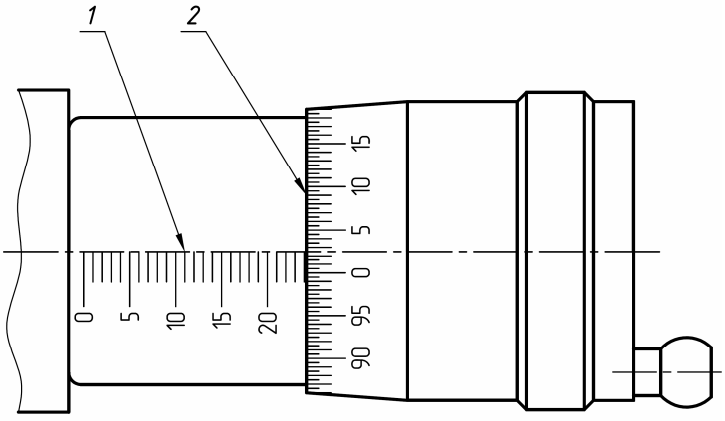
Відлік за кутовою шкалою виконується за кутомірним окуляром – ціле число градусів зчитують над рискою, розташованою в межах мінутної шкали, а число мінут – навпроти градусної риски. Наприклад, відлік на рис. 3.17,*б* дорівнює 29° 33´.



1 – джерело світла
2 – світлофільтр
3 – діафрагма
4 – дзеркало
5 – конденсор
6 – предметне скло столика
7 – об’єктив
8 – призма
9 – захисні скляні пластини
10 – лімб
11 – сітка змінної головки
12 – окуляр мікроскопа
13 – кутомірний окуляр
14 – мінутна шкала
15 – об’єктив
16 – світлофільтр
17 – дзеркало для освітлювання кутових шкал

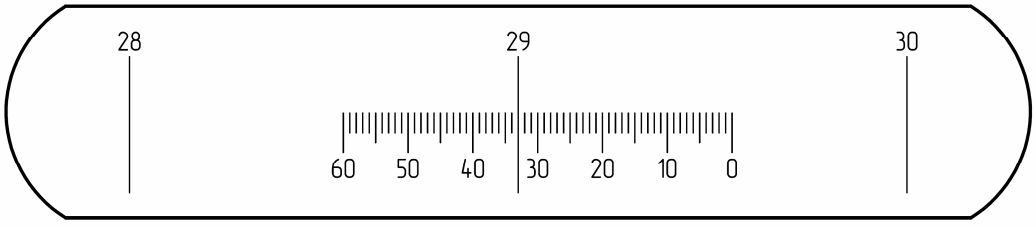
Рис. 3.16 – Оптична схема мікроскопа

Метрологічні характеристики інструментального мікроскопа ММИ-2 наведено в табл. 3.14.



Відлік поздовжнього та поперечного переміщення: 24,025 мм

а)



Відлік кутів: 29° 33´

б)

Рис. 3.17 – Відлік показів мікроскопа

Таблиця 3.14

Метрологічні характеристики інструментального мікроскопа

№	Параметр	Значення
1	Діапазон вимірювання довжини: у поздовжньому напрямі у поперечному напрямі	 0 - 75 мм 0 - 25 мм
2	Найбільша відстань між центрами	200 мм
3	Найбільший діаметр деталі в центрах	50 мм
4	Діапазон вимірювання плоских кутів окулярною кутомірною головкою	0 - 360°
5	Ціна поділки шкал барабанів мікрометричних головок	0,005 мм
6	Ціна поділки шкали кутомірної головки	1´
7	Сумарна похибка показів приладу під час вимірювання мікрометричними парами поздовжніх і поперечних переміщень	0,003 мм

Налаштування приладу. До початку вимірювань потрібно виконати налаштування мікроскопа, щоб забезпечити:

- фокусування мікроскопа на горизонтальну площину, яка збігається з лінією центрів 6 (рис. 3.15);
- установку лінії центрів паралельно до поздовжнього ходу стола 2.

Для цього за допомогою маховичка 16 (рис. 3.15) штрихову сітку встановлюють у положення нульового відліку за кутовою шкалою (нуль мінутної шкали збігається з нулем градусної шкали). У такому положенні горизонтальна лінія штрихової сітки є паралельною до напрямку поздовжнього переміщення стола, а вертикальна – паралельною до напрямку поперечного переміщення стола.

У центрах 6 встановлюють циліндричний контрольний валик з лезом (валик входить до комплекту приладдя мікроскопа). За допомогою маховика 13 (рис. 3.15) досягають чіткого зображення леза валика. Остаточне фокусування здійснюється за допомогою гайки у нижній частині оптичної головки 8. У цьому положенні кронштейн 11 фіксують гайкою на колонці 12.

Для точного встановлення центрів відносно поздовжньої осі за допомогою мікрометричних гвинтів поздовжнього переміщення 3, поперечного переміщеннята 4, та гвинта повороту стола 5 досягають положення, коли бічна сторона циліндричного валика збігатиметься з горизонтальною штриховою лінією штрихової сітки.

Після цього замість контрольного валика в центрах встановлюють вимірювану деталь і налаштування прилад не змінюють. У разі відсутності контрольного валика налаштування виконують по вістрях центрів 6.

Під час вимірювання параметрів різьби проекційним методом в окулярі мікроскопа ми бачимо профіль контура різьби а не осьового перерізу, у якому й задаються номінальні розміри профілю. Щоб зменшити похибки вимірювання середнього діаметра, кроку і половини кута профілю різьби, колонку 12 мікроскопа (рис. 3.15) за допомогою маховика 18 нахиляють на кут підйому різьби φ, який визначають за формулою:

$$tg\varphi = P / \pi \cdot d_2 \qquad (3.8)$$

де P – крок різьби, мм;

d_2 – середній діаметр різьби, мм (див. табл. 3.1).

Кут φ можна визначити за табл. 3.15

Таблиця 3.15

Кут підйому гвинтової лінії різьби по середньому діаметру

Крок, мм	Зовнішній діаметр, мм	Кут нахилу колонки	Крок, мм	Зовнішній діаметр, мм	Кут нахилу колонки
1	6	3°24′	1,75	12	2°56′
1	8	2°27′	2,0	14	2°52′
1	12	1°37′	2,0	20	1°57′
1	20	0°57′	2,0	30	1°16′
1,25	8	3°12′	2,0	40	1°57′
1,25	10	2°29′	2,5	20	2°27′
1,25	14	1°44′	3,0	30	1°57′
1,5	16	3°01′	3,0	40	1°26′
1,5	20	1°27′	3,0	50	1°08′
1,5	30	0°57′	3,5	30	2°17′
1,5	40	0°42′	3,5	60	1°16′

3.6.2 Вимірювання параметрів зовнішньої різьби

Вимірювання зовнішнього діаметра різьби. Дивлячись у кутомірний окуляр 15 (рис. 3.15), перевіряють павильність встановлення горизонтальної штрихової лінії сітки (нуль мінутної шкали має збігатися з нулем градусної шкали). Потім, спостерігаючи в основний окуляр 14, обертають мікрометричний гвинт поперечного переміщення 4 до суміщення зображення вершин витків різьби з горизонтальною пунктирною лінією штрихової пластини (рис. 3.18). У цьому положенні проводять перший відлік за барабанчиком мікрометричного гвинта поперечного переміщення предметного стола. Дані вимірювання заносять у протокол (табл. 3.16).

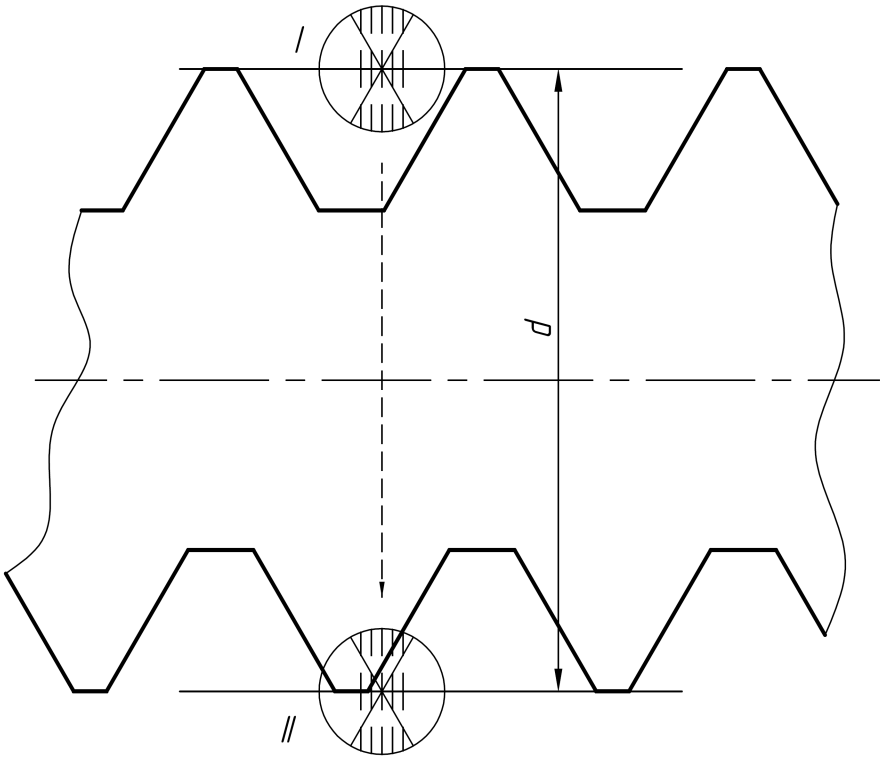


Рис. 3.18 – Схема вимірювання зовнішнього діаметра різьби

Спостерігаючи в основний окуляр 14, тим же мікрогвинтом 4 переміщують вимірювальний стіл мікроскопа так, щоб та сама лінія штрихової пластини збігалася з вершинами витків різьби з протилежної сторони (відносно осі). У цьому положенні проводять другий відлік і вносять його в протокол. Різниця відліків і буде значенням зовнішнього діаметра різьби. Щоб результати вимірювання були більш точними, їх треба виконати тричі.

Приклад. Перший відлік склав 7,920 мм, другий відлік – 23,785 мм. Тоді дійсний (виміряний) зовнішній діаметр:

$$d_{\partial} = 23{,}785 - 7{,}920 = 15{,}865 \text{ мм}$$

Таблиця 3.16

Результати вимірювання зовнішнього діаметра різьби *d*

Номер вимірювання	Перший відлік	Другий відлік	Діаметр d_{∂}, мм
1			
2			
3			

За остаточний результат вимірювання приймають середнє арифметичне з трьох значень зовнішнього діаметра різьби.

$$d = \frac{d_{\partial 1} + d_{\partial 2} + d_{\partial 3}}{3}$$

Вимірювання середнього діаметра різьби. Колонку 12 мікроскопа (рис. 3.15) нахиляють на кут підйому різьби (табл. 3.15). Спостерігаючи в основний окуляр 14, за допомогою мікрометричних гвинтів поздовжнього 3 та поперечного 4 переміщення встановлюють вимірювальний стіл так, щоб перехрестя сітки знаходилось приблизно на середині профілю різьби. Потім, обертаючи маховичок 16 повороту штрихової шкали, накладають середню вертикальну пунктирну лінію на одну із бічних сторін профілю, наприклад, спочатку ліву (рис. 3.19, поз. I). У цьому положенні проводять перший відлік за барабанчиком поперечного мікрогвинта 4. Дані вимірювання вносять у протокол (табл. 3.17).

Таблиця 3.17

Результати вимірювання середнього діаметра різьби d_2

Номер вимірювання	Ліва половина профілю			Права половина профілю		
	Перший відлік	Другий відлік	Діаметр $d_{2\,\text{лів.}}$, мм	Перший відлік	Другий відлік	Діаметр $d_{2\,\text{пр.}}$, мм
1						
2						
3						

Спостерігаючи в основний окуляр 14, мікрометричним гвинтом 4 переміщують вимірювальний стіл мікроскопа до появи діаметрально протилежної паралельної сторони профілю різьби. Нахиливши колонку на той же кут, але в протилежний бік, знову суміщають штрихову лінію сітки з профілем різьби (рис. 3.19, поз. II). У цьому положенні виконують другий відлік, а результат вносять у протокол. Різниця між першим і другим

відліками і буде значенням середнього діаметра різьби по лівій стороні профілю. Вимірювання виконують тричі.

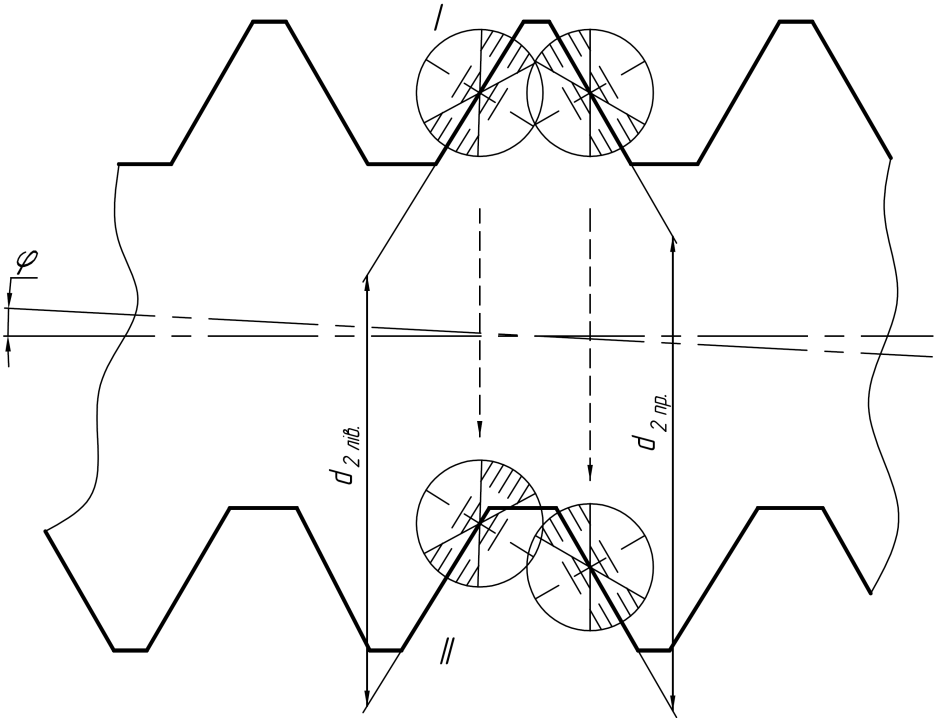


Рис. 3.19 – Схема вимірювання середнього діаметра різьби

Середній діаметр різьби по лівому боці профілю:

$$d_{2\,лів.} = \frac{d_{2\,лів.1} + d_{2\,лів.2} + d_{2\,лів.3}}{3}$$

Щоб зменшити вплив похибок вимірювання від перекосу осі центрів β, такі самі вимірювання проводять по правому боці профілю різьби, визначаючи величину $d_{2\,пр.}$ Фактичною (дійсною) величиною середнього діаметра різьби є середнє арифметичне з результатів вимірювань по лівій і правій сторонах профілю.

$$d_{2\,д} = \frac{d_{2\,лів.} + d_{2\,пр.}}{2}$$

У процесі вимірювання не можна переміщати вимірювальний стіл у поздовжньому напрямі, повертати його, а також обертати деталь у центрах.

Вимірювання кроку різьби. За допомогою маховика 18 колонку 12 нахиляють на кут підйому різьби (табл. 3.15). Спостерігаючи в основний окуляр 14 (рис. 3.15), за допомогою мікрометричних гвинтів 3 і 4 лінійних переміщень стола та маховичка 16 повороту штрихової сітки переміщують вимірювальний стіл до суміщення середньої пунктирної лінії спочатку, наприклад, з лівою стороною профілю різьби. Перехрестя пунктирної сітки має бути розміщене приблизно на середині профілю різьби (рис. 3.20, поз.I). У цьому положенні виконують відлік за барабанчиком мікрогвинта 3 поздовжнього переміщення і заносять його в протокол (табл. 3.18). Потім переміщують стіл мікроскопа на один або на кілька кроків, поки та ж сама пунктирна лінія не буде збігатися з однойменною (лівою) стороною профілю витка (рис. 3.20, поз. II), і виконують другий відлік. У таблицю вносять результат відліку та кількість кроків переміщення

різьби. Крок різьби визначають як різницю між першим і другим відліками *Рп*, поділену на кількість кроків *n*. Крок різьби у верхній частині по лівій стороні профілю визначають як середнє арифметичне окремих кроків. Аналогічно виконуються вимірювання кроку по правій частині профілю.

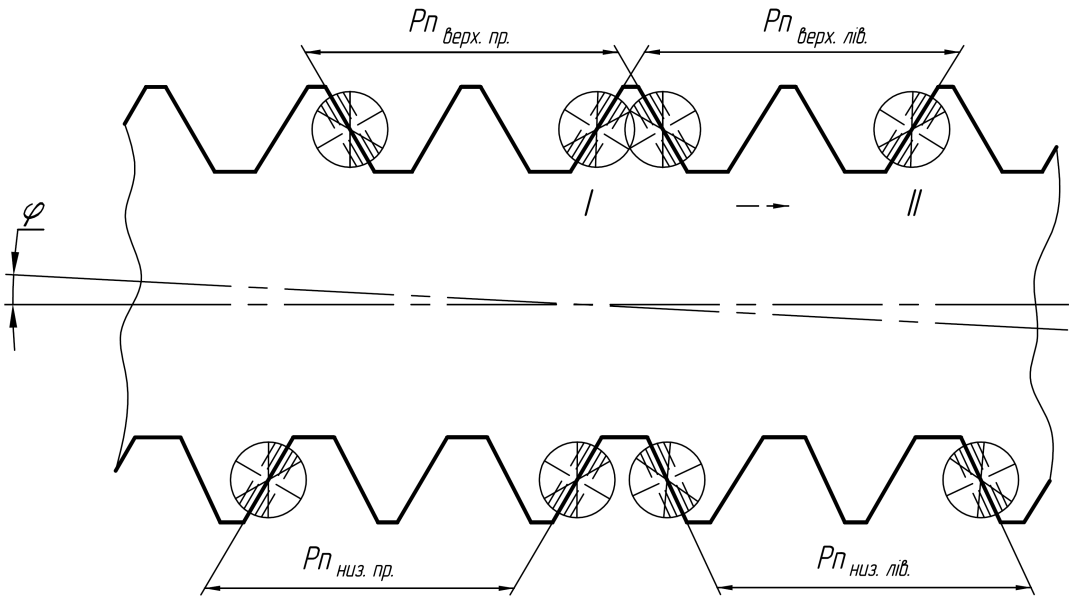


Рис. 3.20 – Схема вимірювання кроку різьби

Таблиця 3.18

Результати вимірювання кроку різьби P

Номер вимірювання	Частина профілю	Сторона профілю	Перший відлік	Другий відлік	Відстань між відліками, *Рп*	Кількість кроків, *n*	Крок *Р*, мм	Крок *Р* на ділянці
1	Верхня	Ліва						
2								
3								
4		Права						
5								
6								
7	Нижня	Ліва						
8								
9								
10		Права						
11								
12								

Під час вимірювання кроку різьби у нижній частині профілю (відносно осі деталі) колонку 12 нахиляють на той же кут підйому різьби, але в протилежний бік. Крок різьби визначають як середнє арифметичне з чотирьох значень:

$$P_д = \frac{P_{верх.лів.} + P_{верх.пр.} + P_{низ.лів.} + P_{низ.пр.}}{4}$$

Вимірювання половини кута профілю різьби. Під час вимірювання кутів необхідно розрізняти ліву половину кута профілю (рис. 3.21, кути I і IV) та праву (кути II і

III). Для вимірювання половини кута профілю використовують кутомірний окуляр 15 (рис. 3.15). Перед початком вимірювання нуль рухомої шкали має збігатися з нулем нерухомої, а точка перетину середньої вертикальної і горизонтальної пунктирних ліній – розміщуватися приблизно на середині бічної сторони профілю. За допомогою маховика 18 колонку 12 нахиляють на кут підйому різьби (табл. 3.15). Потім, спостерігаючи в основний окуляр 14, обертають мікрометричні гвинти лінійних переміщень 3 і 4 та одночасно маховичок 16 повороту штрихової шкали, поки середня вертикальна пунктирна лінія суміститься з бічною стороною профілю (рис. 3.21, поз.I). Відлік виконують за допомогою кутомірної шкали через окуляр 15 та заносять у табл. 3.19. Показники кутомірної шкали дають або безпосереднє значення половини кута профілю $\alpha/2$, або кут, який доповнює половину кута профілю до 360°, тобто: $360^\circ - \alpha/2$.

Під час вимірювання половини кута профілю у нижній частині різьбової деталі треба нахилити колонку мікроскопа у протилежний бік на кут, що дорівнює куту підйому різьби. Для підвищення точності результату вимірювання кожного параметра виконують тричі.

Приклад. Відлік половини кута профілю різьби за кутомірною шкалою склав $329^\circ 37'$. Тоді дійсне (виміряне) значення половини кута профілю:

$$\frac{\alpha}{2} = 360^\circ - 329^\circ 37' = 30^\circ 23'$$

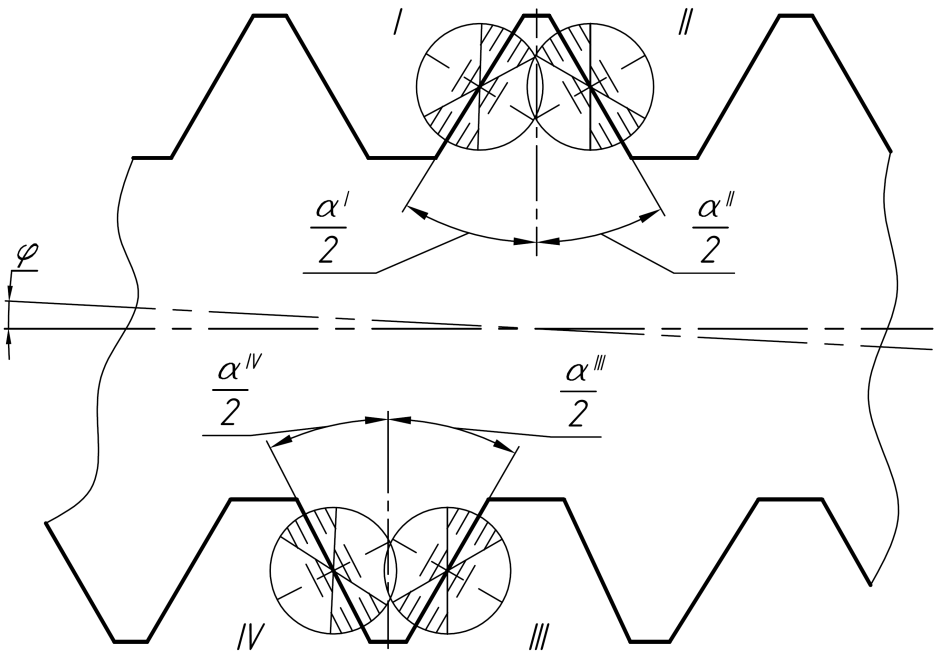


Рис. 3.21 – Схема вимірювання половини кута профілю різьби

Таблиця 3.19

Результати вимірювання половини кута профілю різьби

Номер вимірювання	Ліва половина профілю		Права половина профілю	
	$\frac{\alpha^{I}}{2}$	$\frac{\alpha^{IV}}{2}$	$\frac{\alpha^{II}}{2}$	$\frac{\alpha^{III}}{2}$
1				
2				
3				
Середнє значення				

Половина кута профілю по лівій стороні витка

$$\frac{\alpha}{2}лів. = (\frac{\alpha^{I}}{2} + \frac{\alpha^{IV}}{2})/2$$

Половина кута профілю по правій стороні витка

$$\frac{\alpha}{2}пр. = (\frac{\alpha^{II}}{2} + \frac{\alpha^{III}}{2})/2$$

Половина кута профілю

$$\frac{\alpha}{2} = (\frac{\alpha}{2}лів. + \frac{\alpha}{2}пр.)/2$$

Примітка. Виміряні значення половин кутів профілю $\alpha^{I}/2$, $\alpha^{II}/2$, $\alpha^{III}/2$, $\alpha^{IV}/2$ насправді є меншими від їх дійсних значень внаслідок нахилу колонки мікроскопа, особливо коли вимірювана різьба має кут підйому різьби φ понад 4°. Дійсні значення половини кута профілю можна розрахувати за формулою:

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{tg\frac{\alpha^{I}}{2}}{\cos\varphi},$$

де $\alpha/2$ - шукане значення половини кута профілю різьби в осьовому перерізі;

$\alpha^{I}/2$ - виміряна половина кута профілю, тобто половина кута профілю у перерізах, розташованих під кутом φ до осьового перерізу (для кутів I, II, III, IV);

φ - кут підйому різьби.

Контроль різьб. Похибки середнього діаметра, кроку і половини кута профілю різьбових деталей обмежують допуском на середній діаметр. Це дозволяє контролювати різьбові деталі комплексним методом за допомогою різьбових калібрів.

У зв'язку з тим, що вимоги до точності різьбових з'єднань підвищуються, іноді, наприклад, у разі дослідження причин браку, застосовують диференційний метод. У цьому разі вимірюють зовнішній діаметр *d*, середній діаметр d_2, крок *P*, половину кута профілю α/2. Потім за даними вимірювання визначають придатність різьби.

Приклад. Зробити висновок про придатність зовнішньої різьби $M24-7g6g$, якщо одержані такі дані вимірювання:

- виміряний зовнішній діаметр – $d_{д} = 23{,}83$ мм;
- виміряний середній діаметр – $d_{2д} = 21{,}811$ мм;
- виміряний крок різьби – $P_{д} = 2{,}97$ мм;
- виміряний кут правої половини профілю – $\alpha/2_{пр.д} = 29°10'$
- виміряний кут лівої половини профілю – $\alpha/2_{лів.д} = 29°22'$

1) За табл. 3.2 знаходимо, що для заданої різьби номінальний крок *P* = 3 мм.

2) Визначаємо граничні розміри зовнішнього діаметра різьби. За табл. 3.6 знаходимо основне відхилення *g* для різьби з кроком *P* = 3 мм:

$$es_d = -48 \text{ мкм} = -0{,}048 \text{ мм}$$

За табл. 3.4 знаходимо допуск зовнішнього діаметра *d* для 6-го ступеню точності:

$$T_d = 375 \text{ мкм} = 0{,}375 \text{ мм}$$

Нижнє відхилення розміру *d*

$$ei_d = es_d - T_d = -48 - 375 = -423 \text{ мкм} = -0{,}423 \text{ мм}$$

Найбільший граничний розмір

$$d_{\max} = d + es = 24 + (-0{,}048) = 23{,}952 \text{ мм}$$

Найменший граничний розмір

$$d_{\min} = d + ei = 24 + (-0{,}423) = 23{,}577 \text{ мм}$$

3) Зіставляємо граничні розміри зовнішнього діаметра різьби з дійсним:

$$d_{\min} \le d_{д} \le d_{\max}$$

$$23{,}577 \le 23{,}830 \le 23{,}952$$

Нерівності дійсні, тому робимо висновок, що за зовнішнім діаметром різьба придатна.

4) Визначаємо граничні розміри середнього діаметра різьби. За табл. 3.1 знаходимо номінальний розмір середнього діаметра:

$$d_2 = d - 0{,}6495P = 24 - 0{,}6495 \cdot 3 = 22{,}051 \text{ мм}$$

За табл. 3.6 знаходимо основне відхилення *g* для різьби з кроком 3 мм:

$$es_{d_2} = -48 \text{мкм} = -0{,}048 \text{ мм}$$

За табл. 3.5 знаходимо допуск діаметра d_2 для 7-го ступеню точності:

$$T_{d_2} = 250 \text{ мкм} = 0{,}250 \text{ мм}$$

Розраховуємо нижнє відхилення середнього діаметра d_2

$$ei_{d_2} = es_{d_2} - T_{d_2} = -0{,}048 - 0{,}250 = -0{,}298 \text{ мм}$$

Найбільший граничний діаметр

$$d_{2\max} = d_2 + es_{d_2} = 22{,}051 + (-0{,}048) = 22{,}003 \text{ мм}$$

Найменший граничний діаметр

$$d_{2\min} = d_2 + ei_{d_2} = 22{,}051 + (-0{,}298) = 21{,}753 \text{ мм}$$

5) Визначаємо приведений середній діаметр різьби.

Відхилення правої половини кута профілю

$$\Delta\frac{\alpha}{2}пр. = \frac{\alpha}{2}пр.д - \frac{\alpha}{2} = 29°10' - 30° = -50'$$

Відхилення лівої половини кута профілю

$$\Delta\frac{\alpha}{2}лів = \frac{\alpha}{2}лів.д - \frac{\alpha}{2} = 29°22' - 30° = -38'$$

Відхилення половини кута профілю

$$\Delta\frac{\alpha}{2} = \frac{\left|\Delta\frac{\alpha}{2}пр.\right| + \left|\Delta\frac{\alpha}{2}лів.\right|}{2} = \frac{50' + 38'}{2} = 44'$$

Відхилення кроку різьби

$$\Delta P_n = \left|\Delta P_{nд} - P\right| = \left|2{,}97 - 3\right| = 0{,}03 \text{ мм} = 30 \text{ мкм}$$

Приведений середній діаметр різьби

$$d_{2прив.} = d_{2д} + f_p + f_\alpha = d_{2д} + 1{,}732\Delta P + 0{,}36P\Delta\frac{\alpha}{2} =$$

$$= 21{,}811 + \frac{1{,}732 \cdot 30}{1000} + \frac{0{,}36 \cdot 3 \cdot 44}{1000} = 21{,}91 \text{мм}$$

6) Зіставляємо граничні розміри середнього діаметра із приведеним середнім діаметром різьби:

$$d_{2\min} \le d_{2прив.} \le d_{2\max}$$

$$21{,}753 \le 21{,}910 \le 22{,}003.$$

7) Висновок. Оскільки нерівність вірна, то за середнім діаметром різьба придатна. Складаємо схему полів допусків різьби *M24–7g6g* (рис. 3.22).

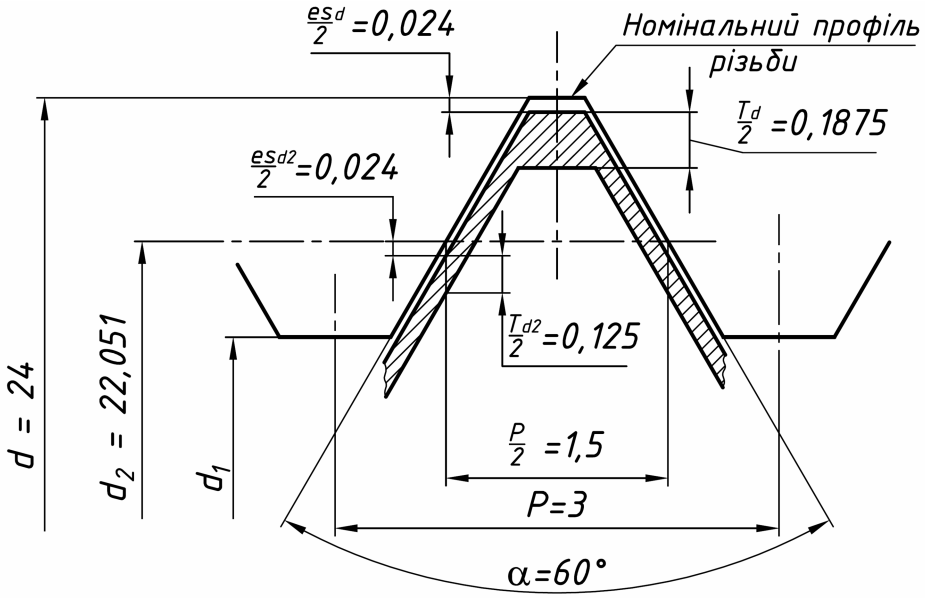


Рис. 3.22 – Схема полів допусків різьби M24–7g6g

3.6.3 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо параметрів та взаємозамінності метричних різьб (п. 3.1 ... 3.3).
2. Вивчити будову та принцип дії мікроскопа.
3. Виміряти зовнішній і середній діаметри різьби, крок та половину кута профілю.
4. За даними маркування деталі визначити номінальний діаметр, крок і поле допуску різьби. Обчислити граничні величини елементів різьби.
5. За даними вимірювання обчислити приведений середній діаметр різьби.
6. Зіставляючи виміряні зовнішній і середній діаметри різьби з відповідними граничними розмірами, зробити висновок щодо придатності різьби.
7. Побудувати схему поля допуску різьби болта.

3.7 Контрольні запитання

- ***до теоретичної, частини***

1. Які параметри визначають профіль метричної різьби, як їх позначають?
2. Що таке середній діаметр різьби?
3. Що таке діаметральна компенсація похибки кроку?
4. Що таке діаметральна компенсація похибки кута профілю?
5. Що таке приведений середній діаметр різьби, як його визначають?
6. Що таке допуск діаметра різьби? Як допуск залежить від ступеня точності (класу допуску) різьби?
7. Що таке основне відхилення. Які основні відхилення передбачені для зовнішніх і внутрішніх різьб та як вони розташовані відносно нульової лінії?
8. Що таке різьбова посадка з зазором?
9. Що таке поле допуску різьби та як розташовані поля допусків різьбових з’єднань з зазором?

10. Що таке довжина згвинчування та як вона визначається?
11. Що таке клас точності різьби. Які класи точності встановлено стандартом?
12. Як вказують на кресленниках параметри точності метричних різьб?
13. Які елементи різьби найбільше впливають на згвинчування деталей?

- ***до лабораторної роботи №7***

14. До якого класу приладів відноситься гладкий мікрометр? У чому полягає його принцип дії?
15. З яких основних частин складається гладкий мікрометр?
16. Які основні метрологічні характеристики мікрометра?
17. Які конструкції дротиків передбачено стандартом для вимірювання середнього діаметра різьби?
18. Який діаметр дротиків беруть за номінальний?
19. Яким чином встановлюють придатність метричної різьби за середнім діаметром?

- ***до лабораторної роботи №8***

20. До якого класу приладів відноситься різьбовий мікрометр? У чому полягає його принцип дії?
21. З яких основних частин складається різьбовий мікрометр?
22. Які основні метрологічні характеристика різьбового мікрометра?
23. Як виконують встановлення на нуль мікрометра?
24. Яким чином встановлюють придатність метричної різьби за середнім діаметром?

- ***до лабораторної роботи №9***

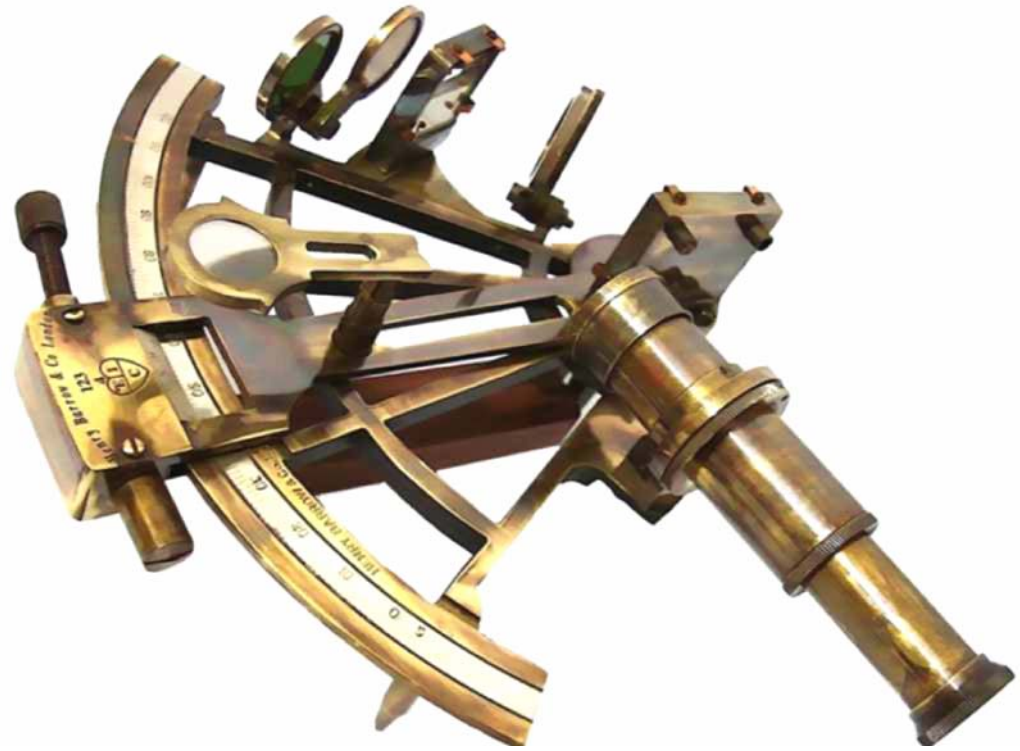
25. До якого класу приладів відноситься малий інструментальний мікроскоп? У чому полягає його принцип дії?
26. З яких основних частин складається інструментальний мікроскоп?
27. Які метрологічні характеристики малого інструментального мікроскопа?
28. Як здійснюють відлік за шкалами лінійних переміщень мікроскопа?
29. Як здійснюють відлік за кутовими шкалами мікроскопа?
30. Яким чином встановлюють придатність метричної різьби?

3.8 Рекомендована література до розділу 3

1. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 2 [Текст]: навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – С. 44-58.
2. ДСТУ ISO 261 Нарізі метричні ISO загальної призначеності. Загальні положення.
3. ДСТУ ISO 68-1 Нарізі ISO загального призначення. Основний профіль. Частина 1. Нарізі метричні.
4. ДСТУ ISO 965-1 Нарізі метричні ISO загального призначення. Допуски. Частина 1. Основні характеристики.
5. ДСТУ ISO 965-3 Нарізі метричні ISO загальної призначеності. Допуски. Частина 3. Відхили.
6. ДСТУ ISO 724 Нарізі метричні ISO загального призначення. Основні розміри
7. ГОСТ 24834 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Переходные посадки.
8. ГОСТ 4608 Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Посадки с натягом.

9. ГОСТ 2475 Проволочки и ролики. Технические условия.
10. ГОСТ 4380 Микрометры со вставками. Технические условия.
11. Микроскоп малый инструментальный ММИ-2. Описание и руководство к пользованию. Новосибирск. − 1970, 49 с.

РОЗДІЛ 4
ВИМІРЮВАННЯ КУТІВ ТА КОНУСІВ



4.1 Параметри точності кутів та конусів

За одиницю вимірювання площинного кута в Міжнародній системі одиниць *SI* прийнятий радіан. Радіанами зручно користуватися в розрахунках, проте у машинобудуванні при виготовленні та контролі виробів використовують градуси, мінути та секунди, які допускаються в Міжнародній системі одиниць *SI*. Між одиницями вимірювання кутів співвідношення наступні:

$$1^\circ = 60' \qquad 1' = 60'' \qquad 1^\circ = 3600''$$

$$1\text{рад} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57^\circ 17' 44{,}8'' = 3437{,}45' = 206264{,}8''$$

4.1.1 Кутові розміри

У конструкціях машин часто використовуються деталі, що мають поверхні, розташовані одна до одної під кутом, що відрізняється від прямого. Різні кути з метою обмеження їх різноманітності розділені на три групи:

- **1-а група** - нормальні кути загального призначення;
- **2-а група** - нормальні кути спеціального призначення (у стандартизованих спеціальних деталях);
- **3-я група** - спеціальні кути.

1-а група – кути, призначені для широкого застосування в машинобудуванні. Стандартом ГОСТ 8908 регламентується три ряди нормальних кутів (табл. 4.1). Під час вибору номінальних розмірів кутів перевагу слід віддавати ряду 1 порівняно з рядом 2, і ряду 2 порівняно з рядом 3.

Таблиця 4.1

Нормальні кути (ГОСТ 8908)

Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3
0°				6°		30°					85°
		15’		7°				35°	90°		
	30’			8°			40°				100°
		45’			9°	45°					110°
	1°			10°				50°	120°		
		1°30’			12°			55°			135°
	2°		15°			60°					150°
		2°30’			18°			65°			160°
	3°		20°					70°			180°
	4°				22°		75°				270°
5°					25°			80°			360°

Для призматичних деталей (рис. 4.1), крім кутів, наведених у табл. 4.1, допускається застосовувати значення ухилів *S* та відповідних їм кутів, зазначених у табл. 4.2.

Ухил *S* визначається, як

$$S = \frac{H-h}{L} = tg\beta \qquad (4.1)$$

Нормальні кути застосовуються для незалежних кутових розмірів, які не зв'язані конструктивно з лінійними або іншими кутовими розмірами виробу або є вихідними для розрахунків.

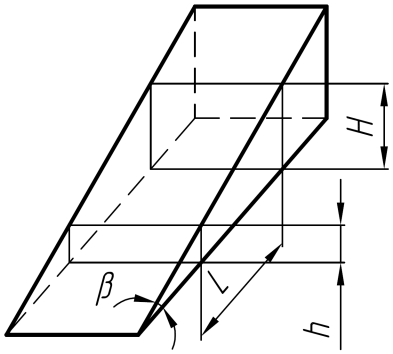


Рис. 4.1 - Схема для визначення ухилу S призматичних деталей:

β - кут ухилу, *S* – ухил

Таблиця 4.2

Ухили та кути ухилу (ГОСТ 8908)

Ухил	Кут ухилу	Ухил	Кут ухилу	Ухил	Кут ухилу
1 : 500	6' 52,5"	1 : 100	34' 22,6"	1 : 20	2° 51' 44,7"
1 : 200	17' 11,3"	1 : 50	1° 08' 44,7"	1 : 10	5° 42' 38,1"

2-а група – кути стандартизованих деталей спеціального призначення: конуси шпинделів та оправки фрезерних верстатів, конуси Морзе, тощо.

3-я група – кути, розміри яких пов'язані розрахунковими залежностями з вже встановленими кутами і лінійними розмірами. Вони, як правило, не збігаються з нормальними кутами та визначаються технологічними або експлуатаційними вимогами.

4.1.2 Допуски кутів

Допуски і граничні відхилення діаметрів і кутів конусів, а також допуски форми конусів регламентується ГОСТ 8908.

Допуск кута АТ

‖ різниця між найбільшим α_{max} та найменшим α_{min} граничними кутами.

Допуск кута може бути виражено:

- в кутових одиницях - AT_α (точне значення в градусному або радіанному вимірах) та AT'_α (округлене значення в градусному вимірі) (рис. 4.2);
- відрізком перпендикуляру до сторони кута, яка протилежна куту α на відстані L_1 від вершини цього кута - AT_h (рис. 4.2,*б* та рис. 4.2,*в*);
- допуском кута конуса AT_D - допуском на різницю діаметрів у двох поперечних перерізах конуса на заданій відстані між ними і визначеного перпендикулярно до осі конуса (рис. 4.2,*а*).

Значення AT'_α (отримані округленням точних значень AT_α) рекомендовано для позначення допусків кутів на кресленнях.

Допуски кутів конусів з конусністю не більше 1 : 3 призначаються залежно від номінальної довжини конуса *L* (рис. 4.2,*а*), а допуски кутів конусів з конусністю більше 1 : 3 призначаються залежно від довжини твірної конуса L_1 (рис. 4.2,*б*). За конусності не більше 1:3 довжина конуса *L* приблизно приймається рівною довжині твірної L_1 (різниця значень не більше 2%).

Допуски кутів призматичних елементів деталей потрібно призначати залежно від номінальної довжини L_1 меншої сторони кута (рис. 4.2,*в*).

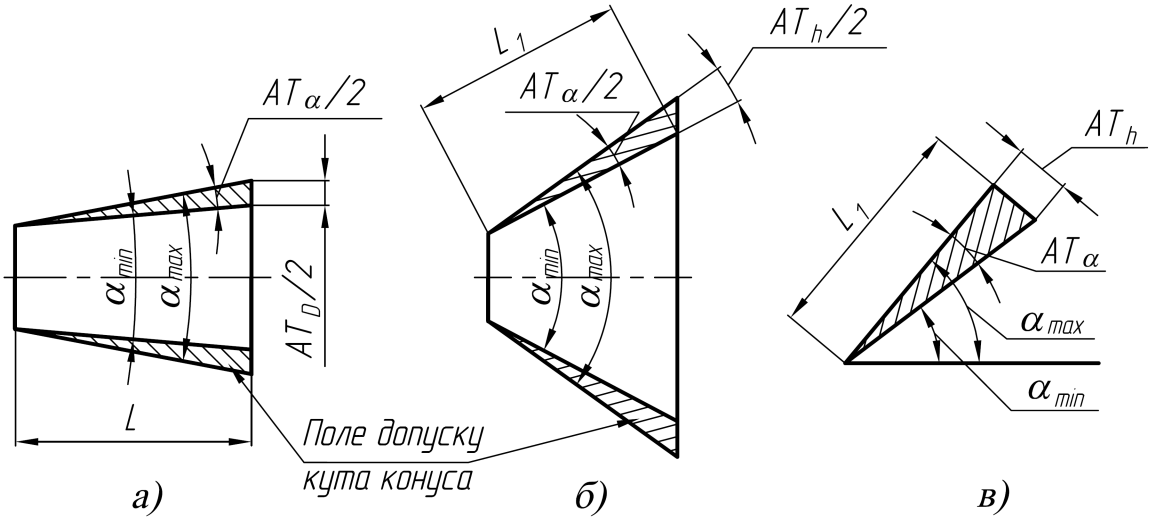


Рис. 4.2 – Допуски кутів конусів (а, б) та призматичних елементів (в)

Встановлено 17 ступенів точності допусків кутів: *1, 2 … 17*. За необхідності, допуски точніше 1-го ступеню точності (ступені точності *0, 01*) можуть бути отримані послідовним діленням допусків 1-го ступеня точності на коефіцієнт 1,6. На кресленнях допуски кутів позначають сполученням умовного позначення *АТ* і номера відповідного ступеня точності *1, 2 ... 17*, наприклад, *АТ1*, *АТ2* ... *АТ17*.

Ступені точності 1 … 3 застосовують для кутових мір; 4 … 6 – для кутових розмірів калібрів, виробів особливо високої точності і герметичних вузлів; 7 – для деталей високої точності, з підвищеними вимогами до центрування (інструментальні конуси, конічні з'єднання валів із зубчастими колесами); 8 … 9 – для деталей підвищеної точності, які передають великі крутні моменти (конічні фрикційні муфти); 10 … 12 – для деталей нормальної точності (центри, центрові отвори); 16 … 17 – для обмеження кутів неспряжених кутових розмірів і поверхонь.

На відміну від гладких з'єднань, коли зі збільшенням розмірів деталей значення допусків у певному квалітеті збільшуються, для кутових допусків зі збільшенням номінальних значень довжини *L* або L_1 допуски зменшуються, оскільки зі збільшенням довжини точність базування деталей на верстаті поліпшується і похибки виготовлення зменшуються.

Допуски кутів можуть бути односторонніми (+ *АТ*; – *АТ*) або симетрични-

ми $\left(\pm\frac{AT}{2}\right)$ відносно номінального кута (рис. 4.3). В обґрунтованих випадках допускається застосовувати інше розташування допуску кута.

Числові значення допусків кутів наведено в табл. 4.3. Допуски в кутових та лінійних одиницях пов'язані між собою за формулою:

$$AT_h = AT_\alpha \cdot L_1 \cdot 10^{-3}, \tag{4.2}$$

де AT_h - в мікрометрах;

AT_α - в мікрорадіанах;

L_1 - в міліметрах.

Значення AT_D, наведені в табл. 4.3, відносяться лише до конусів з конусністю не більше 1 : 3, для яких $AT_D \approx AT_h$ (різниця не перевищує 2%).

Для конусів з конусністю більше 1 : 3 значення AT_D визначається, як

$$AT_D = \frac{AT_h}{\cos\frac{\alpha}{2}}, \tag{4.3}$$

де α - номінальний кут конуса.

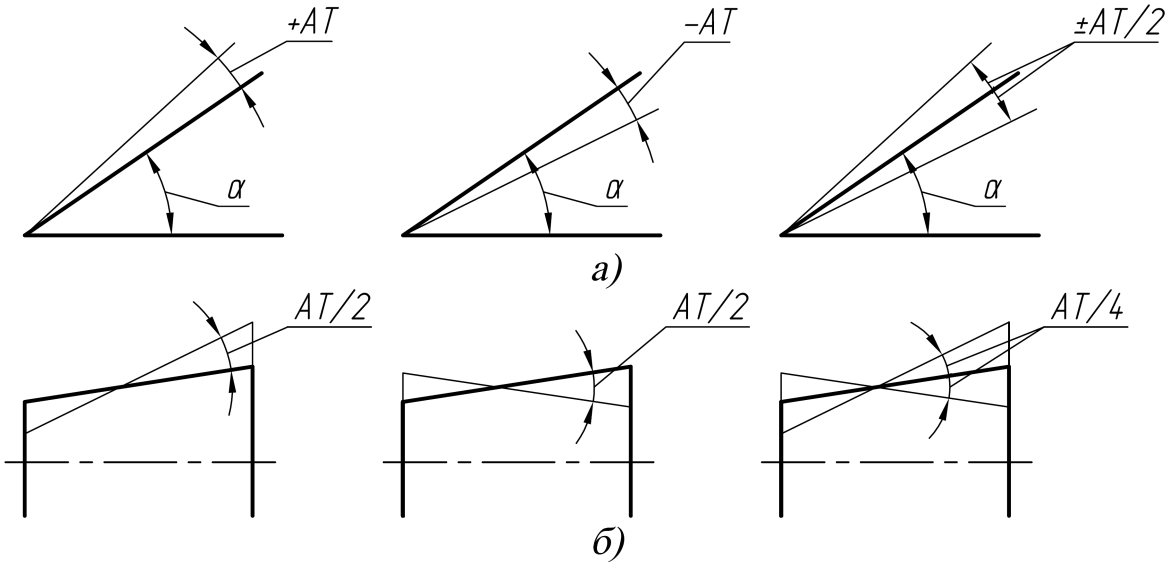


Рис. 4.3 – Розташування поля допуску кута:
а) призматичних елементів, *б)* конуса

Таблиця 4.3

Допуски кутів (ГОСТ 8908)

Інтервал довжин L , L_1 , мм	Ступінь точності							
	10				***11***			
	AT_α		AT'_α	AT_h, AT_D	AT_α		AT'_α	AT_h, AT_D
	мкрад	кут. од.			мкрад	кут. од.		
До 10	3150	10’49"	10’	До 32	5000	17’10"	16’	До 50
Понад 10 до 16	2500	8’35"	8’	25-40	4000	13’44"	12’	40-63
‹‹ 16 ‹‹ 25 ‹‹	2000	6’52"	6’	32-50	3150	10’49"	10’	50-80
‹‹ 25 ‹‹ 40 ‹‹	1600	5’30"	5’	40-63	2500	8’35"	8’	63-100
‹‹ 40 ‹‹ 63 ‹‹	1250	4’18"	4’	50-80	2000	6’52"	6’	80-125
‹‹ 63 ‹‹ 100 ‹‹	1000	3’26"	3’	63-100	1600	5’30"	5’	100-160
‹‹ 100 ‹‹ 160 ‹‹	800	2’45"	2’30"	80-125	1250	4’18"	4’	125-200
‹‹ 160 ‹‹ 250 ‹‹	630	2’10"	2’	100-160	1000	3’26"	3’	160-250

Продовження таблиці 4.3

Інтервал довжин L, L_1, мм	Ступінь точності							
	12				**13**			
	AT_α		AT'_α	AT_h, AT_D	AT_α		AT'_α	AT_h, AT_D
	мкрад	кут. од.			мкрад	кут. од.		
До 10	8000	27’28"	26’	До 80	12500	42’58"	40’	До 125
Понад 10 до 16	6300	21’38"	20’	63-100	10000	34’23"	32’	100-160
‹‹ 16 ‹‹ 25 ‹‹	5000	17’10"	16’	80-125	8000	27’28"	26’	125-200
‹‹ 25 ‹‹ 40 ‹‹	4000	13’44"	12’	100-160	6300	21’38"	20’	160-250
‹‹ 40 ‹‹ 63 ‹‹	3150	10’49"	10’	125-200	5000	17’10"	16’	200-320
‹‹ 63 ‹‹ 100 ‹‹	2500	8’35"	8’	160-250	4000	13’44"	12’	250-400
‹‹ 100 ‹‹ 160 ‹‹	2000	6’52"	6’	200-320	3150	10’49"	10’	320-500
‹‹ 160 ‹‹ 250 ‹‹	1600	5’30"	5’	250-400	2500	8’35"	8’	400-630

Продовження таблиці 4.3

Інтервал довжин L, L_1, мм	Ступінь точності							
	14				**15**			
	AT_α		AT'_α	AT_h, AT_D	AT_α		AT'_α	AT_h, AT_D
	мкрад	кут. од.			мкрад	кут. од.		
До 10	20000	1°08’45"	1°	До 200	31500	1°48’17"	1°40’	До 320
Понад 10 до 16	16000	55’	50’	160-250	25000	1°25’57"	1°20’	250-400
‹‹ 16 ‹‹ 25 ‹‹	12500	42’58"	40’	200-320	20000	1°08’45"	1°	320-500
‹‹ 25 ‹‹ 40 ‹‹	10000	34’23"	32’	250-400	16000	55’	50’	400-630
‹‹ 40 ‹‹ 63 ‹‹	8000	27’28"	26’	320-500	12500	42’58"	40’	500-800
‹‹ 63 ‹‹ 100 ‹‹	6300	21’38"	20’	400-630	10000	34’23"	32’	630-1000
‹‹ 100 ‹‹ 160 ‹‹	5000	17’10"	16’	500-800	8000	27’28"	26’	800-1250
‹‹ 160 ‹‹ 250 ‹‹	4000	13’44"	12’	630-1000	6300	21’38"	20’	1000-1600

Продовження таблиці 4.3

Інтервал довжин L, L_1, мм	Ступінь точності							
	16				**17**			
	AT_α		AT'_α	AT_h, AT_D	AT_α		AT'_α	AT_h, AT_D
	мкрад	кут. од.			мкрад	кут. од.		
До 10	50000	2°51’53"	2°	До 0,5	80000	4°35’01"	4°	До 0,8
Понад 10 до 16	40000	2°17’30"	2°	0,4-0,63	63000	3°36’34"	4°	0,63-1
‹‹ 16 ‹‹ 25 ‹‹	31500	1°48’17"	1°	0,5-0,8	50000	2°51’53"	2°	0,8-1,25
‹‹ 25 ‹‹ 40 ‹‹	25000	1°25’57"	1°	0,63-1	40000	2°17’30"	2°	1-1,6
‹‹ 40 ‹‹ 63 ‹‹	20000	1°08’45"	1°	0,8-1,25	31500	1°48’17"	2°	1,25-2
‹‹ 63 ‹‹ 100 ‹‹	16000	55’	40’	1-1,6	25000	1°25’57"	1°20’	1,6-2,5
‹‹ 100 ‹‹ 160 ‹‹	12500	42’58"	40’	1,25-2	20000	1°08’45"	1°20’	2-3,2
‹‹ 160 ‹‹ 250 ‹‹	10000	34’23"	40’	1,6-2,5	16000	55’	40’	2,5-4

Позначення кутів на кресленнях. Кутові розміри та граничні відхилення кутових розмірів вказують у градусах, мінутах та секундах з позначенням одиниці вимірювання, наприклад: 5°; 6°30'; 15°45'30"; 0°30'40"; 0°24'; 0°5'45"; 0°0'30"; 30±1°; 60±10'.

4.1.3 Конус та його елементи

Терміни і визначення для конусів та конічних поверхонь встановлено у ДСТУ 2499.

Конус

> узагальнений термін, під яким залежно від конкретних умов розуміють конічну поверхню, конічну деталь чи конічний елемент.

Зовнішній конус

конічна деталь чи конічний елемент, що мають конічну зовнішню поверхню. Для визначення параметрів зовнішнього конуса застосовується індекс "*e*".

Внутрішній конус

конічна деталь чи конічний елемент, що мають конічну внутрішню поверхню. Для визначення параметрів внутрішнього конуса застосовується індекс "***i***".

Основа конуса

коло, утворене перерізом конуса із площиною, яка перпендикулярна до осі конуса і обмежує його в осьовому напрямку. Та з двох основ конуса, що має більший діаметр кола називається **великою основою конуса**, а та, що має менший діаметр кола – **малою основою конуса** (рис. 4.4).

Діаметр конуса *D, d, Ds, dx*

відстань між двома паралельними прямими, дотичними до лінії перерізу конічної поверхні з площиною, перпендикулярною до осі конуса (рис. 4.4).

В залежності від осьового положення січної площини розрізняють:

- діаметр *D* великої основи конуса;
- діаметр *d* малої основи конуса;
- діаметр *Ds* у заданому поперечному перерізі – перерізі, що має задане осьове положення *Ls*;
- діаметр *dx* у поперечному перерізі з довільним осьовим положенням *Lx*.

Довжина конуса *L*

відстань між вершиною і основою конуса чи між основами конуса (рис. 4.4).

Кут конуса α

кут між твірними у поздовжньому перерізі конуса (рис. 4.4).

Кут ухилу конуса $\alpha/2$

кут між твірною та віссю конуса (рис. 4.4).

Конусність *C*

відношення різниці діаметрів двох поперечних перерізів конуса до відстані між ними (рис. 4.4).

Конусність може бути визначена як відношення різниці діаметрів великої та малої основ конуса до довжини конуса:

$$C = \frac{D-d}{L} = 2 \cdot tg\frac{\alpha}{2}, \qquad (4.4)$$

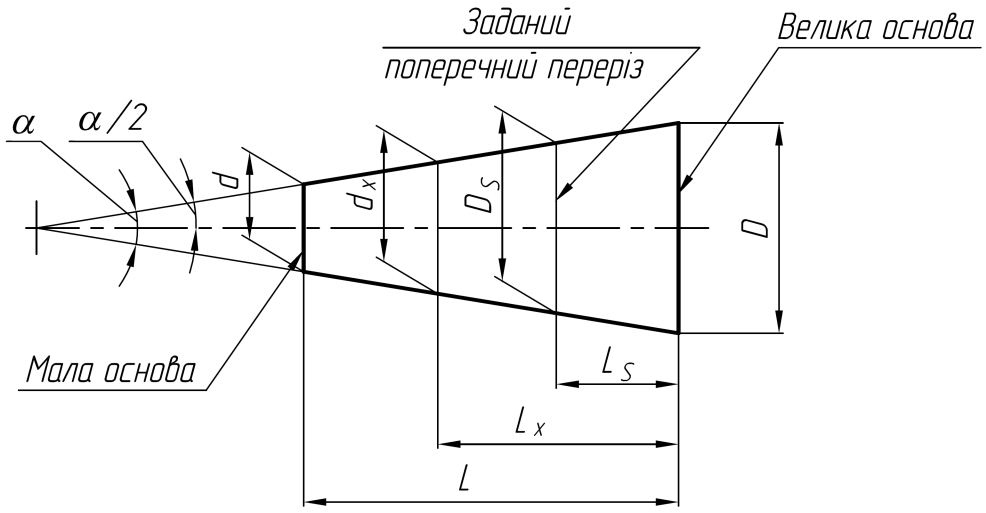


Рис. 4.4 - Основні геометричні параметри конуса

Конусність часто визначають як відношення ***1:x***, де ***x*** – відстань між поперечними перерізами конуса, у яких різниця діаметрів дорівнює 1 мм. Наприклад: ***C=1 : 20***.

Конусності та кути конусів повинні відповідати наведеним в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Конусності та кути конусів (ГОСТ 8593)

Позначення конуса		Конусність C		Кут конуса α		Кут ухилу конуса α/2	
ряд 1	ряд 2			кут. од.	рад.	кут. од.	рад.
1 : 500		1 : 500	0,002 000 0	6’52,5"	0,002 000 0	3’26,25"	0,001 000 0
1 : 200		1 : 200	0,005 000 0	17’11,3"	0,005 000 0	8’35,65"	0,002 500 0
1 : 100		1 : 100	0,010 000 0	34’22,6"	0,010 000 0	17’11,3"	0,005 000 0
1 : 50		1 : 50	0,020 000 0	1°8’45,2"	0,019 999 6	34’22,6"	0,009 999 8
	1 : 30	1 : 30	0,033 333 3	1°54’34,9"	0,033 330 4	57’17,45"	0,016 685 2
1 : 20		1 : 20	0,050 000 0	2°51’51,1"	0,049 989 6	1°25’55,55"	0,024 994 8
	1 : 15	1 : 15	0,066 666 7	3°49’5,9"	0,066 642 0	1°54’32,95"	0,033 321 0
	1 : 12	1 : 12	0,083 333 3	4°46’18,8"	0,083 285 2	2°23’9,4"	0,041 642 6
1 : 10		1 : 10	0,100 000 0	5°4’29,3"	0,099 916 8	2°51’44,65"	0,049 958 4
	1 : 8	1 : 8	0,125 000 0	7°9’9,6"	0,124 837 6	3°34’34,8"	0,062 418 8
	1 : 7	1 : 7	0,142 857 1	8°10’16,4"	0,142 614 8	4°5’8,2"	0,071 307 4
	1 : 6	1 : 6	0,166 666 7	9°31’38,5"	0,166 282 4	4°45’49,1"	0,083 141 2
1 : 5		1 : 5	0,200 000 0	11°25’16,3"	0,199 337 4	5°42’38,15"	0,099 668 7
	1 : 4	1 : 4	0,250 000 0	14°15’0,1"	0,248 710 0	7°7’30,05"	0,124 355 0
1 : 3		1 : 3	0,333 333 3	18°55’28,7"	0,330 297 2	9°27’44,35"	0,165 148 6
30°		1 : 1,866 025	0,535 898 5	30°	0,523 598 8	15°	0,261 799 4
45°		1 : 1,207 107	0,828 426 9	45°	0,785 398 2	22°30’	0,392 699 1
60°		1 : 0,866 025	1,154 701 0	60°	1,047 197 6	30°	0,523 598 8
	75°	1 : 0,651 613	1,534 653 2	75°	1,308 997 0	37°30’	0,654 498 5
90°		1 : 0,500 000	2,000 000 0	90°	1,570 796 4	45°	0,785 398 2
120°		1 : 0,288 675	3,464 103 2	120°	2,094 395 2	60°	1,047 197 6

Примітки: Значення конусності або кута конуса, вказані в графі „Позначення конуса”, прийняті за вихідні при розрахунках інших значень, наведених у таблиці.

Номінальний конус

конус, що визначається номінальною поверхнею та номінальними розмірами конуса.

Номінальні розміри конуса - це:

- номінальний діаметр конуса – номінальний діаметр *D* великої основи чи номінальний діаметр *d* малої основи, чи номінальний діаметр *Ds*, у заданому поперечному перерізі;
- номінальна довжина конуса *L*;
- номінальний кут конуса α чи номінальна конусність *C*.

Основна площина конуса

площина поперечного перерізу конуса, у якому задається номінальний діаметр конуса (рис. 4.5).

Базова площина конуса

площина, що перпендикулярна до осі конуса і служить для визначення осьового положення цього конуса відносно спряженого з ним конуса (рис. 4.5).

Базова і основна площини конуса можуть збігатися.

Базова відстань конуса *Ze, Zi*

відстань між основною і базовою площинами конуса (рис. 4.5).

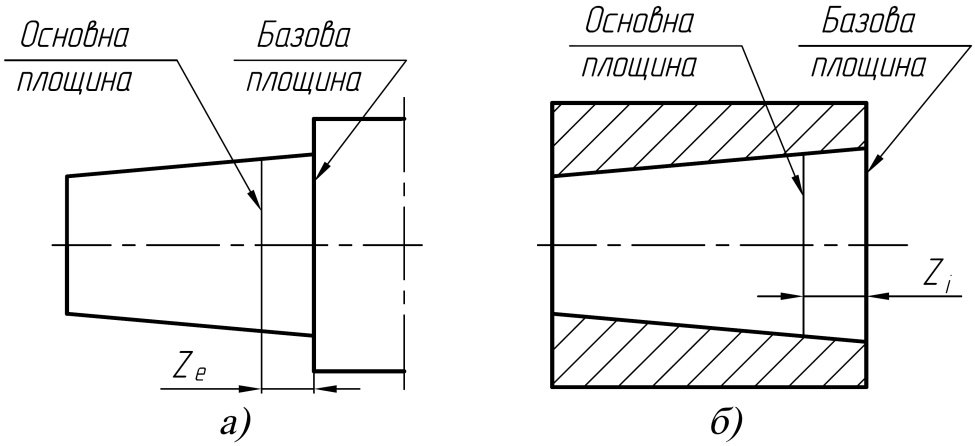


Рис. 4.5 – Базова відстань зовнішнього (а) і внутрішнього (б) конусів

4.1.4 Допуски конусів

Для конусів встановлено наступні види допусків:

- допуск діаметра конуса T_D, T_{DS} ;
- допуск кута конуса *AT*;
- допуски форми конуса: допуск круглості T_{FR} та прямолінійності твірної T_{FL}.

Допуск діаметра конуса в будь-якому перерізі T_D

різниця граничних діаметрів конуса в одному й тому ж поперечному

перерізі, яка є постійною для будь-якого поперечного перерізу в межах довжини конуса (рис. 4.6).

Цей допуск обмежує не тільки відхилення діаметру, але й відхилення кута і форми конуса.

Якщо задається допуск діаметра конуса в будь-якому перерізі T_D, то поле допуску обмежується двома граничними конусами.

Граничні конуси

дві співвісні конічні поверхні номінальної форми і з номінальним кутом конуса, між якими повинна розміщатися реальна поверхня конуса (рис. 4.6).

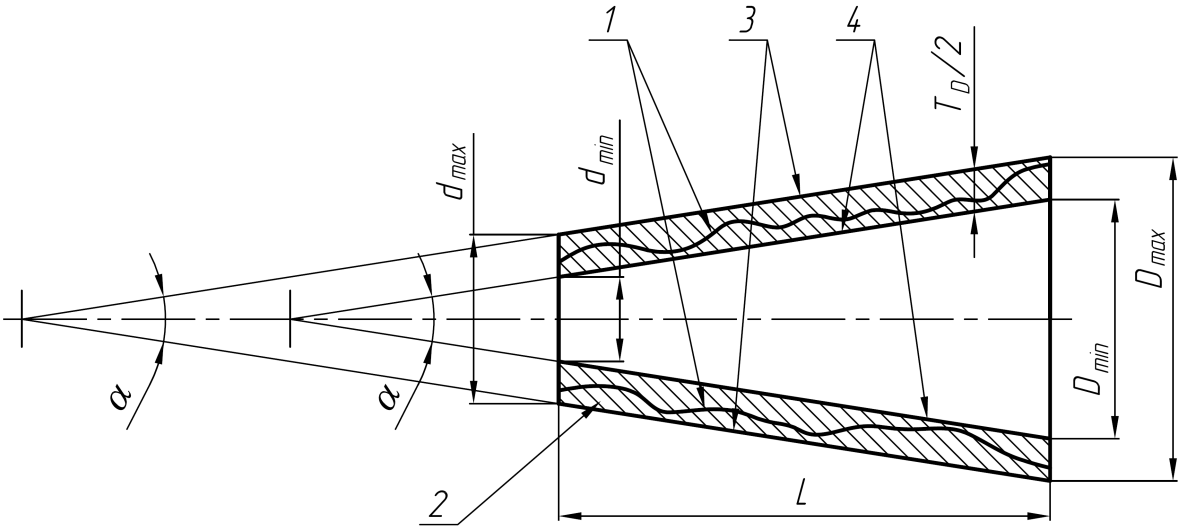


Рис. 4.6 - Схема розміщення допуску T_D діаметра конуса:

1 – реальна поверхня; 2 – поле допуску конуса;

3 – найбільший граничний конус; 4 – найменший граничний конус.

Розрізняють найбільший та найменший граничний конуси, які розміщені відносно один одного в осьовому напрямку таким чином, що в будь-якій площині, перпендикулярній до осі конусів, діаметри найбільшого та найменшого граничних конусів дорівнюють відповідно найбільшому та найменшому граничним діаметрам конуса у даному поперечному перерізі.

Поле допуску конуса

зона в просторі, усередині якої повинні знаходитись усі точки реальної поверхні конуса (рис. 4.6).

Допуск діаметра конуса в заданому перерізі T_{DS}

допуск, що відноситься тільки до діаметра у поперечному перерізі, який має задане осьове положення. Заданий поперечний переріз може збігатися з однією із основ конуса.

Допуски T_D та T_{DS} (табл. 2.2) відповідають ДСТУ ISO 286-1. За обраного квалітету допуск T_D визначається за номінальним діаметром великої основи конуса, а допуск T_{DS} – за номінальним діаметром в заданому перерізі конуса.

Поля допусків діаметрів зовнішніх і внутрішніх конусів наведені в табл. 4.5.

Вказані поля допусків повинні застосовуватись як за призначення граничних відхилень (допусків) для діаметру в будь-якому перерізі конуса, так і за призначення граничних відхилень (допусків) для діаметру в заданому перерізі конуса. Якщо використання полів допусків за табл. 4.5 не може забезпечити вимоги, які висуваються до виробів, допускається застосування інших полів допусків згідно з ДСТУ ISO 286-2.

Таблиця 4.5

Поля допусків діаметрів зовнішніх та внутрішніх конусів (ДСТУ ISO 286-1)

Квалітет допуску	Зовнішні конуси																Внутрішні конуси		
	Основні відхилення																		
	d	*e*	*f*	*g*	*h*	*js*	*k*	*m*	*n*	*p*	*r*	*s*	*t*	*u*	*x*	*z*	*H*	*Js*	*N*
	Поля допусків																		
01					h01*	js01*											H01*	Js01*	
0					h0*	js0*											H0*	js0*	
1					h1*	js1*											H1*	Js1*	
2					h2*	js2*											H2*	Js2*	
3					h3*	js3*											H3*	Js3*	
4				g4	h4	js4	k4	m4	n4								H4*	Js4	
5				g5	h5	js5	k5	m5	n5	p5	r5	s5					H5*	Js5	
6			f6	g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6	r6	s6	t6				H6*	Js6	
7		e7	f7		h7	js7	k7	m7	n7			s7		u7			H7*	Js7	
8	d8	e8	f8		h8	js8**	k8							u8	x8	z8	H8*	Js8*	
9	d9	e9	f9		h9	js9**	k9										H9*	Js9**	N9**
10					h10**	js10**	k10										H10**	Js10**	N10**
11					h11**	js11**	k11										H11**	Js11*	N11**
12					h12**	js12**	k12										H12**	Js12*	N12**
13					h13*	js13*											H13*	Js13*	
14					h14*	js14*											H14*	Js14*	
15					h15*	js15											H15*	Js15*	
16					h16*	js16											H16*	Js16*	
17					h17*	js17											H17*	Js17*	

Примітки:

* Поля допусків, не призначені для посадок.

** Поля допусків, призначені, як правило, тільки для конічних посадок з фіксацією по заданому осьовому зміщенню спряжених конусів від їх початкового положення або по заданому зусиллю запресування.

1. Ряди полів допусків, наведені в табл. 2.4., є обмеженням рядів полів допусків із ДСТУ ISO 286-1 та додатково до нього містять поля допусків K8 … K12 та N10 … N12.

2. Для внутрішніх конусів з номінальними діаметрами до 3 мм замість полів допусків N9 … N12 повинні використовуватися відповідно поля допусків K9 .. K12.

Допуск форми конуса T_{FR} *і* T_{FL}

допуск, що визначається допуском круглості поперечного перерізу конуса T_{FR} і допуском прямолінійності твірної конуса T_{FL} (рис. 4.7).

Допуск T_{FR} круглості та допуск T_{FL} прямолінійності твірної призначаються:

- за заданого допуску T_D, якщо відхилення форми конуса повинні бути обмежені більш вузькими межами, ніж це можливо за повного використання допуску T_D;
- за заданого допуску T_{DS}.

Допуски T_{FR} та T_{FL} повинні відповідати ГОСТ 24643.

За обраного ступеня точності допуск T_{FR} визначається за номінальним діаметром великої основи конуса, а допуск T_{FL} – за номінальною довжиною конуса.

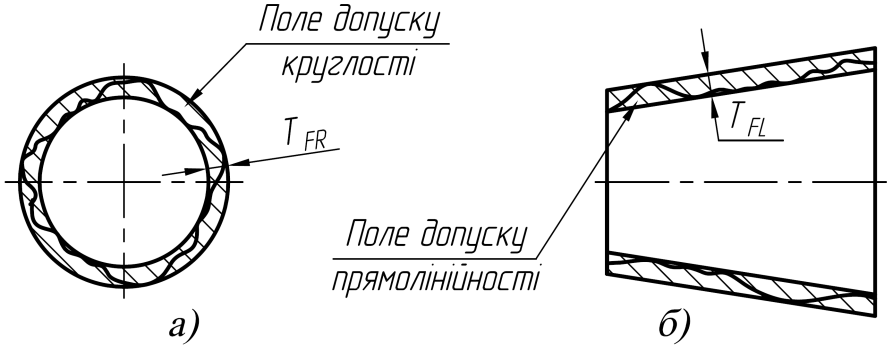


Рис. 4.7 - Допуски форми конуса:
а) допуск круглості, *б)* допуск прямолінійності

Допуск кута конуса *AT* призначається:

- за заданого допуску T_D, якщо відхилення кута конуса повинні бути обмежені більш вузькими межами, ніж це можливо за повного використання допуску T_D;
- за заданого допуску T_{DS}.

Якщо задаються окремо допуск діаметра конуса в заданому перерізі T_{DS}, допуск кута конуса *AT*, допуски круглості поперечного перерізу T_{FR} та прямолінійності твірної конуса T_{FL}, то поле допуску конуса визначають як сукупне сполучення полів зазначених допусків.

Осьове відхилення конуса

> осьова відстань між основною площиною і площиною поперечного перерізу розглядуваного конуса (реального, граничного), у якому його діаметр дорівнює номінальному діаметру конуса в основній площині.

Додатні осьові відхилення конуса відраховують від основної площини в бік, протилежний від вершини конуса, а від'ємні – від основної площини до вершини конуса.

Верхнє осьове відхилення конуса es_z, ES_z

> осьове відхилення найменшого граничного конуса. Верхнє осьове відхилення конуса визначається нижнім відхиленням діаметра конуса в основній площині (рис. 4.8).

Нижнє осьове відхилення конуса ei_z, EI_z

> осьове відхилення найбільшого граничного конуса. Нижнє осьове відхилення конуса визначається верхнім відхиленням діаметра конуса в основній площині (рис. 4.8).

Основне осьове відхилення конуса e_{zmin}, E_{zmin}

осьове відхилення, що відповідає основному відхиленню поля допуску діаметра в основній площині (рис. 4.8,*а*).

Осьовий допуск конуса T_{ze}, T_{zi}

різниця між верхнім та нижнім осьовим відхиленням конуса (рис. 4.8). Осьовий допуск конуса визначається допуском діаметра конуса в основній площині.

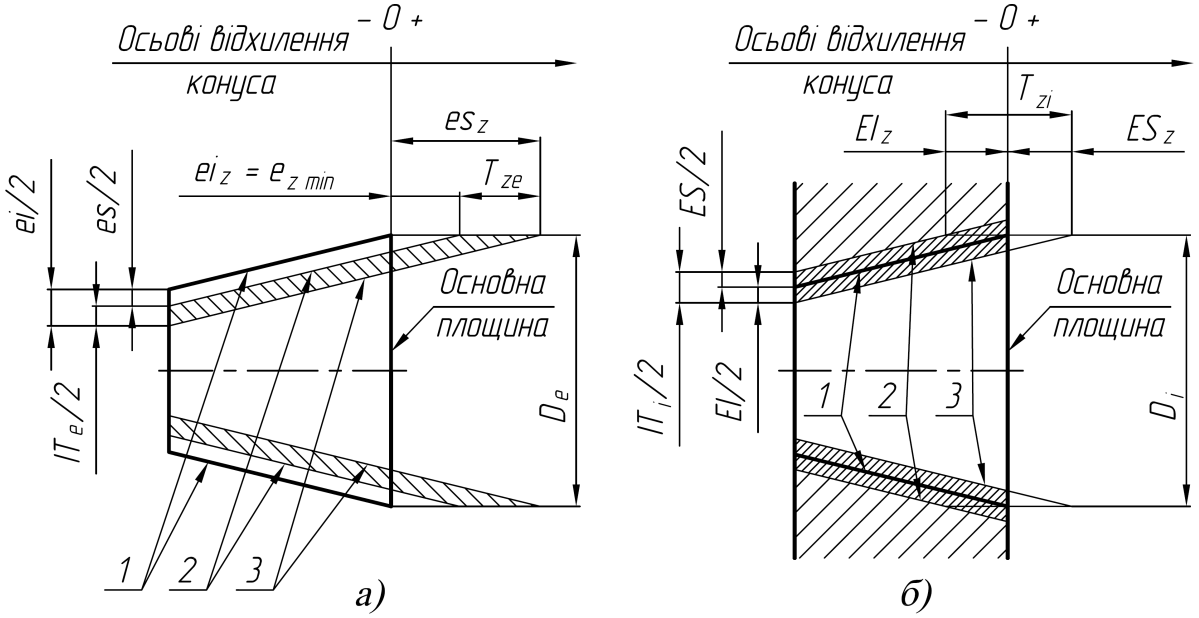


Рис. 4.8 - Осьові відхилення зовнішнього (а) і внутрішнього (б) конуса:
1 – номінальний конус; 2 – найбільший граничний конус; 3 – найменший граничний конус

В табл. 4.6 наведено формули для визначення граничних осьових відхилень та осьових допусків конусів в основній площині.

Таблиця 4.6

Формули для визначення граничних осьових відхилень та осьових допусків конусів (ГОСТ 25307)

Зовнішній конус	Внутрішній конус
Верхні осьові відхилення	
$es_z = -\frac{1}{C} \cdot ei$	$ES_z = -\frac{1}{C} \cdot EI$
Нижні осьові відхилення	
$ei_z = -\frac{1}{C} \cdot es$	$EI_z = -\frac{1}{C} \cdot ES$
Основні осьові відхилення	
$e_{z\min} = -\frac{\text{основне відхилення діаметра}}{C}$	$E_{z\min} = -\frac{\text{основне відхилення діаметра}}{C}$
Осьові допуски	
$T_{ze} = \frac{1}{C} \cdot IT_e$	$T_{zi} = \frac{1}{C} \cdot IT_i$
де *ei, EI, es, ES* – граничні відхилення діаметрів конусів в основній площині; IT_e, IT_i – допуски діаметрів конусів в основній площині	

4.1.5 Позначення розмірів, допусків та посадок конусів на кресленнях

Величину та форму конусів позначають на кресленнях через позначення трьох з шести параметрів:

1) найбільший діаметр конуса *D*;
2) найменший діаметр конуса *d*;
3) діаметр у заданому поперечному перерізі D_S, що має задане осьове положення L_S;
4) довжина конуса *L*;
5) кут конуса α;
6) конусність *C*.

Типові комбінації параметрів і розмірів в позначенні конусів за ДСТУ ISO 3040 зображено на рис. 4.9,*а…г.*

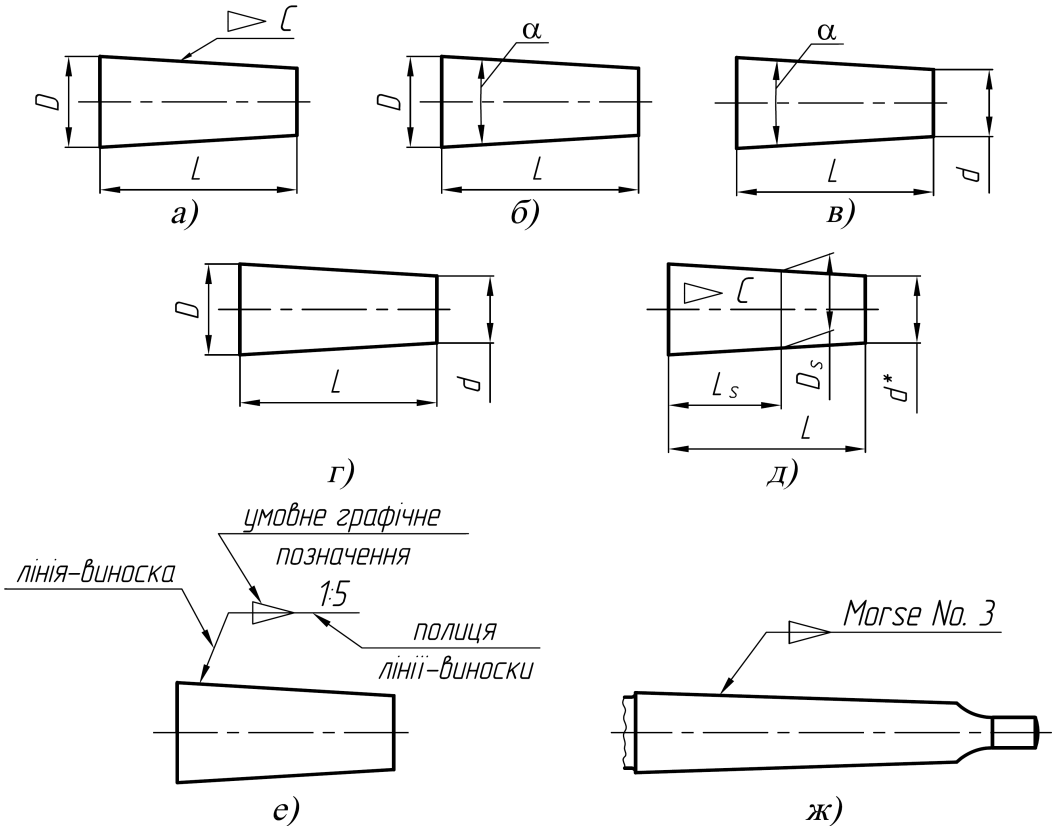


Рис. 4.9 - Позначення розмірів конусів на кресленнях

Допускається вказувати додаткові розміри (із зірочкою), наприклад, розміри для довідок (рис. 4.9,*д*). Розміри стандартизованих конусів на кресленнях не вказують, а позначають на полиці лінії-виноски умовне позначення (рис. 4.9,*е,ж*).

Граничні відхилення та поля допусків діаметрів конусів на кресленнях позначають:

- числовими значеннями граничних відхилень конусності – безпосередньо під її позначенням (рис. 4.10, *а*);
- шляхом нанесення умовного позначення допуску - AT_D7 (рис. 4.10, *б*);

- умовним позначенням ступеня точності з числовими значеннями граничних відхилень - AT_D7(±0,01) (рис. 4.10,*в*);
- граничними відхиленнями кута конуса та поля допуску на заданому діаметрі D_S (рис. 4.10, *г*).

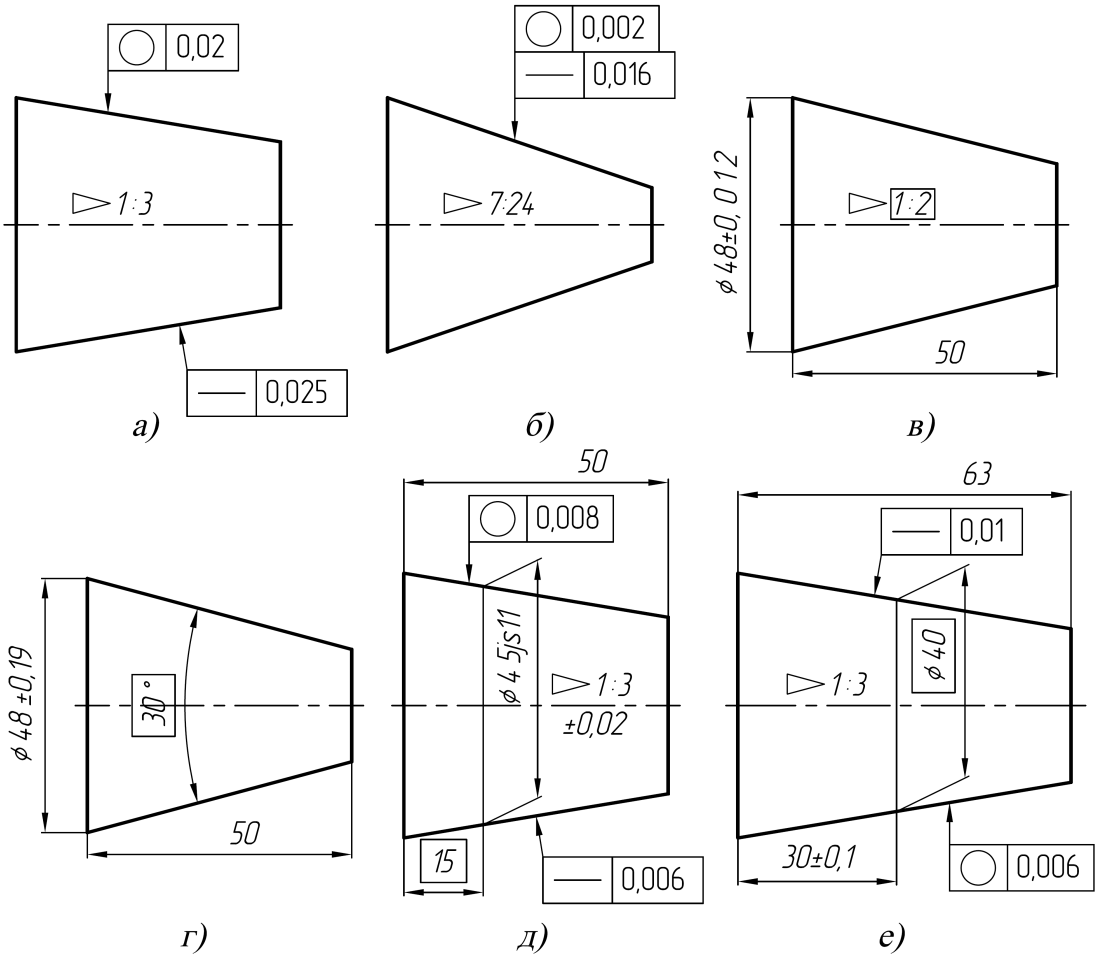


Рис. 4.10 - Позначення граничних відхилень розмірів конусів

4.2 Лабораторна робота №10. Вимірювання кутів за допомогою кутоміра

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання плоских кутів за допомогою кутоміра.

Зміст роботи

За допомогою кутоміра виміряти кути деталі.

Технічне забезпечення

1. Кутомір ноніусний – 1 шт.
2. Деталь з плоскими кутами– 1 шт.

4.2.1 Будова та принцип дії кутоміра з ноніусом

Кутоміри з ноніусом (кутоміри) – це накладні засоби вимірювання призначені для вимірювання зовнішніх та внутрішніх кутів контактним методом.

Будова кутоміра. На основі 1 кутоміра, виконаній у вигляді напівдиска, нанесена кутова шкала з кроком 1° від 0° до 90°. На осі 2 основи встановлено деталь L-подібної форми, одна частина якої являє собою сектор 3 із закріпленим на ньому ноніусом 4, а інша виконана у вигляді лінійки 5.

На лінійку 5 встановлюється кутник 6, вимірювальні поверхні якого використовують при вимірюванні кутів деталей від 0° до 90°. Кутник 6 може вільно пересуватися по лінійці 5, фіксація кутника 6 відбувається затискачем 7.

На основі 1 жорстко закріплена друга лінійка 8, нерухома вимірювальна поверхня якої є стороною кута, з яким порівнюється кут вимірюваної деталі. Для точного прилягання вимірювальних поверхонь лінійок 8 та 5 або лінійки 8 та кутника 6 з поверхнями вимірювальної деталі кутомір оснащено механізмом мікрометричної подачі 9. Для фіксації вимірювального розміру кутомір оснащено стопорним гвинтом 10.

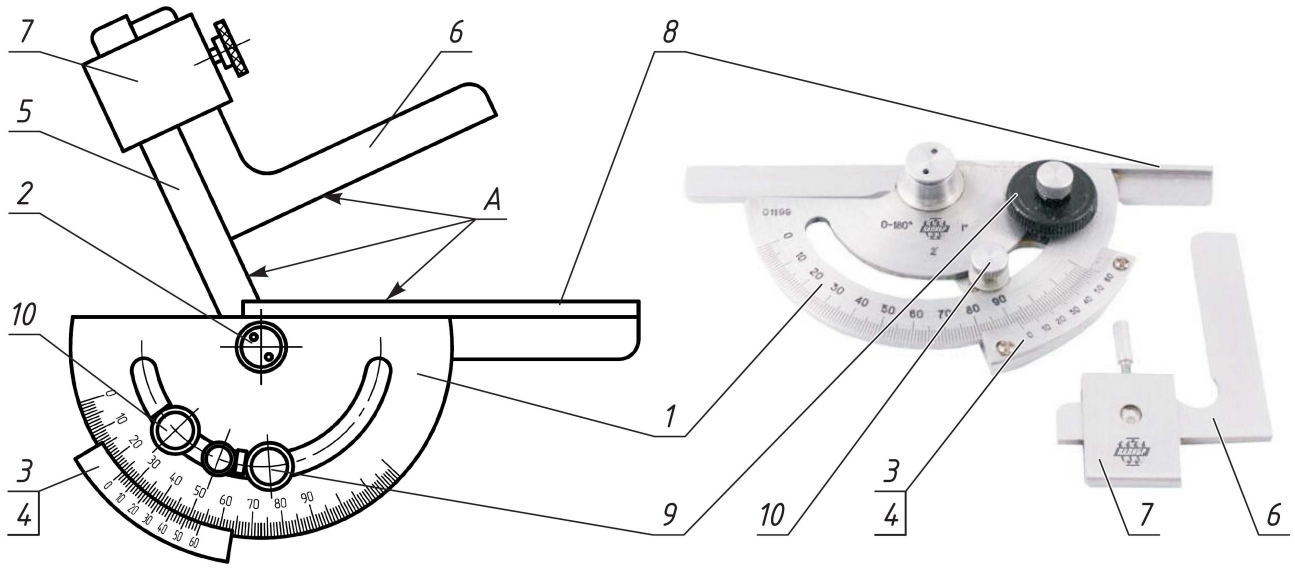
Метрологічні характеристики кутоміра наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7.

Основні метрологічні характеристики кутоміра (ГОСТ 5378)

Відлік за ноніусом	Границі допустимої похибки	Границі вимірювання зовнішніх кутів
2′	±2′	0 – 180°
5′	±5′	

Принцип дії кутомірів полягає у суміщенні лінійки основи та рухомої лінійки з вимірюваними поверхнями та безпосередньому відліку показів розміру кута за шкалами основи та ноніуса кутоміра.



1	основа	5	лінійка	9	мікрометрична подача
2	вісь	6	кутник	10	стопорний гвинт
3	сектор	7	затискач	A	вимірювальні поверхні
4	ноніус	8	лінійка		

Рис. 4.11 – Основні частини кутоміра

Кутомірний ноніус

допоміжна шкала що слугує для більш точного визначення часток поділок.

Кутомірний ноніус практично не відрізняється від лінійного. Він являє собою невелику дугову лінійку, що ковзає вздовж нерухомого кола основи (лімба), розділеного на градуси та частки градусів (рис. 4.11, 4.12).

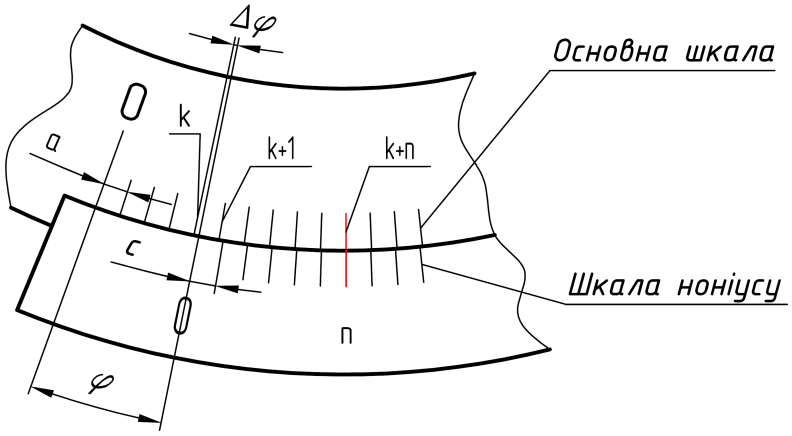


Рис. 4.12 – Будова кутомірного ноніуса

Зчитування показів значень виміряного кута. Принцип відліку кута за допомогою кутомірного ноніуса аналогічний принципу відліку розміру лінійного ноніуса.

У вихідному положенні нульові позначки основної шкали і шкали ноніуса збігаються. Вимірювану деталь встановлюють між вимірювальними поверхнями А кутоміра (рис. 4.11), при цьому рамка з ноніусом зміститься вздовж основи та займе певне положення (рис. 4.12). Якщо нульова позначка шкали ноніуса виявиться між позначками (штрихами) k і k+1 основи, то кутовий розмір деталі φ дорівнює:

$$\varphi = k \cdot a + \Delta\varphi, \qquad (4.5)$$

де a - ціна поділки шкали основи;

k - кількість повних поділок основи;

$\Delta\varphi$ - доля поділки основи.

Якщо позначити через n позначку ноніуса, що збігається з якоюсь позначкою основи (рис. 4.12) видно, що номер цієї позначки $k+n$. Тоді доля поділки основи визначається залежністю:

$$\Delta\varphi = n \cdot \frac{a}{m}$$

де m - кількість поділок шкали ноніуса:

$$m = a/c,$$

де c - ціна поділки шкали ноніуса.

Таким чином, кутовий розмір, при вимірюванні кутоміром з ноніусом визначається залежністю:

$$\varphi = k \cdot a + n \cdot \frac{a}{m} \qquad (4.6)$$

Відповідно, **зчитування показів значень кута при вимірюванні кутоміром з ноніусом відбувається наступним чином:**

- ціле число **градусів** відраховують за градусною шкалою на основі до нульового штриха ноніуса;
- **мінути** – за шкалою ноніуса, починаючи з нульової відмітки до тієї риски, яка збігається з будь-якою рискою градусної шкали.

Приклад 1. Виконати зчитування показів за шкалами кутоміра з ноніусом (рис. 4.13, *а*) з ціною поділки шкали ноніуса *c* = 2’, шкали основи *a* = 1°.

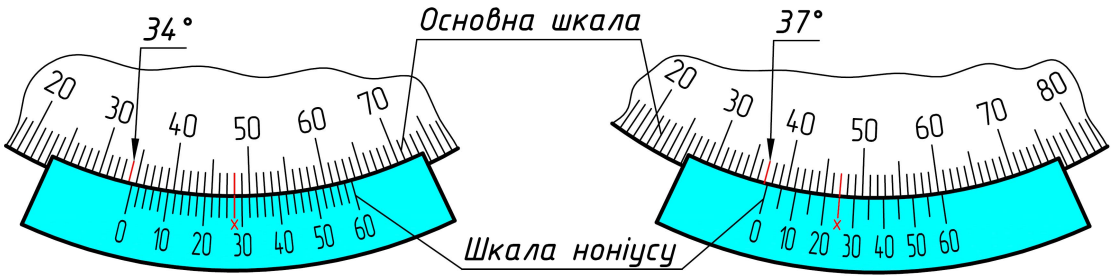
1. Кількість поділок шкали ноніуса

$$m = a / c = 1^\circ / 2' = 60' / 2' = 30 \text{ поділок}$$

2. Кількість повних поділок основи k=34.
3. Номер поділки ноніуса, що збігається з поділками шкали основи n=14.
4. Розмір вимірюваного кута деталі (рис. 4.13, *а*):

$$\varphi = k \cdot a + n \cdot \frac{a}{m} = 34 \cdot 1^\circ + 14 \cdot \frac{1^\circ}{30} = 34^\circ 28'$$

Приклад 2. Виконати зчитування показів за шкалами кутоміра з ноніусом (рис. 4.13, *б*) з ціною поділки шкали ноніуса *c* = 5’, шкали основи *a* = 1°.



$34 \cdot 1^\circ + 14 \cdot 2' = 34^\circ 28'$ *а)*

$37 \cdot 1^\circ + 5 \cdot 5' = 37^\circ 25'$ *б)*

Рис. 4.13 – Приклади зчитування показів за ноніусом під час вимірювань кутів: а) з ціною поділки ноніуса 2’; б) *з ціною поділки ноніуса* 5’

1. Кількість поділок шкали ноніуса

$$m = a / c = 1^\circ / 5' = 60' / 5' = 20 \text{ поділок}$$

2. Кількість повних поділок основи k=37.
3. Номер поділки ноніуса, що збігається з поділками шкали основи n=5.
4. Розмір вимірюваного кута деталі (рис. 4.13, *б*):

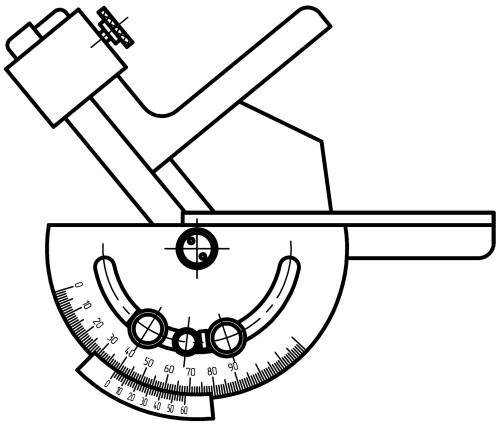
$$\varphi = k \cdot a + n \cdot \frac{a}{m} = 37 \cdot 1^\circ + 5 \cdot \frac{1^\circ}{20} = 37^\circ 25'$$

4.2.2 Вимірювання плоских кутів за допомогою кутоміра з ноніусом

Підготовка до вимірювання. Перевірка установки кутоміра на нуль полягає у перевірці правильності розташування шкали ноніуса 4 відносно шкали основи 1. Для цього вимірювальні поверхні А лінійки 8 та кутника 6 необхідно сумістити без просвіту між собою. При цьому нульовий штрих ноніуса 4 повинен збігатися з нульовим штрихом шкали основи 1. Якщо такою збігу немає, необхідно послабити гвинти, що кріплять ноніус 4, перемістити його до збігу нульового штриха ноніуса 4 з нульовим штрихом шкали основи 1 та затягнути гвинти.

Послідовність вимірювання плоских кутів деталі.

- **вимірювання кутів в діапазоні від 0 до 90°** (рис. 4.14)**:** вимірювання виконується зі встановленим на лінійці 5 кутником 6 (рис. 4.11). Одну поверхню кута деталі (рис. 4.14) щільно притискають до вимірювальної поверхні лінійки 8, а під іншу сторону підводять вимірювальну поверхню кутника 6. Кутник 6 може вільно пересуватися вздовж лінійки 5, окрім того, кутник 6 разом з лінійкою 5 та сектором 3 з ноніусом 4 можуть вільно обертатися навколо осі 2. У потрібному положенні, коли вимірювальна поверхня кутника 6 прилягає до вимірювальної поверхні кута деталі, кутник 6, відносно лінійки 5, фіксується за допомогою затискача 7, а положення сектора фіксується стопорним гвинтом 10. Для точного прилягання вимірювальних поверхонь лінійок та деталі на кутомірі передбачений механізм мікрометричної подачі 9 вимірювальних поверхонь лінійки.



$39^\circ + 13 \times 2' = 39^\circ 26'$

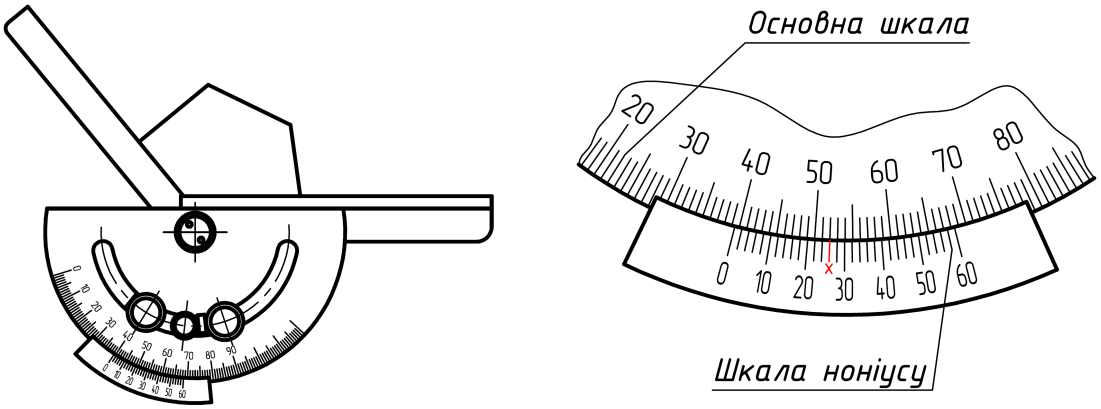
а) *б)*

Рис. 4.14 – Вимірювання кутів кутоміром з ноніусом в діапазоні від 0° до 90° (а) та приклад зчитування показів під час вимірювань (б)

- **вимірювання кутів в діапазоні від 90 до 180°** (рис. 4.15)**:** вимірювання виконується аналогічно вимірюванню кутів в діапазоні від 0 до 90°, але без встановленого на лінійці 5 кутника 6 (рис. 4.11). Окрім того, при зчитуванні показів до показів мікрометра додають 90°.

Визначення придатності деталі з плоскими кутами. Деталь вважають придатною

якщо дійсне значення кутового розміру знаходиться між граничними значеннями або дорівнює їм.



$$39^\circ + 13 \times 2' + 90^\circ = 119^\circ 26'$$

а) *б)*

Рис. 4.15 – Вимірювання кутів кутоміром з ноніусом в діапазоні від 90° до 180° (а) та приклад зчитування показів під час вимірювань (б)

Приклад. Зробити висновок щодо придатність деталі з плоскими кутами, якщо одержані такі дані вимірювання (табл. 4.8):

Таблиця 4.8

Протокол вимірювання плоских кутів

Номінальне значення		Кут 1-2	Кут 2-3	Кут 3-4
		25°	60°	120°
Номер вимірювання	1	24°40’	60°08’	119°13’
	2	24°45’	60°16’	119°25’
	3	24°56’	60°09’	119°16’

1) Знаходимо середнє значення кожного вимірюваного кута:

Кут 1-2 24°40’ + 24°45’ + 24°56’ = 24°47’

Кут 2-3 60°08’ + 60°16’ + 60°09’ = 60°12’

Кут 3-4 119°13’ + 119°25’ + 119°16’ = 119°18’

2) За табл. 4.3 знаходимо для заданих значень кутів їх допуски для 15-го ступеню точності:

Кут 1-2 $AT_\alpha 15_{1\text{-}2}$= 1°08'45"

Кут 2-3 $AT_\alpha 15_{2\text{-}3}$ = 1°25'57"

Кут 3-4 $AT_\alpha 15_{3\text{-}4}$ = 42'58"

Найбільший граничний розмір плоских кутів:

Кут 1-2 $\alpha_{1-2\max} = \alpha_{1-2} = 25^\circ$

Кут 2-3 $\alpha_{2-3\max} = \alpha_{2-3} + AT_\alpha 15_{2-3} = 60^\circ + 1^\circ 25'57'' = 61^\circ 25'57''$

Кут 3-4 $\alpha_{3-4\max} = \alpha_{3-4} + \frac{AT_\alpha 15_{3-4}}{2} = 120^\circ + \frac{42'58''}{2} = 120^\circ 21'29''$

Найменший граничний розмір плоских кутів:

Кут 1-2 $\alpha_{1-2\min} = \alpha_{1-2} + AT_{\alpha}\,15_{1-2} = 25^{\circ} - 1^{\circ}08'45'' = 23^{\circ}51'15''$

Кут 2-3 $\alpha_{2-3\min} = \alpha_{2-3} = 60^{\circ}$

Кут 3-4 $\alpha_{3-4\min} = \alpha_{3-4} - \frac{AT_{\alpha}\,15_{3-4}}{2} = 120^{\circ} - \frac{42'58''}{2} = 119^{\circ}38'31''$

3) Зіставляємо граничні розміри плоских кутів з виміряними значеннями:

$$\alpha_{\min} \le \alpha_{д} \le \alpha_{\max}$$

Кут 1-2 $23^{\circ}51'15'' \le 24^{\circ}47' \le 25$ *Нерівність вірна*

Кут 2-3 $60^{\circ} \le 60^{\circ}12' \le 61^{\circ}25'57''$ *Нерівність вірна*

Кут 3-4 $119^{\circ}38'31'' \le 119^{\circ}18' \le 120^{\circ}21'29''$ *Нерівність не вірна*

4) Висновок: Оскільки не всі нерівності вірні, то деталь є непридатною

4.2.3 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо параметрів кутів (п. 4.1).
2. Вивчити будову та принцип дії кутоміра з ноніусом.
3. Виміряти плоскі кути на деталі, дані занести в протокол (табл. 4.9).
4. Визначити середні значення плоских кутів, дані занести в протокол (табл. 4.9).
5. За даними маркування деталі визначити допуски плоских кутів (за табл. 4.3), обчислити граничні розміри плоских кутів, дані занести в протокол (табл. 4.9).
6. Зіставляючи виміряні значення з відповідними граничними розмірами, зробити висновок щодо придатності кожного плоского кута та усієї деталі.

Таблиця 4.9

Протокол вимірювання плоских кутів

		Кут 1-2	Кут 2-3	Кут 3-4	Кут 4-5	Кут 5-1
Номінальне значення						
Номер вимірювання	1					
	2					
	3					
Середнє значення						
Допуск кута	позначення					
	кут. од.					
Граничні розміри	найбільший					
	найменший					
Висновок щодо придатності кутів						
Висновок щодо придатності деталі						

4.3 Лабораторна робота №11. Вимірювання кута конуса на інструментальному мікроскопі

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання кутів конуса на інструментальному мікроскопі.

Зміст роботи

За допомогою інструментальному мікроскопі виміряти кутів конуса деталі та зробити висновок щодо придатності деталі.

Технічне забезпечення

1. Мікроскоп інструментальний – 1 шт.
2. Деталь конічна – 1 шт.

4.3.1 Вимірювання кута конуса

Вимірювання кута конуса на мікроскопі виконують *проекційним методом*. Для цього деталь розміщують в центрах на шляху світлових променів, які йдуть від центрального освітлювача через скляний предметний столик, і потрапляють в об'єктив мікроскопа. Тоді в полі зору оптичної системи спостерігають контур тіньового зображення виробу.

Будова, принцип дії малого інструментального мікроскопа наведені в п. 3.6, метрологічні характеристики – в табл. 3.14.

Налаштування приладу. До початку вимірювань вимірювань необхідно виконати фокусування візирної системи на вістря центів (п. 3.6.1). Обертаючи мікрогвинти поздовжнього 3 (рис. 3.15) та поперечного 4 переміщення, підводять центри 6 під об'єктив 9 та за допомогою маховиків 13 переміщення кронштейна 11 з окулярною головкою 10, досягають чіткого зображення вістря.

> **Увага! Фокусування, проведене на вістря центрів, порушувати не можна, інакше вимірювання будуть здійснюватися не в діаметральній площині.**

Вимірювання кута конуса. Під час вимірювання кутів конусів використовують поняття «конусність», яка може бути визначена як відношення різниці діаметрів великої та малої основ конуса до довжини конуса (формула 4.3):

$$C = \frac{D-d}{L} = 2 \cdot tg\frac{\alpha}{2}$$

Конічну деталь встановлюють в центрах. За допомогою маховика 18 (рис. 3.15) регулювання нахилу колонки встановлюють колонку 12 у вертикальне положення (0°) та переміщують деталь мікрогвинтами поздовжнього 3 та поперечного 4 переміщення поки твірна конуса не виявиться під об'єктом 9 мікроскопа та в полі зору не з'явиться досить різке тіньове зображення конуса.

Спостерігаючи в кутомірний окуляр 15, горизонтальну (при 0°) штрихову лінію встановлюють паралельно до твірної конуса в нижній частині конуса (відносно його осі). Для цього точку перехрестя шкал суміщають з профілем твірної конуса поблизу основи конуса та, в цьому положенні обертають маховичок 16 повороту штрихової сітки до за-

даного положення. Потім за допомогою мікрогвинтів поздовжнього 3 та поперечного 4 переміщення сітку фокусують на твірній конуса поблизу його вершини та перевіряють паралельність тієї ж штрихової лінії до твірної конуса. У разі незбігу виправляють положення сітки.

Мікрогвинт 3 поздовжнього переміщення встановлюють на довільний цілий відлік (на ціле число міліметрів) поблизу вершини конуса та фіксують його. Мікрогвинтом 4 поперечного переміщення суміщають штрихову лінію сітки з твірною конуса як показано на рис. 4.21 – положення ***I*** та знімають відлік за шкалою поперечного переміщення (п. 3.6.1).

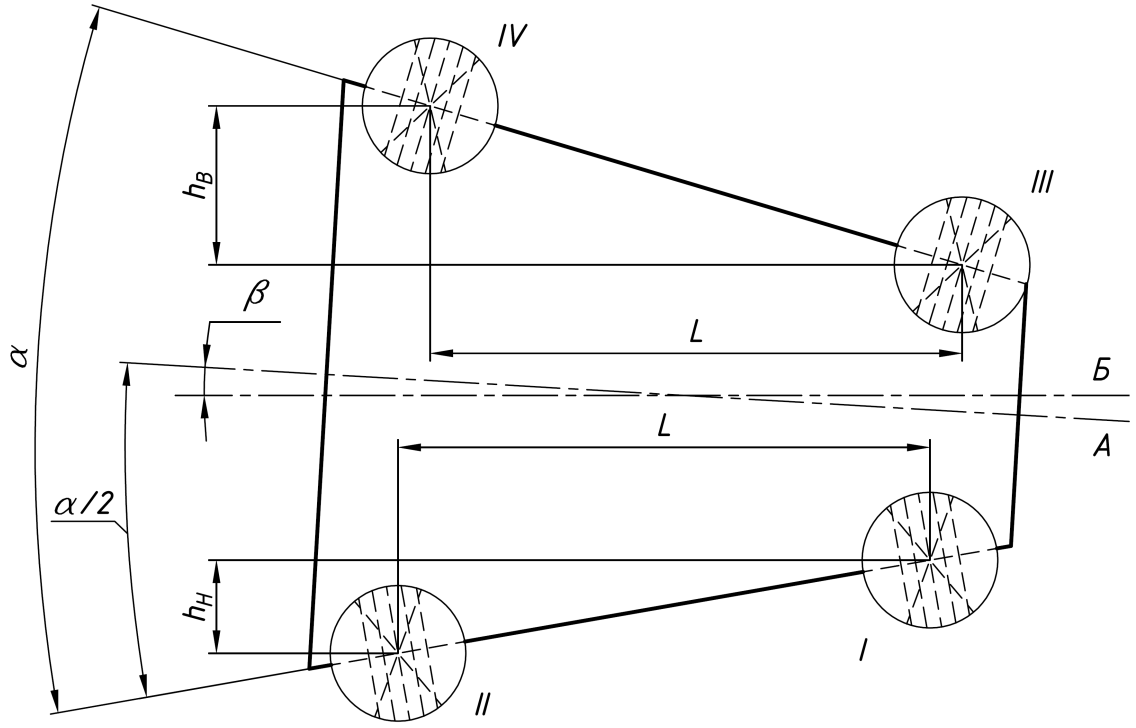


Рис. 4.21 – Схема вимірювання половини кута конуса:
А – вісь конуса; Б – напрямок переміщення каретки

За допомогою мікрогвинта 3 поздовжнього переміщення переміщують вимірювану деталь на ціле число міліметрів ***L*** до іншого кінця – основи конуса та знімають відлік (п. 3.6.1). Переміщенням мікрогвинта 4 поперечного переміщення, суміщають штрихову лінію сітки з твірною тіньового профілю (положення ***II***) і знову знімають відлік за шкалою поперечного переміщення (п. 3.6.1).

Різниця обох відліків $h_н$ за шкалою поперечного переміщення, поділена на довжину поздовжнього переміщення ***L*** в міліметрах дає тангенс половини кута конуса, кута ухилу конуса:

$$tg\frac{\alpha}{2}=\frac{h}{L} \tag{4.7}$$

Отриманий результат може мати похибку, що виникла внаслідок можливого перекосу β виробу через непаралельність осі Б та напрямку руху А каретки поздовжнього переміщення.

Для виключення впливу цієї похибки на результат вимірювання повторюють на іншому боці твірної конуса (положення ***III*** та ***IV***), аналогічно вимірюванню в положеннях ***I*** та ***II,*** і отримують відлік $h_в$. Відлік ***L*** залишають аналгічним, як і в попередніх вимірюваннях. Очевидно, що похибка від перекосу увійде в результат з протилежним знаком.

Дані вимірювання вносять у протокол вимірювань (табл. 4.10, табл. 4.11)

Таблиця 4.10

Результати вимірювання половини кута конуса (нижня частина конуса)

Номер вимірювання	Поздовжнє переміщення			Поперечне переміщення		
	Перший відлік, ***I***	Другий відлік, ***II***	***L***	Перший відлік, ***I***	Другий відлік, ***II***	$h_н$
1						
2						
3						
Середнє значення	–			–		

Таблиця 4.11

Результати вимірювання половини кута конуса (верхня частина конуса)

Номер вимірювання	Поздовжнє переміщення			Поперечне переміщення		
	Перший відлік, ***III***	Другий відлік, ***IV***	***L***	Перший відлік, ***III***	Другий відлік, ***IV***	$h_в$
1						
2						
3						
Середнє значення	–			–		

Для виключення похибки обчислюють середнє арифметичне обох результатів вимірювання і визначають кут ухилу конуса, половину кута конуса:

$$tg\frac{\alpha}{2}=\frac{h_H+h_в}{2\cdot L} \tag{4.8}$$

Для підвищення точності вимірювань необхідно вимірювати найбільшу довжину конуса, тобто переміщати каретку поздовжнього переміщення на можливо більшу відстань ***L***.

Приклад. Зробити висновок про придатність конічної деталі довжиною 70 мм з позначенням $\sphericalangle 1:5\pm\frac{AT16}{2}$, якщо одержані такі дані вимірювання:

- виміряне значення поздовжнього переміщення – L=65 мм
- виміряні значення поперечного переміщення:
  - нижньої частини конуса – $h_н$=13,42 мм
  - верхньої частини конуса – $h_в$=13,59 мм

1) За табл. 4.4 знаходимо для заданої конічної деталі з конусністю 1:5 номінальне значення кута конуса становить α = 11°25’16,3”.

2) За табл. 4.3 знаходимо допуск кута конуса для 16-го ступеню точності в інтервалі довжин ‹‹ 63 ‹‹ 100 ‹‹:

$$AT_\alpha = 55'$$

Найбільший граничний розмір кута конуса

$$\alpha_{\max} = \alpha + \frac{AT_\alpha\ 16}{2} = 11^\circ 25' 16,3'' + \frac{55'}{2} = 11^\circ 52' 46,3''$$

Найменший граничний розмір кута конуса

$$\alpha_{\min} = \alpha - \frac{AT_\alpha\ 16}{2} = 11^\circ 25' 16,3'' - \frac{55'}{2} = 10^\circ 57' 46,3''$$

2) За залежністю (4.8) визначаємо дійсне значення кута ухилу конуса:

$$tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)_д = \frac{13,42 + 13,59}{2 \cdot 65} = 0,09 \qquad \left(\frac{\alpha}{2}\right)_д = 5^\circ 32' 25''$$

3) Дійсне значення кута конуса визначається як подвійне дійсне значення кута ухилу конуса:

$$\alpha_д = 2 \cdot \left(\frac{\alpha}{2}\right)_д = 2 \cdot 5^\circ 32' 25'' = 11^\circ 04' 50''$$

4) Зіставляємо граничні розміри кута конуса з виміряним значенням кута конуса:

$$\alpha_{\min} \le \alpha_д \le \alpha_{\max}$$

$$10^\circ 57' 46,3'' \le 11^\circ 04' 50'' \le 11^\circ 52' 46,3''$$

5) Висновок. Оскільки нерівність вірна, то конічна деталь придатна.

4.3.2 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо параметрів кутів (п. 4.1).
2. Вивчити будову та принцип дії інструментального мікроскопа.
3. Провести вимірювання половини кута конуса (кут ухилу) на нижній та верхній частинах конуса, дані занести в протокол (табл. 4.10, табл. 4.11).
4. За даними вимірювання обчислити кут ухилу конуса та кута конуса.
5. За даними маркування деталі визначити поле допуску кута конуса (за табл. 4.3), обчислити граничні розміри конуса.
6. Зіставляючи виміряні значення з відповідними граничними розмірами, зробити висновок щодо придатності деталі.

4.4 Контрольні запитання

- ***до теоретичної, частини***

1. Які одиниці вимірювання кутів прийняті у Міжнародній системі одиниць SI?
2. Як визначають ухил призматичних деталей?
3. Як позначають на кресленнях кутові розміри?
4. Які елементи конуса застосовують для опису його геометричної форми?
5. Які допуски встановлюють для конічних та призматичних елементів деталей?
6. Як позначають розміри, допуски та посадки конусів на кресленнях?

- ***до лабораторної роботи №10***

7. Який принцип дії ноніусного кутоміра та з яких основних частин він складається?
8. Як виконується відлік показів за шкалами ноніусного кутоміра?
9. Яким чином встановлюють придатність деталі?

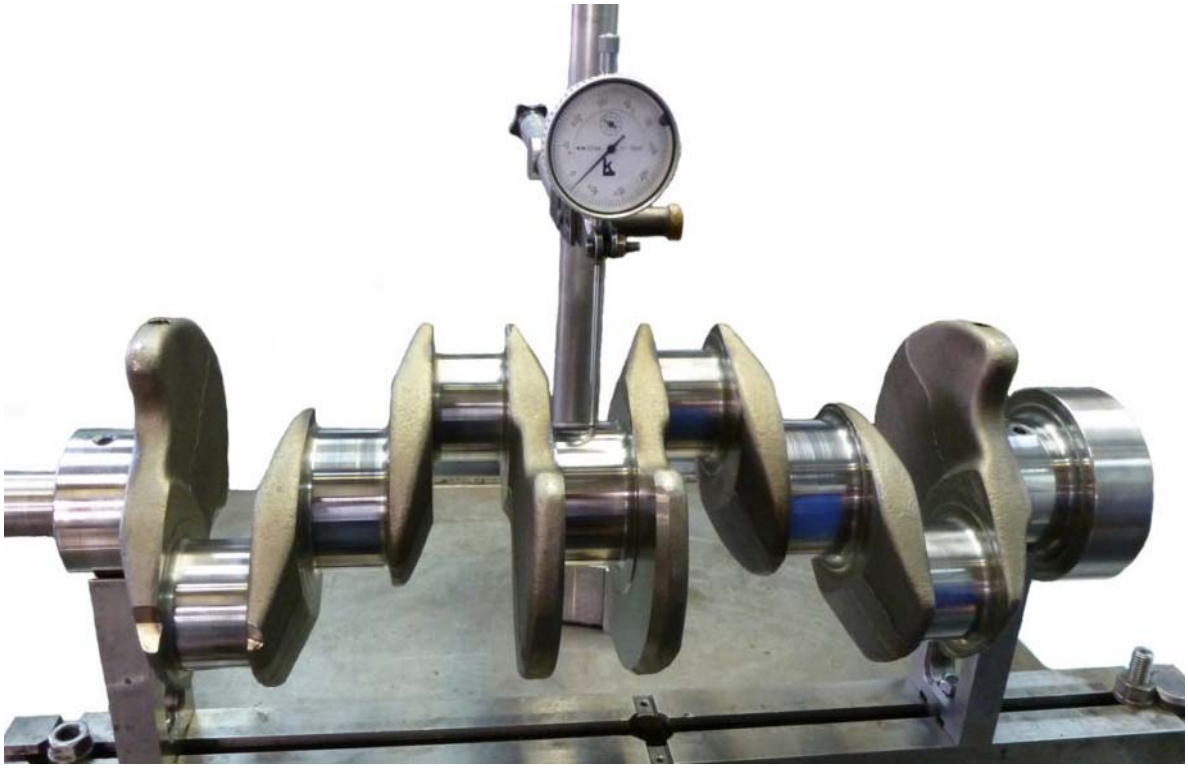
- ***до лабораторної роботи №11***

10. Який принцип дії інструментального мікроскопа?
11. З яких основних частин складається інструментальний мікроскоп та яке їх призначення?
12. Як проводиться зчитування показів за шкалами кутів та лінійних переміщень інструментального мікроскопа?
13. За якою методикою виконується вимірювання кута конуса на інструментальному мікроскопі?
14. Яким чином встановлюють придатність деталі?

4.5 Рекомендована література до розділу 4

1. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 [Текст]: навч. посібн. / Ю. І. Адаменко, О. М. Герасимчук, С. В. Майданюк, Н. В. Мініцька, В. А. Пасічник, О. А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – С. 95-128.
2. ДСТУ OIML D 2 Метрологія. Узаконені одиниці фізичних величин.
3. ДСТУ ISO 1119 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Ряди конусів і кутів біля їхніх вершин.
4. ДСТУ ISO 286-1 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок.
5. ДСТУ ISO 286-2 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів.
6. ДСТУ EN ISO 3040 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Конуси. Розміри та допуски.
7. ДСТУ 2499-94 Основні норми взаємозамінності. Конуси та конічні з`єднання. Терміни та визначення.
8. ГОСТ 24643 Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения.
9. ГОСТ 25307 Основные нормы взаимозаменяемости. Система допусков и посадок для конических соединений.
10. ГОСТ 5378 Угломеры с нониусом. Технические условия.
11. ГОСТ 8593 Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные конусности и углы конусов.
12. ГОСТ 8908 Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные углы и допуски углов.
13. Угломер с ноніусом типа 1. Руководство по єксплуатации. Киров. – 2017, 6 с.

РОЗДІЛ 5
ВИМІРЮВАННЯ ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ ТА РОЗТАШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ



5.1. Параметри точності форми та розташування поверхонь

Терміни, визначення, правила позначення на кресленнях допусків форми, розташування, сумарних допусків форми та розташування встановлено ДСТУ ISO 1101:2009 та ДСТУ 2498. Основні терміни, які використовують під час аналізу та нормування відхилень форми і розташування поверхонь наведено за ДСТУ 2498.

Номінальна поверхня

> ідеальна поверхня, розміри і форма якої відповідають заданим номінальним розмірам та номінальній формі.

Реальна поверхня

> поверхня, що обмежує деталь та відділяє її від навколишнього середовища.

Профіль

> лінія перетину поверхні з площиною або із заданою поверхнею.

Поняття ***реального*** та ***номінального профілю*** аналогічні поняттям реальної та номінальної поверхні.

Нормована ділянка L

> ділянка поверхні або лінії, до якої відноситься допуск форми, допуск розташування, сумарний допуск форми та розташування або відповідне відхилення.

Якщо розміри нормованої ділянки не задані, то допуск або відхилення відноситься до усієї розглядуваної поверхні або довжини розглядуваного елемента. Якщо положення нормованої ділянки не задано, то вона може займати будь-яке положення в межах усього елемента.

Відхилення форми та розташування поверхонь оцінюють від прилеглих поверхонь або профілів.

Прилегла поверхня (профіль)

> поверхня (профіль), яка стикається з реальною поверхнею (профілем) і розташована поза матеріалу деталі так, щоб відхилення від неї найбільш віддаленої точки реальної поверхні (профілю), в межах нормованої ділянки, мало мінімальне значення.

Прилегла пряма (площина)

> пряма (площина), яка стикається з реальним профілем (поверхнею) і розташована поза матеріалу деталі так, щоб відхилення від неї найбільш віддаленої точки реального профілю (поверхні), в межах нормованої ділянки, було мінімальним.

Наприклад, з трьох прямих, дотичних до профілю (рис. 5 .1), прилеглою буде та, відстань E від якої до найбільш віддаленої точки реальної кривої буде мінімальною: $E<E_1<E_2$.

Прилегле коло

коло мінімального діаметра, описане навколо реального профілю зовнішньої поверхні обертання (рис. 5.2,а), або коло максимального діаметра, вписане в реальний профіль внутрішньої поверхні обертання (рис. 5.2,б).

Прилеглий циліндр

циліндр мінімального діаметра, описаний навколо реальної зовнішньої поверхні або циліндр максимального діаметра, вписаний в реальну внутрішню поверхню.

Прилеглий профіль поздовжнього перерізу

дві паралельні прямі, що стикаються з реальним профілем осьового (поздовжнього перерізу) циліндричної поверхні і розташовані поза матеріалу деталі так, щоб найбільше відхилення точок реального профілю від відповідної сторони прилеглого профілю поздовжнього перерізу, в межах нормованої ділянки, мало мінімальне значення (рис. 5.3).

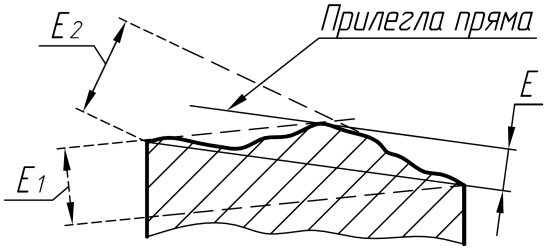


Рис. 5.1 - Прилегла пряма

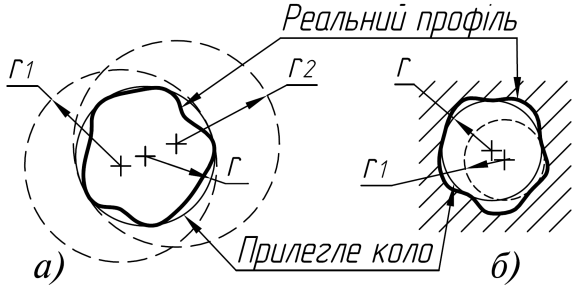


Рис. 5.2 - Прилегле коло:
а – зовнішньої поверхні обертання;
б – внутрішньої поверхні обертання

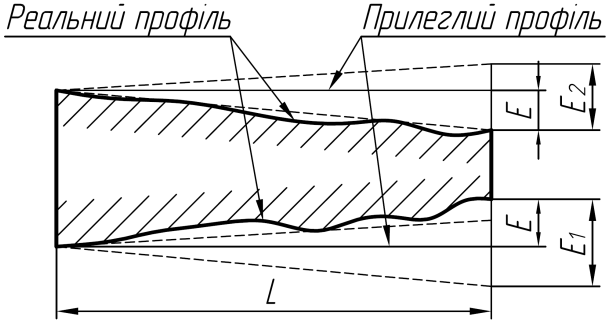


Рис. 5.3 - Прилеглий профіль поздовжнього перерізу

Замість прилеглого елемента для оцінки відхилень форми допускається застосовувати середній елемент.

Середній елемент

поверхня (профіль), що має номінальну форму і такі розміри і (чи) розташування, щоб сума квадратів відстаней між реальним і середнім елементами в межах нормованої ділянки мала мінімальне значення.

Номінальне розташування

розташування елемента (поверхні чи профілю), яке визначається номінальними лінійними та кутовими розмірами між ним і базами або між розглядуваними елементами, якщо бази не задані.

Реальне розташування

розташування елемента (поверхні чи профілю), яке визначається дійсними лінійними та кутовими розмірами між ним і базами або між розглядуваними елементами, якщо бази не задані.

База

елемент деталі або сполучення елементів, що виконує ту ж функцію, по відношенню до якого задається допуск розташування чи сумарний допуск форми та розташування, а також визначається відповідне відхилення розглядуваного елемента.

5.1.1 Відхилення та допуски форми поверхонь

Відхилення форми *EF*

відхилення форми реального елемента від номінальної форми, оцінюване найбільшою відстанню від точок реального елемента по нормалі до прилеглого елемента.

Нерівності, які відносяться до шорсткості поверхні, у відхилення форми не включаються.

Відхилення форми нормуються допусками форми.

Допуск форми *TF*

найбільше допустиме значення відхилення форми.

Поле допуску форми

зона в просторі чи на площині, всередині якої мають міститися усі точки реального розглядуваного елемента в межах нормованої ділянки, ширина або діаметр, якої визначається значенням допуску, а розташування відносно реального елемента – прилеглим елементом.

Відхилення форми можуть бути комплексними або окремими. Комплексні відхилення форми складаються із декількох окремих відхилень. На кресленнях числові значення допусків комплексних відхилень задаються умовним позначенням, а числові

значення допусків окремих відхилень задаються записом в технічних вимогах. Наприклад: «Опуклість поверхні А не більше 0,006 мм».

Види відхилень та допусків форми

Види відхилень і допусків форми та знаки, за допомогою яких ці допуски задаються на кресленнях, наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Знаки для позначення допусків форми на кресленнях (ДСТУ ГОСТ 2.308)

Вид відхилення та допуску форми			Знак позначення допуску форми
Відхилення та допуск прямолінійності	*EFL*	*TFL*	
Відхилення та допуск циліндричності	*EFZ*	*TFZ*	
Відхилення та допуск круглості	*EFK*	*TFK*	
Відхилення та допуск профілю поздовжнього перерізу	*EFP*	*TFP*	
Відхилення та допуск площинності	*EFE*	*TFE*	

Відхилення від прямолінійності в площині *EFL*

найбільша відстань від точок реального профілю до прилеглої прямої в межах нормованої ділянки (рис. 5.4).

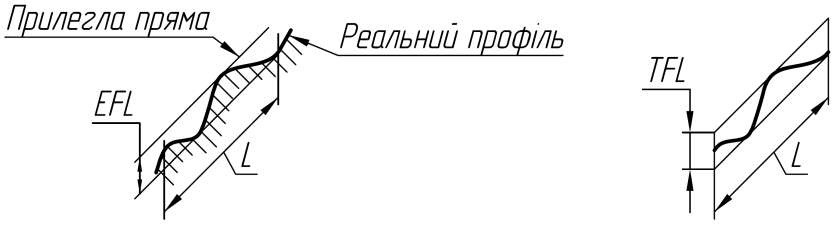


Рис. 5.4 - Відхилення (EFL) та допуск (TFL) прямолінійності в площині

Відхилення від прямолінійності осі в просторі *EFL*

найменше значення діаметра циліндра, всередині якого розташована реальна вісь поверхні обертання в межах нормованої ділянки (рис. 5.5)

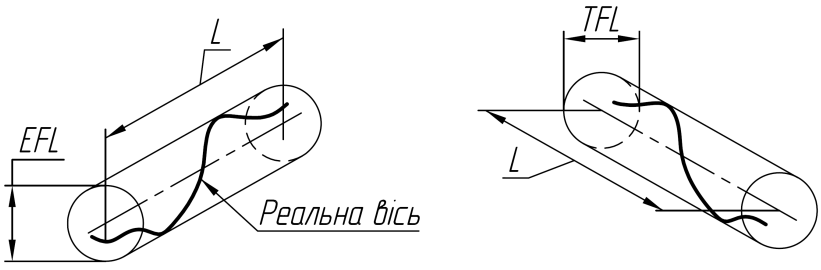


Рис. 5.5 - Відхилення (EFL) та допуск (TFL) прямолінійності осі в просторі

Комплексним відхиленням форми циліндричних поверхонь у поперечному перерізі є відхилення від круглості.

Відхилення від круглості *EFK*

найбільша відстань від точок реального профілю до прилеглого кола (рис. 5.6, а):

$$EFK = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \qquad (5.1)$$

де $d_{\max}$, $d_{\min}$ - найбільший і найменший діаметри, виміряні у поперечному перерізі циліндричної поверхні.

Поле допуску круглості

зона на площині перпендикулярній до осі поверхні обертання або такій, що проходить через центр сфери, обмежена двома концентричними колами, віддаленими одне від одного на відстань, що дорівнює допуску круглості *TFK* (рис. 5.6, а).

Окремими видами відхилення від круглості є овальність та огранювання.

Овальність

це відхилення від круглості, за якого реальний профіль циліндричної поверхні у поперечному перерізі є овалоподібною фігурою, найбільший і найменший діаметри якої мають взаємоперпендикулярні напрямки (рис. 5.6,б).

Огранювання

це відхилення від круглості, за якого реальний профіль циліндричної поверхні у поперечному перерізі є багатогранною фігурою (рис. 5.6,в).

Огранювання може бути з парною і непарною кількістю граней.

Кількісно овальність та огранювання визначаються так, як і відхилення від круглості.

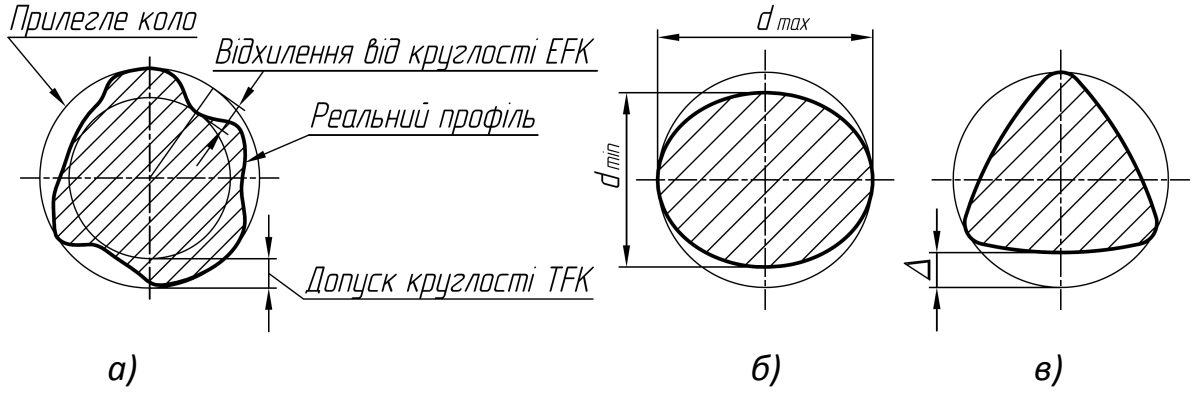


Рис. 5.6 - Відхилення форми циліндричних поверхонь у поперечному перерізі:
а – відхилення (*EFK*) та допуск (*TFK*) від круглості; б – овальність; в – огранювання

Комплексним відхиленням форми циліндричних поверхонь у поздовжньому перерізі *є відхилення профілю поздовжнього перерізу****.***

Відхилення профілю поздовжнього перерізу *EFP*

найбільша відстань від точок твірних реальної поверхні, що лежать в площині, яка проходить через її вісь, до відповідної сторони прилеглого профілю в межах нормованої ділянки (рис. 5.7, а):

$$EFP = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \tag{5.2}$$

де $d_{\max}$, $d_{\min}$ - найбільший і найменший діаметри, виміряні у поперечному перерізі циліндричної поверхні.

Поле допуску профілю поздовжнього перерізу

зона на площині, що проходить через вісь циліндричної поверхні, обмежена двома парами паралельних прямих, що мають спільну вісь симетрії і віддалені одна від одної на відстань, що дорівнює допуску профілю поздовжнього перерізу *TFP* (рис. 5.7,а).

Окремими видами відхилення профілю поздовжнього перерізу є конусоподібність, бочкоподібність та сідлоподібність.

Конусоподібність

відхилення профілю поздовжнього перерізу, за якого твірні прямолінійні, але непаралельні (рис. 5.7,б).

Бочкоподібність

відхилення профілю поздовжнього перерізу, за якого твірні непрямолінійні і діаметри збільшуються від країв до середини поздовжнього перерізу (рис. 5.7,в).

Сідлоподібність

відхилення профілю поздовжнього перерізу, за якого твірні непрямолінійні і діаметри зменшуються від країв до середини поздовжнього перерізу (рис. 5.7,г).

Кількісно конусоподібність, бочкоподібність та сідлоподібність визначаються так, як і відхилення профілю поздовжнього перерізу.

Комплексним відхиленням форми циліндричних поверхонь є відхилення від циліндричності.

Відхилення від циліндричності *EFZ*

найбільша відстань від точок реальної поверхні до прилеглого циліндра в межах нормованої ділянки (рис. 5.8).

Поле допуску циліндричності

зона в просторі, обмежена двома співвісними циліндрами, віддаленими один від одного на відстань, що дорівнює допуску циліндрично-

сті *TFZ* (рис. 5.8).

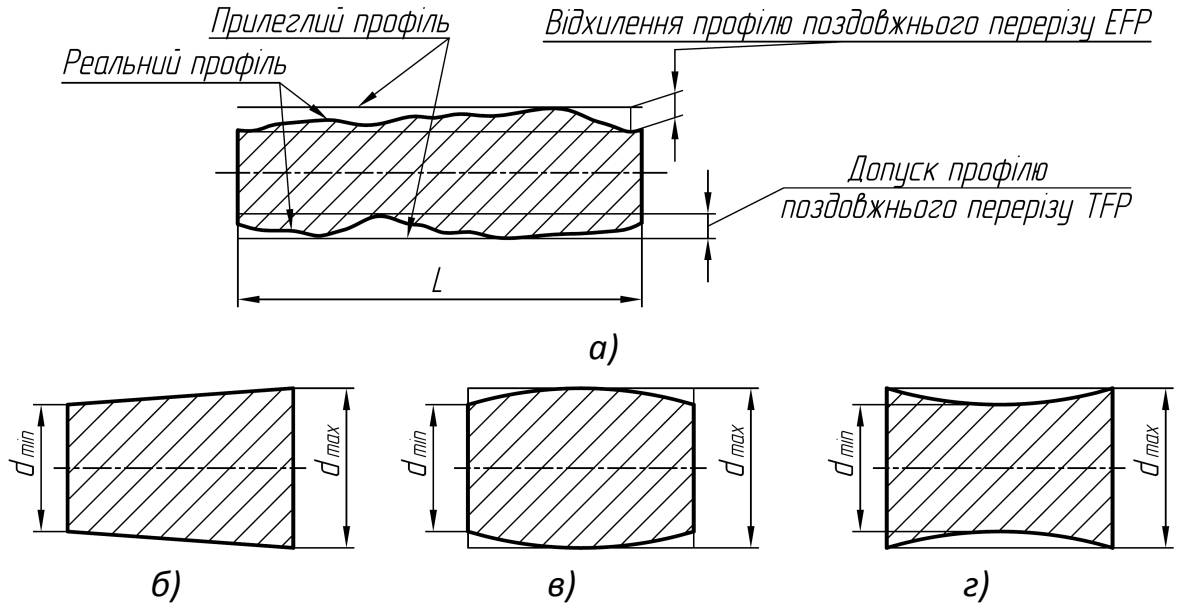


Рис. 5.7 - Відхилення форми циліндричних поверхонь у поздовжньому перерізі:
а – відхилення (*EFP*) та допуск (*TFP*) профілю поздовжнього перерізу;
б – конусоподібність; в – бочкоподібність; г – сідлоподібність

Окремими видами відхилення від циліндричності є відхилення від круглості та відхилення профілю поздовжнього перерізу.

Під час визначення відхилень форми циліндричних поверхонь за величину комплексного відхилення приймається найбільше із окремих.

Приклад. Якщо за результатами вимірювання отримали: овальність становить 5 мкм, огранювання 8 мкм. Відповідно, за величину відхилення від круглості береться більше з цих значень, тобто 8 мкм.

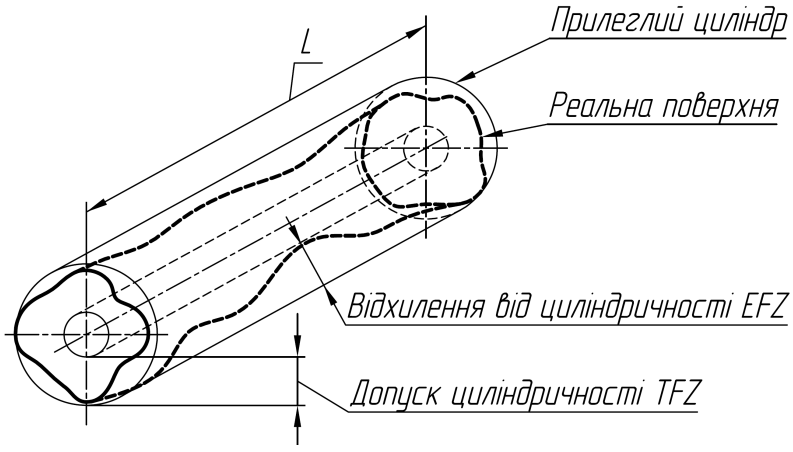


Рис. 5.8 - Відхилення (EFZ) та допуск (TFZ) циліндричності

Числові значення допусків циліндричності, круглості, профілю поздовжнього перерізу наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Допуски циліндричності, круглості, профілю поздовжнього перерізу (ГОСТ 24643)

Інтервал номінальних розмірів, мм	Ступені точності															
	1	2	з	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	мкм												мм			
Понад 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
Понад 18 до 30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
Понад 30 до 50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
Понад 50 до 120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
Понад 120 до 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2

Примітка. Під номінальним розміром розуміється номінальний діаметр поверхні.

5.1.2 Відхилення та допуски розташування поверхонь

Відхилення розташування *ЕР*

відхилення реального розташування розглядуваного елемента від його номінального розташування.

Допуск розташування *ТР*

найбільше допустиме значення відхилення розташування.

Поле допуску розташування

зона в просторі чи заданій площині, усередині якої повинен міститися прилеглий елемент або вісь, центр, площина симетрії в межах нормованої ділянки ширина або діаметр якої визначається значенням допуску, а розташування відносно баз – номінальним розташуванням розглядуваного елемента.

Під час оцінювання відхилень розташування відхилення форми розглядуваних елементів і баз виключаються. Реальні поверхні і профілі замінюються прилеглими, а за осі, площини симетрії та центри реальних поверхонь чи профілів приймаються осі, площини симетрії та центри прилеглих елементів.

Види відхилень та допусків розташування поверхонь

Види відхилень і допусків розташування та знаки, за допомогою яких ці допуски задаються на кресленнях, наведено в табл. 5.3.

Позиційне відхилення *ЕРР*

найбільша відстань між реальним розташуванням елемента (його центра, осі або площини симетрії) та його номінальним розташуванням в межах нормованої ділянки (рис. 5.9).

Позиційний допуск *ТРР* може задаватись в діаметральному або радіусному вираженні (∅, *R*):

- допуск в діаметральному вираженні – подвоєне найбільше допустиме значення позиційного відхилення елемента;

– допуск в радіусному вираженні – найбільше допустиме значення позиційного відхилення елемента.

Таблиця 5.3

Знаки для позначення допусків розташування на кресленнях (ДСТУ ГОСТ 2.308:2013)

Вид відхилення та допуску розташування			Знаки позначення допусків розташування
Відхилення та допуск паралельності	*EPA*	*TPA*	//
Відхилення та допуск перпендикулярності	*EPR*	*TPR*	⊥
Відхилення та допуск нахилу	*EPN*	*TPN*	∠
Відхилення та допуск співвісності	*EPC*	*TPC*	◎
Відхилення та допуск симетричності	*EPS*	*TPS*	⌯
Позиційне відхилення та позиційний допуск	*EPP*	*TPP*	⌖
Відхилення та допуск перетину осей	*EPX*	*TPX*	×

Поле позиційного допуску осі (прямої) в площині

– зона в просторі, обмежена циліндром, діаметр якого дорівнює позиційному допуску в діаметральному вираженні *TPP* або подвоєному позиційному допуску в радіусному вираженні *TPP*/2, а вісь співпадає з номінальним розташуванням розглядуваної осі (прямої);

– зона в просторі, обмежена прямокутним паралелепіпедом, сторони перерізу якого дорівнюють позиційним допускам TPP_1 та TPP_2 в діаметральному вираженні або подвоєному позиційному допуску в радіальному вираженні $TPP_1/2$ та $TPP_2/2$ в двох взаємно перпендикулярних напрямках, а бічні грані відповідно є перпендикулярними до площин заданих напрямків.

Поле позиційного допуску площини симетрії чи осі (прямої) в заданому напрямку

зона в просторі, обмежена двома паралельними площинами, віддаленими одна від одної на відстань, що дорівнює позиційному допуску в діаметральному вираженні *TPP* або подвоєному позиційному допуску в радіальному вираженні *TPP*/2, і симетричними відносно номінального розташування розглядуваної площини симетрії чи осі; для позиційних допусків осі в заданому напрямку площини, що обмежують поле допуску, є перпендикулярними до заданого напрямку.

Відхилення від перетину осей *EPX*

найменша відстань між осями, що номінально перетинаються (рис. 5.10)

Допуск перетину осей *TPX* може задаватись в діаметральному або радіусному вираженні (*T*, *T*/2):

– допуск в діаметральному вираженні – подвоєне найбільше допустиме значення відхилення від перетину осей;

– допуск в радіусному вираженні – найбільше допустиме значення відхилення від перетину осей.

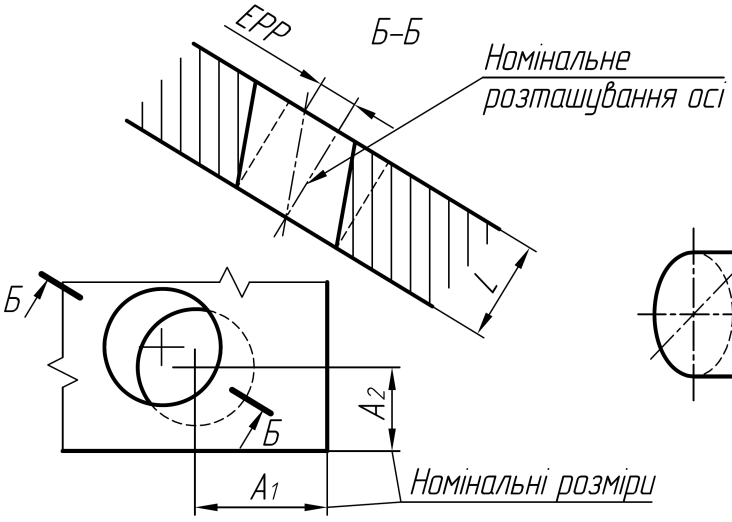


Рис. 5.9 - Позиційне відхилення (EPP)

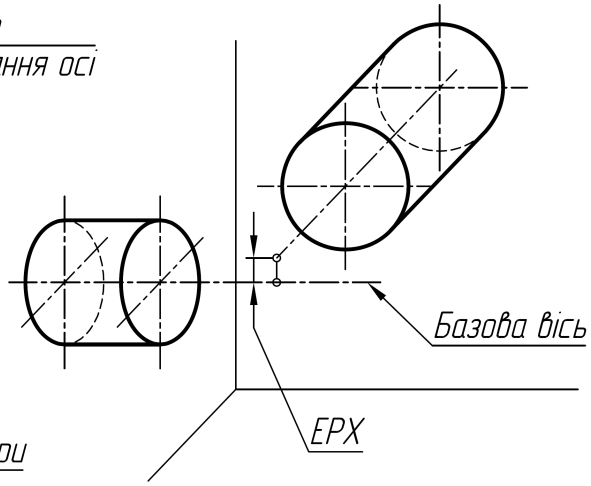


Рис. 5.10 - Відхилення від перетину осей (EPX)

5.1.3 Сумарні відхилення та допуски форми та розташування поверхонь

Сумарним відхиленням форми та розташування

відхилення, що є результатом спільного проявлення відхилень форми та відхилень розташування розглядуваного елемента (поверхні або профілю) відносно заданих баз.

Сумарні відхилення форми та розташування поверхонь нормуються сумарними допусками форми та розташування поверхонь.

Сумарний допуск форми та розташування

границя, що обмежує значення сумарного відхилення форми та розташування.

Поле сумарного допуску форми та розташування

зона в просторі або на заданій поверхні, усередині якої повинні міститися всі точки реальної поверхні (профілю) в межах нормованої ділянки, ширина якої визначається значенням допуску, а розташування відносно баз – номінальним розташуванням розглядуваного елемента.

Це поле має задане номінальне положення відносно баз. Якщо нормована ділянка не задана, то сумарний допуск відноситься до всієї поверхні або відповідно до профілю будь якого перетину.

Види сумарних відхилень і допусків форми та розташування поверхонь

Види сумарних відхилень і допусків форми та розташування та знаки, за допомогою яких ці допуски задаються на кресленнях, наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Знаки для позначення сумарних допусків форми та розташування на кресленнях
(ДСТУ ГОСТ 2.308)

Вид сумарного відхилення та допуску розташування			Знаки позначення сумарних допусків форми та розташування
Радіальне биття	*ECR*	*TCR*	
Торцеве биття	*ECA*	*TCA*	
Биття в заданому напрямку	*ECD*	*TCD*	
Повне радіальне биття	*ECTR*	*TCTR*	
Повне торцеве биття	*ECTA*	*TCTA*	
Відхилення форми заданого профілю	*ECL*	*TCL*	
Відхилення форми заданої поверхні	*ECE*	*TCE*	

Радіальне биття *ECR*

різниця найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною, перпендикулярною до базової осі (рис. 5.11).

Радіальне биття є результатом спільного прояву відхилення від круглості розглядуваного профілю (відхилення форми) та відхилення його центру відносно базової осі (відхилення розташування).

Допуск радіального биття, якщо він не заданий в певному перерізі, повинен витримуватись в будь-якому перерізі поверхні обертання, перпендикулярному до базової осі.

Торцеве биття *ECA*

різниця найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю торцевої поверхні до площини, перпендикулярної до базової осі.

Торцеве биття є результатом спільного прояву відхилення від спільної площини точок, що лежать на лінії перетину торцевої поверхні з січним циліндром, співвісним з віссю деталі (відхилення форми) та відхилення від перпендикулярності торця відносно осі базової поверхні (відхилення розташування) на довжині, що дорівнює діаметру розглядуваного перетину.

Торцеве биття визначається в перерізі торцевої поверхні циліндром заданого діаметра *d*, співвісним з базовою віссю, а якщо діаметр не задано, то в перерізі будь-якого (в тому числі і найбільшого) діаметра торцевої поверхні (рис. 5.12).

Допуск торцевого биття, якщо він не заданий на певному діаметрі, повинен витримуватись на усій торцевій поверхні, перпендикулярній до базової осі.

Биття в заданому напрямку *ECD*

різниця найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю розглядуваної поверхні обертання в перерізі її конусом, вісь якого співпадає з базовою віссю, а твірна має заданий напрямок до вершини цього конуса (рис. 5.13).

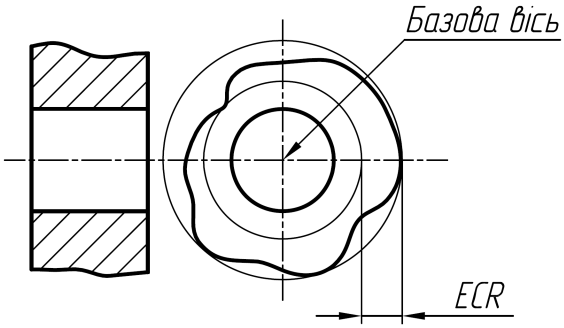


Рис. 5.11 - Радіальне биття (ECR)

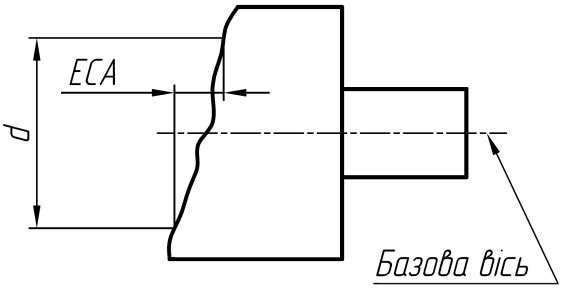


Рис. 5.12 - Торцеве биття (ECA)

Допуск биття в заданому напрямку *TCD*

найбільше допустиме значення биття в заданому напрямку.

Биття в заданому напрямку є результатом спільного прояву відхилення форми профілю розглядуваного перетину та відхилення розташування осі розглядуваної поверхні відносно базової осі.

Повне радіальне биття *ECTR*

різниця найбільшої та найменшої відстаней від усіх точок реальної поверхні, в межах нормованої ділянки до базової осі (рис. 5.14):

$$ECTR = R_{\max} - R_{\min} \tag{5.3}$$

де $R_{\max}$, $R_{\min}$ - найбільший і найменший радіуси з усіх виміряних положень циліндричної поверхні в межах нормованої ділянки.

Повне радіальне биття застосовується тільки до поверхонь з номінальною циліндричною формою і є результатом спільного прояву відхилення від циліндричності розглядуваної поверхні (відхилення форми) та відхилення від співвісності відносно базової осі (відхилення розташування).

Повне торцеве биття *ECTA*

різниця найбільшої та найменшої відстаней від точок всієї торцевої поверхні до площини, перпендикулярної до базової осі (рис. 5.15).

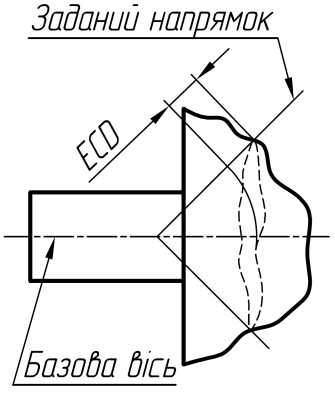


Рис. 5.13 - Биття в заданому напрямку (ECD)

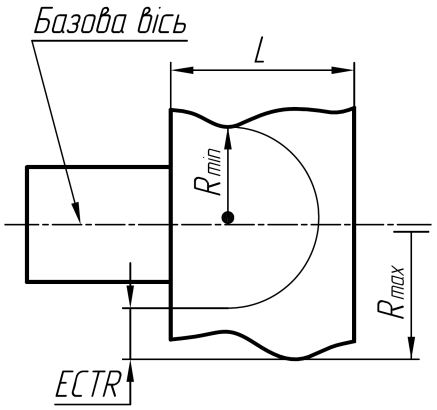


Рис. 5.14 - Повне радіальне биття (ECTR)

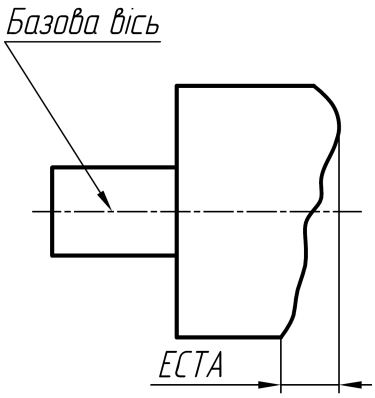


Рис. 5.15 - Повне торцеве биття (ECTA)

Повне торцеве биття є результатом спільного прояву відхилення від площинності розглядуваної поверхні (відхилення форми) та відхилення від перпендикулярності торця відносно осі базової поверхні (відхилення розташування). Таким чином, повне торцеве биття відрізняється від торцевого биття тим, що під час контролю враховується відхилення від площинності всієї торцевої поверхні.

Числові значення допусків радіального та повного радіального биття наведені в табл. 5.5, торцевого та повного торцевого биття – в табл. 5.6.

Таблиця 5.5

Допуски радіального биття та повного радіального биття (ГОСТ 24643)

Інтервал номінальних розмірів, мм	Ступені точності															
	1	2	з	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	мкм												мм			
Понад 10 до 18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	12
Понад 18 до 30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
Понад 30 до 50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
Понад 50 до 120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
Понад 120 до 250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3

Примітка. Під час призначення допуску радіального биття та повного радіального биття за номінальний розмір приймається номінальний діаметр поверхні, що нормується.

Якщо база не вказується, то допуск визначається за елементом з більшим розміром.

Таблиця 5.6

Допуски торцевого биття та повного торцевого биття (ГОСТ 24643)

Інтервал номінальних розмірів, мм	Ступені точності															
	1	2	з	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	мкм												мм			
Понад 10 до 16	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
Понад 16 до 25	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
Понад 25 до 40	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
Понад 40 до 63	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
Понад 63 до 100	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
Понад 100 до 160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
Понад 160 до 250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2

Примітка. Під час призначення допуску торцевого биття за номінальний розмір приймається вказаний номінальний діаметр або номінальний більший діаметр торцевої поверхні.

Під час призначення допуску повного торцевого биття за номінальний розмір приймається номінальний більший діаметр торцевої поверхні, що нормується.

5.1.4 Позначення допусків форми та розташування на кресленнях

Правила позначення допусків форми та розташування поверхонь встановлено в ДСТУ ГОСТ 2.308:2013. Допуски форми та розташування поверхонь задають на кресленнях умовними позначеннями. Якщо відповідне умовне позначення відсутнє, тоді допуски задаються записом в технічних вимогах.

За умовного позначення допуски форми та розташування поверхонь задають в прямокутних рамках, поділених на декілька частин (рис. 5.16,*а*).

– в першій частині – знак допуску;

– в другій – числове значення допуску та, за необхідності, через дріб – розміри нормованої ділянки;
– в третій – літерне позначення баз.

Рамку розташовують у горизонтальному положенні. Перетинати рамку будь-якими лініями не допускається. Рамку з'єднують з контурною або виносною лінією елемента, форму або розташування, якого обмежує даний допуск. На кінці з'єднувальна лінія повинна закінчуватись стрілкою, напрямок якої повинен відповідати напрямку вимірювання відповідного відхилення (як правило, перпендикулярно до нормованої поверхні або профілю) (рис. 5.16,б,в,г). Якщо допуск відноситься до осі або площини симетрії, то з'єднувальна лінія повинна бути продовженням розмірної лінії (рис. 5.16,б). Якщо допуск або база відносяться до поверхні, то з'єднувальна лінія не повинна збігатися з розмірною лінією (рис. 5.16,в).

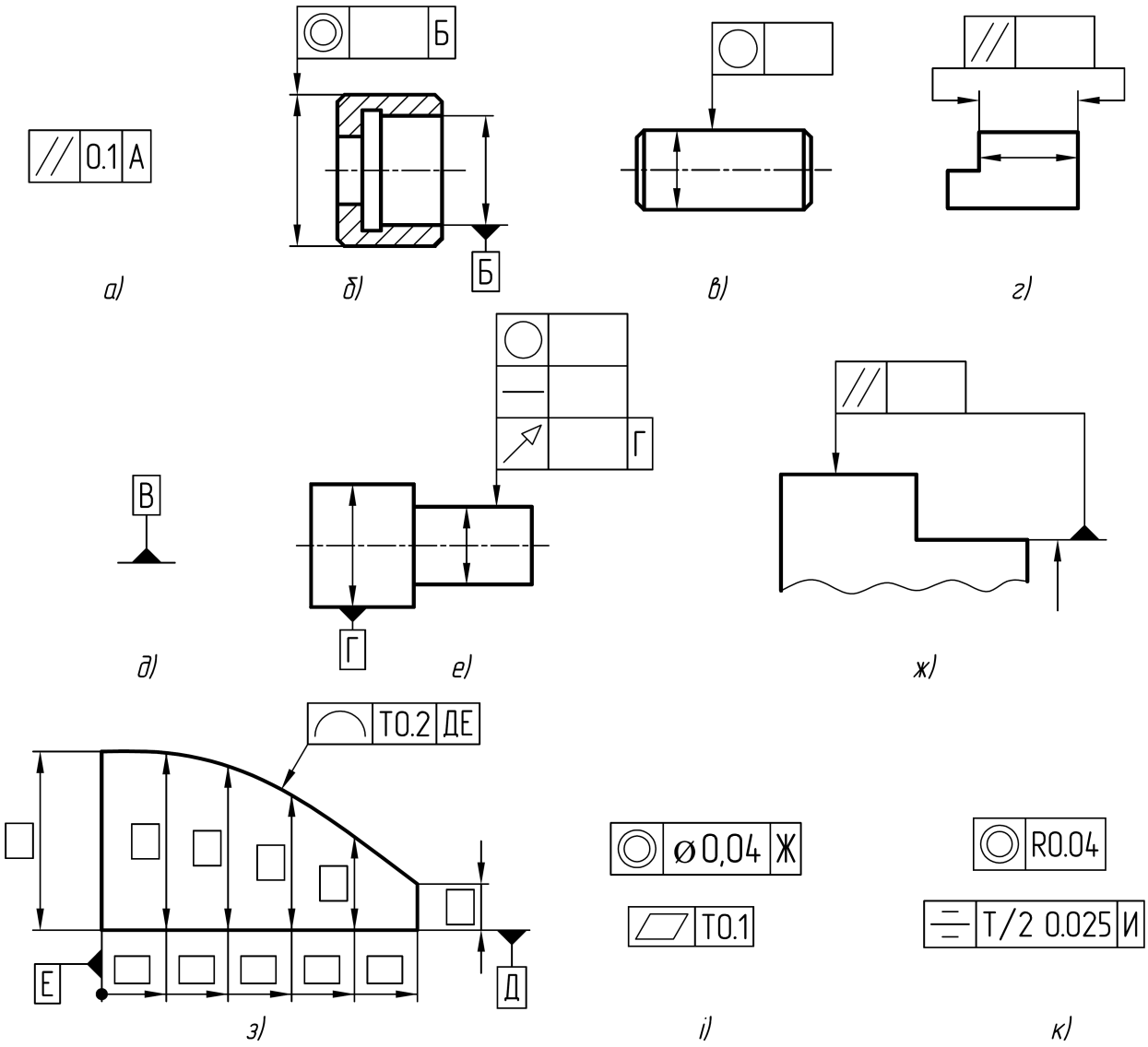


Рис. 5.16 - Умовне позначення допусків форми та розташування поверхонь

Бази позначають зачорненим трикутником, який з'єднують за допомогою з'єднувальної лінії з рамкою з літерним позначенням бази (рис. 5.16,д) або з рамкою

допуску (рис. 5.16,ж). Якщо жодна з поверхонь не виділяється як база, то трикутник замінюється стрілкою (рис. 5.16,г).

Якщо для одного елемента необхідно задати різні види допусків, то рамки допусків можна об'єднувати і розташовувати як на рис. 5.16,е.

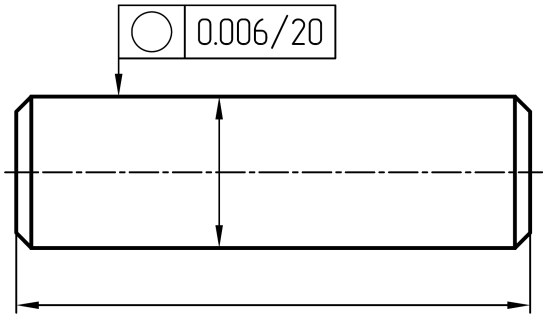
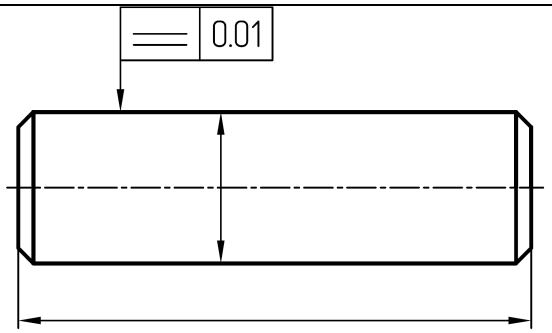
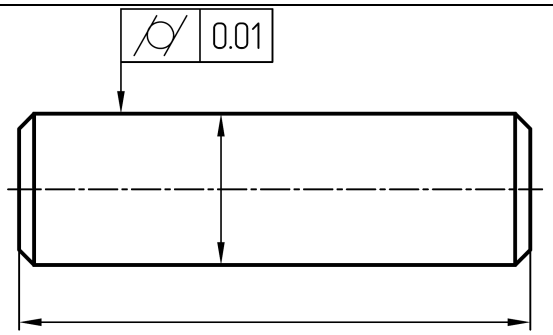
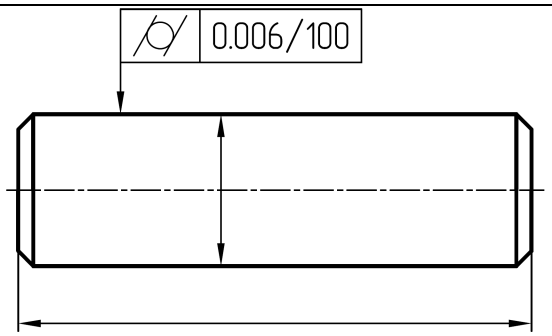
Лінійні і кутові розміри, які визначають номінальне положення елементів, що обмежується допуском розташування, на кресленнях позначають в прямокутних рамках (рис. 5.16,з).

Якщо допуск задається у діаметральному вираженні, то перед числовим значенням допуску ставиться знак ∅ (якщо поле допуску циліндричне або кругове), або знак *Т* (якщо поле допуску обмежено площинами чи прямими) (рис. 5.16,і). Якщо допуск задається у радіусному вираженні, то перед числовим значенням допуску ставиться знак *R* (якщо поле допуску циліндричне або кругове), або знак *Т*/2 (якщо поле допуску обмежено площинами чи прямими) (рис. 5.16,к).

Приклади умовного позначення допусків форми та розташування наведено в табл. 5.7.

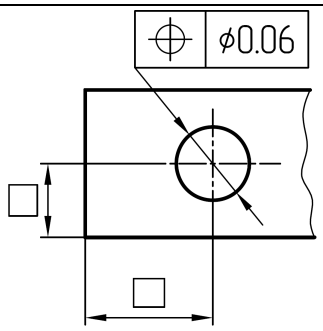
Таблиця 5.7

Приклади умовного позначення допусків форми та розташування

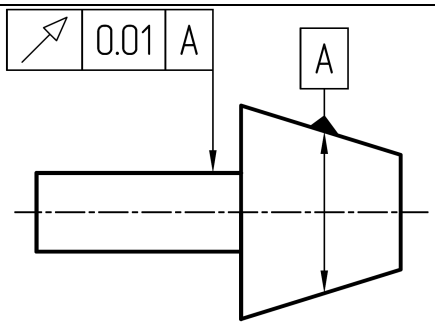
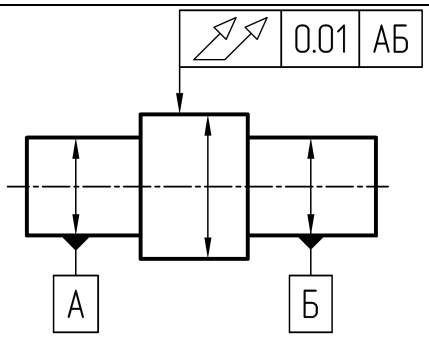
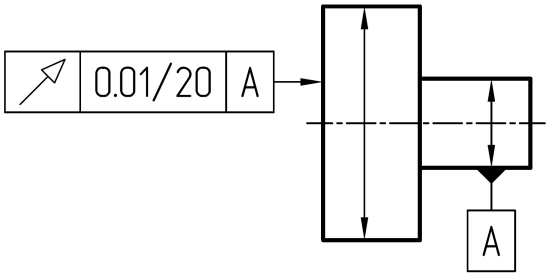
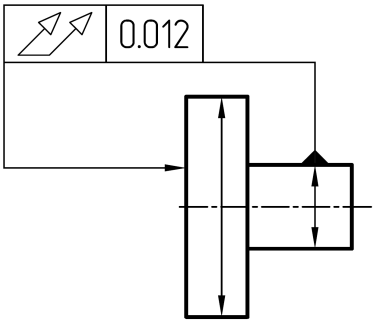
Допуск круглості	**Допуск профілю поздовжнього перерізу**
 Допуск круглості циліндричної поверхні на довжині 20 мм - 0.006 мм.	 Допуск профілю поздовжнього перерізу циліндричної поверхні 0.010 мм.
Допуск циліндричності	
 Допуск циліндричності поверхні 0,010 мм.	 Допуск циліндричності поверхні 0,006 мм на довжині 100 мм.

Продовження таблиці 5.7

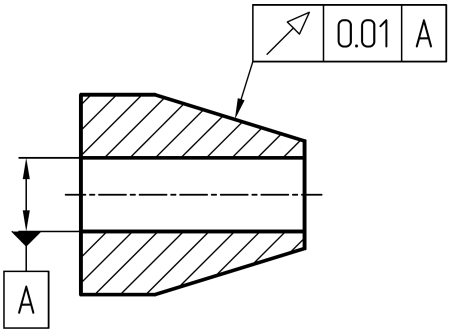
Позиційний допуск



Позиційний допуск осі отвору ∅ 0,06 мм

Радіальне биття	**Повне радіальне биття**
	
Допуск радіального биття циліндричної поверхні відносно осі конуса 0,01 мм.	Допуск повного радіального биття циліндричної поверхні відносно спільної осі двох поверхонь *А* і *Б* 0,01 мм.
Торцеве биття	**Повне торцеве биття**
	
Допуск торцевого биття торця циліндричної поверхні на діаметрі 20 мм відносно осі поверхні *А* 0,01 мм.	Допуск повного торцевого биття торця циліндричної поверхні відносно осі поверхні 0,012 мм.

Биття в заданому напрямку



Допуск биття конічної поверхні відносно осі поверхні *А* 0,01 мм.

Приклад. Позначення позиційного допуску.

На рис. 5.17 номінальне положення осі отвору задається розмірами 35 мм та 25 мм, відповідно, від лівої та нижньої поверхонь деталі. Ці розміри вказуються без відхилень, їх розміщують в прямокутній рамці.

Елементи деталі (поверхні, осі, площини симетрії та ін.), відносно яких задають допуски розташування називають ***базами***. У даному випадку координати отвору задають відносно двох баз:

- база А – це нижня площина деталі,
- база Б – ліва площина деталі (рис. 5.17).

Для отвору на кресленику вказують його розмір та поле допуску ∅30*H9*, а також у спеціальній рамці – його позиційний допуск:

- у першій клітинці вказують умовне позначення допуску (в даному випадку позиційного допуску);
- у наступній клітинці вказують числове значення допуску 0,05 мм та знак діаметра ∅, який вказує, що допуск призначений в діаметральному вираженні;
- в останній клітинці вказують бази А і Б, відносно яких заданий позиційний допуск.

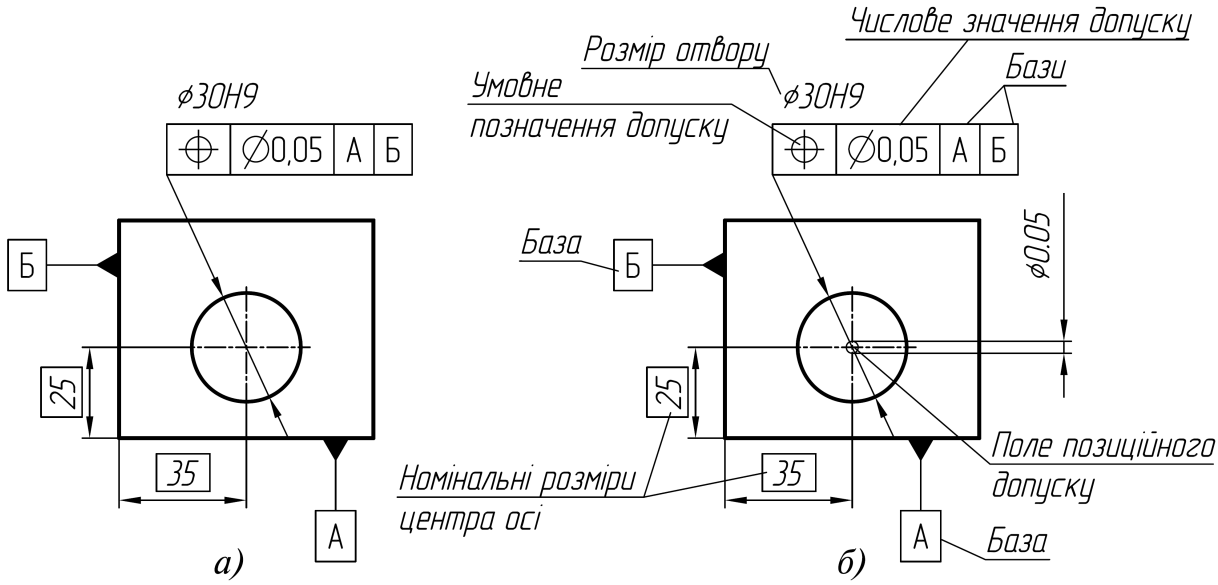


Рис. 5.17 – Позиційний допуск:

а) позначення на кресленнях; б) пояснення елементів позначення допуску

5.2 Лабораторна робота №12. Вимірювання відхилень форми циліндричних поверхонь за допомогою оптиметра

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання комплексних відхилень форми циліндричних поверхонь на вертикальному оптиметрі.

Зміст роботи

За допомогою вертикального оптиметра виміряти відхилення форми циліндричної деталі та встановити якому ступеню точності відповідає виміряна деталь. Накреслити ескіз деталі з позначенням стандартного поля допуску форми.

Технічне забезпечення

1. Набір плоскопаралельних кінцевих мір довжини з атестатом повірки – 1 шт.
2. Вертикальний оптиметр ОВО-1 моделі ИКВ – 1 шт.
3. Набір призм: з кутом 90° – 1 шт., з кутом 60° – 1 шт.
4. Валик циліндричний – 1 шт.

5.2.1 Будова та принцип дії вертикального оптиметра

Вертикальний оптиметр призначено для контактних вимірювань зовнішніх лінійних розмірів **методом порівняння з мірою**.

Вертикальний оптиметр належить до оптико-механічних приладів. У вимірювальному механізмі оптиметрів поєднуються механічний та оптичний важелі. Механічний важіль пов'язує вимірювальний стрижень приладу із поворотним дзеркалом. Оптична система перетворює малі переміщення дзеркала у зручні для відліку переміщення світлового потоку із зображенням показника на шкалі приладу.

Загальний вигляд вертикального оптиметра ОВО-1 моделі ИКВ наведено на рис. 5.18. Вертикальний оптиметр містить автоколімаційну трубку, в якій поєднується коліматор (пристрій, який формує вузький паралельний пучок променів) із зоровою трубою (призначеною для спостереження далеких об'єктів).

Автоколімація – автоматичне повертання світлового пучка, який вийшов із фокусу об'єктива, назад у фокус, якщо за об'єктивом нормально до оптичної осі розташоване плоске дзеркало.

Принципова схема будови вимірювальної трубки вертикального оптиметра ОВО-1 показана на рис. 5.19.

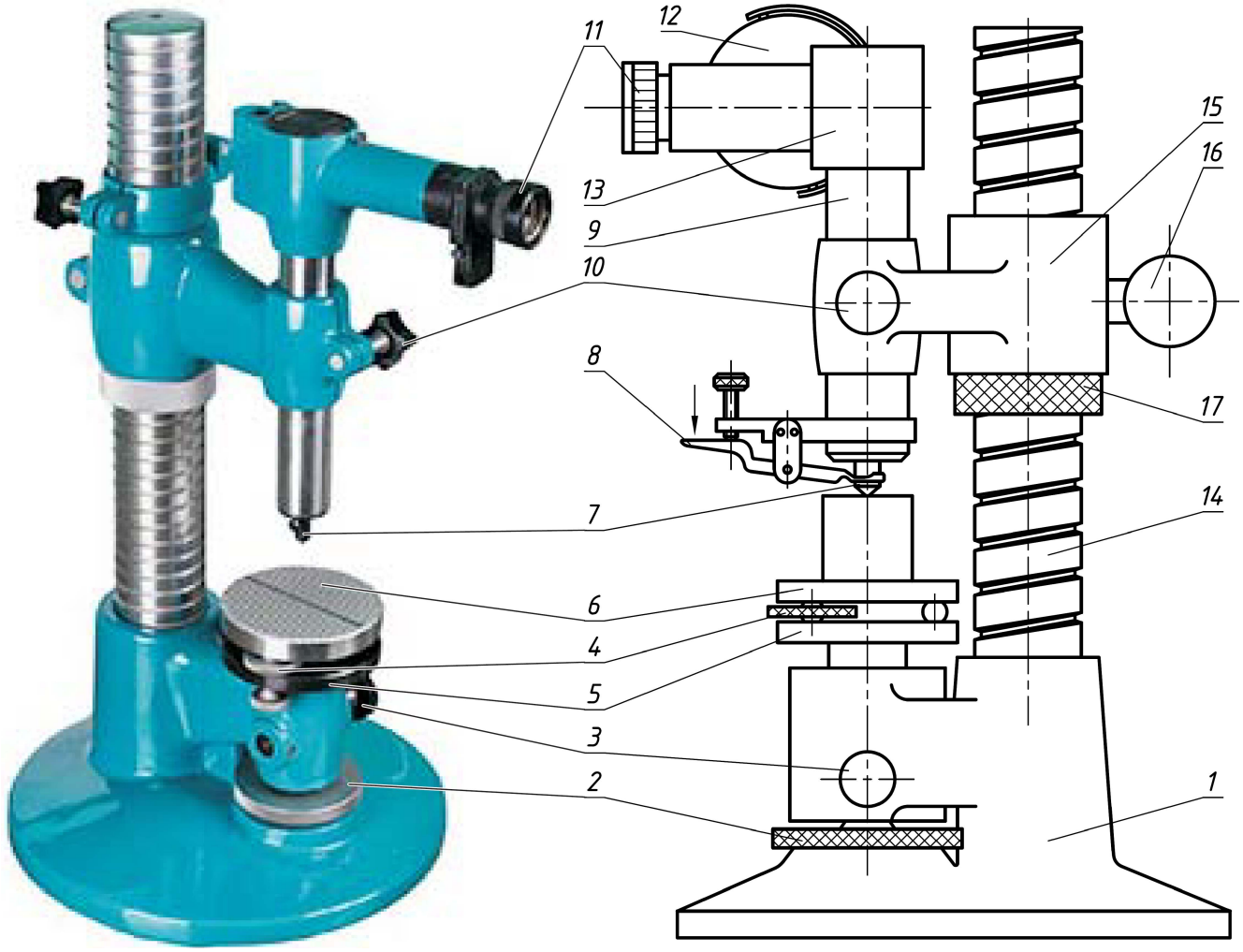
У спільній фокальній площині об'єктива *5* і окуляра *10* (рис. 5.19,а) поміщена прозора пластина *7* із 200 штрихами на одній половині (100 поділок з кожної сторони від нуля, розташованих симетрично) та індексом у вигляді тонкого штриха – на другій (рис. 5.19,б).

Шкалу освітлюють денним світлом або лампою за допомогою дзеркала та призми *8*. Для того, щоб оператор дивився в окуляр прямо перед собою, передбачена допоміжна призма повного відбиття *6*, яка повертає пучок променів на 90°. Пучок променів, вийшовши із об'єктива, відбивається від дзеркала *4*, яке повертається на шарнірі під час переміщення вимірювального стрижня *3* під дією вимірюваного предмета *2*, розташованого на предметному столі *1*.

Поворот дзеркала викликає зміщення нерухомого індексу В (рис. 5.19,б) автоколімаційного відображення Б шкали А, яке створюється об'єктивом *5* у спільній з окуляром *10* фокальній площині (пластина *7*).

Передаточне число автоколімаційної трубки u_{am} може бути визначене за променем, який виходить з центру фокальної площини і проходить після відбиття від дзеркала *4* через центр об'єктива *5* без заломлення (рис. 5.19,в). Кут падіння цього проме-

ня $\alpha_{пад}$ дорівнює куту відбиття $\alpha_{відб}$ і дорівнює, разом з тим, куту повороту $\alpha_{пов}$ дзеркала *4* під дією вимірювального стрижня *3*, що опирається на вимірювальний об'єкт 2.



1 – основа;
2 – гайка переміщення стола;
3 – гвинт фіксації стола;
4 – гвинт установки стола;
5 – основа стола;
6 – предметний стіл;
7 – вимірювальний наконечник;
8 – аретир;
9 – трубка оптиметра;
10 – гвинт кріплення трубки оптиметра;
11 – окуляр;
12 – освітлювальне дзеркало;
13 – корпус трубки;
14 – колонка;
15 – кронштейн;
16 – гвинт фіксації кронштейна;
17 – гайка переміщення кронштейна

Рис. 5.18 – Вертикальний оптиметр ОВО-1 моделі ИКВ

На рис. 5.19,в для простоти Г-подібна трубка розпрямлена шляхом умовного віддалення допоміжної призми *6* (рис. 5.19,а). Зміщення $t_{зм.шк.}$ зображення шкали у фокальній площині об'єктива *5* (рис. 5.19,в), яке відповідає переміщенню $S_{ст}$ вимірювального стержня, дає передаточне число автоколімаційної трубки:

$$u_{ат} = \frac{t_{зм.шк}}{S_{ст}} = \frac{f \cdot tg2\alpha_{пов}}{a \cdot tg\alpha_{пов}} \approx \frac{2 \cdot f}{a} = 80$$

де f - фокусна відстань (200 мм);
a - плече качання дзеркала *4* (5 мм).

Збільшення окуляра $u_{ок}$ = 12 та оптиметра $u_{опт}$ = 80 · 12 = 960.

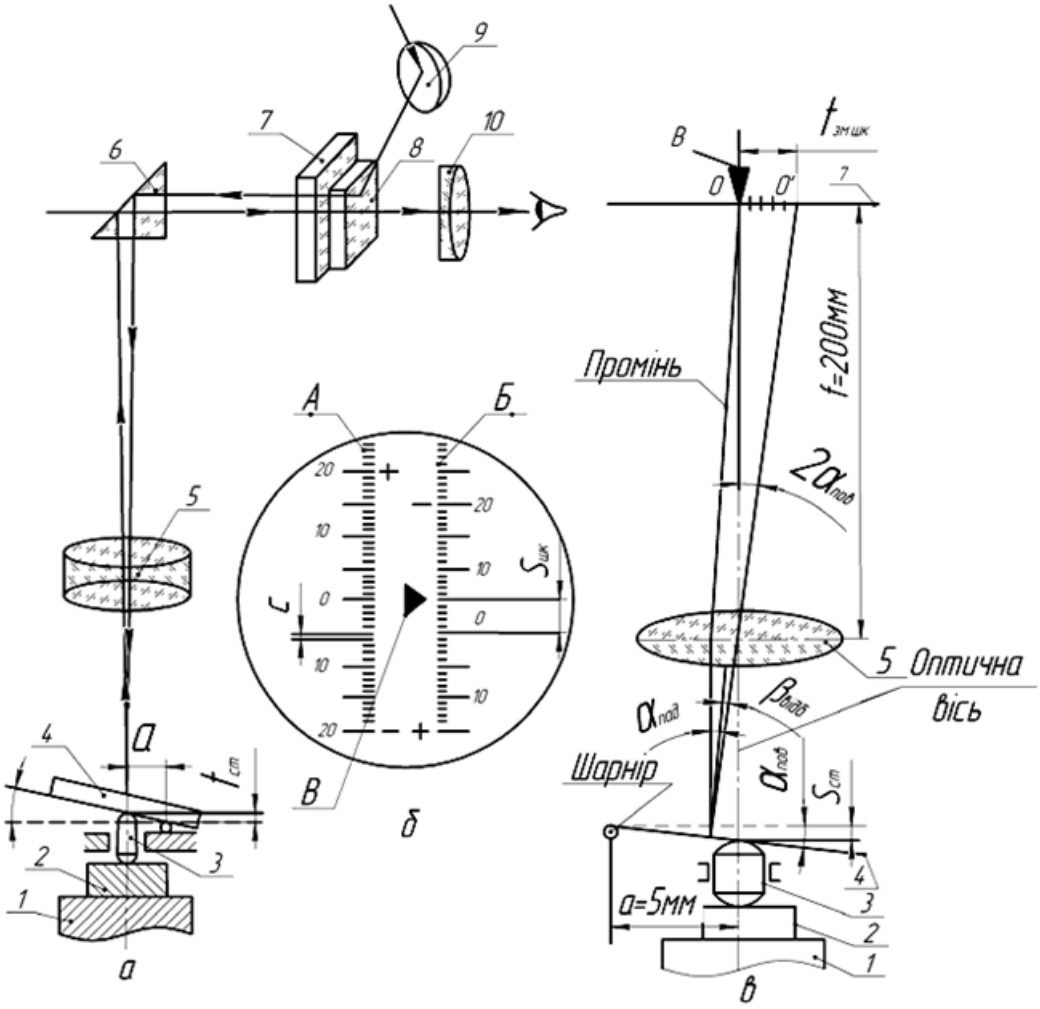


Рис. 5.19 – Принципова схема вимірювальної трубки вертикального оптиметра ОВО-1: а) оптична схема вимірювальної трубки;
б) поле зору окуляру : с – поділка шкали; *Sшк* – зміщення шкали в окулярі;
в) визначення передаточного числа автоколімаційної трубки

Метрологічні характеристики вертикального оптиметра ОВО–1 моделі ИКВ наведено в табл. 5.8.

Таблиця 5.8

Метрологічні характеристики вертикального оптиметра ОВО–1 моделі ИКВ

№	Параметр	Значення
1	Діапазон вимірювання: довжини (висоти) діаметра по шкалі	 0 - 180 мм 0 - 150 мм ±0,1мм
2	Ціна поділки шкали	0,001 мм
3	Похибка приладу в інтервалах: від 0 до ±60 мм від 0 до ±100 мм	 ±0,0002 мм ±0,0003 мм
4	Вимірювальне зусилля	не більше 1,5 Н

Налаштування вертикального оптиметра

Перед вимірюванням прилад необхідно налаштувати на нуль за блоком плоскопаралельних кінцевих мір довжини, розмір якого визначається відповідно до розміру вимірюваної деталі.

Визначення розміру блоку мір. Відповідно до розміру, враховуючи поле допуску, вимірюваної циліндричної вимірюваної деталі встановлюються граничні відхилення деталі:

- *es* – верхнє відхилення;
- *ei* – нижнє відхилення.

Розмір блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини *L* приймають з наступних міркувань:

- якщо верхнє *es* та нижнє *ei* відхилення вала знаходяться у межах діапазону показів шкали приладу:

$$L = d \tag{5.4}$$

- якщо верхнє *es* та/або нижнє *ei* відхилення вала виходять за межі діапазону показів шкали приладу:

$$L = d + \frac{es + ei}{2} \tag{5.5}$$

Розмір блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини *L* приймається з округленням до сотих часток міліметра.

Відповідно до п. 2.2.2 підбираються плоскопаралельні кінцеві міри довжини та складається блок плоскопаралельних кінцевих мір довжини *L*.

Приклад. Визначити розмір блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини для налаштування вертикального оптиметра, якщо розмір вала за кресленіком: ∅120*d*8.

1. Визначаємо граничні розміри вала ∅120*d8*:
   - Номінальний розмір $d = 120$ мм
   - Граничні відхилення:
     основне відхилення (табл. 2.4) - верхнє : $es = -120$ мкм;
     допуск для 8 квалітету (табл. 2.2): $IT = 54$ мкм;
     нижнє відхилення $ei = es - IT = -120 - 54 = -174$ мкм;

2. Оскільки верхнє $es = -120$ мкм та нижнє $ei = -174$ мкм відхилення вала виходять за межі діапазону показів шкали приладу ±100 мкм (табл. 5.8), відповідно розмір блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини *L* визначатиметься за залежністю (5.5):

$$L = 120 + \frac{(-0{,}120) + (-0{,}174)}{2} = 119{,}853 \text{ мм}$$

Розмір блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини *L* приймаємо з округленням до сотих часток міліметра, відповідно він становитиме $L = 119{,}85$ мм.

3. Підбираємо плоскопаралельні кінцеві міри довжини для блока (п. 2.2.2):

Розмір блоку	119,85
міра 1	1,05
залишок	118,8
міра 2	1,8
залишок	117
міра 3	7
залишок	110
міра 4	10
міра 5	100

Налаштування на нуль вертикального оптиметра здійснюється наступним чином. Відпустивши гвинт фіксації стола *3*, обертанням гайки переміщення стола *2* (рис. 5.18) предметний стіл *6* переводиться у нижнє положення. На предметний стіл *6* встановлюється блок плоскопаралельних кінцевих мір довжини та притирається до поверхні стола. Гвинт фіксації кронштейна *16* відпускається та обертанням гайки переміщення кронштейна *17* кронштейн *15*, разом з трубкою оптиметра *9*, плавно опускається до тих пір, поки вимірювальний наконечник *7* доторкнеться до поверхні кінцевої міри. Момент дотику буде помітним за рухом зображення шкали під час спостереження в окуляр *11*.

Увага!
Опускати трубку оптиметра слід плавно, не допускаючи удару вимірювального наконечника об поверхню міри або деталі.

Плавним обертанням гайки переміщення кронштейна *17* нульове значення шкали встановити напроти індексу або трохи нижче. Зафіксувати положення кронштейна *15*, разом з трубкою оптиметра *9*, за допомогою гвинта фіксації кронштейна *16*.

Остаточна установка приладу на нуль здійснюється обертанням гайки переміщення стола *2* до тих пір, поки напроти індексу встановиться нульовий штрих. В цьому положенні стіл закріплюється гвинтом фіксації стола *3*.

Перевірка правильності установки приладу на нуль виконується за допомогою аретира *8* – плавним натисканням 2-3 рази на аретир *8* піднімають та опускають вимірювальний наконечник 7. Якщо після аретирування зображення шкали не буде повертатись у початкове положення, необхідно відпустити гвинт фіксації стола *2* і повторити установку приладу на нуль.

Після остаточної установки приладу «на нуль», за допомогою аретира *8* піднімається вимірювальний наконечник *7*, прибирається блок кінцевих мір та встановлюється вимірювана деталь.

Покази шкали під час вимірювання деталі будуть відповідати відхиленням розміру деталі від розміру блоку кінцевих мір. Після закінчення вимірювання перевіряється установка приладу на нуль за тим самим блоком кінцевих мір довжини. Відхилення не повинно перевищувати одну поділку шкали.

5.2.2 Вимірювання відхилень форми циліндричних деталей

Вимірювання овальності та відхилення профілю поздовжнього перерізу. Схема вимірювання овальності та відхилення профілю поздовжнього перерізу наведена на рис. 5.20. Деталь вимірюють у трьох перерізах (*1, 2, 3*), рівномірно розташованих уздовж вала, та у двох взаємоперпендикулярних напрямках – поздовжніх перерізах - *I-I* та *II-II*.

Олівцем на поверхні деталі проводять пряму – твірну циліндра. Деталь встановлюють на предметний стіл 6 оптиметра таким чином, щоб під вимірювальним наконечником *7* (рис. 5.18) була відмічена твірна. Для запобігання хибним вимірюванням, деталь під час вимірювання слід притиснути до стола і злегка перекочуючи під вимірювальним наконечником, слідкувати в окуляр за показом шкали.

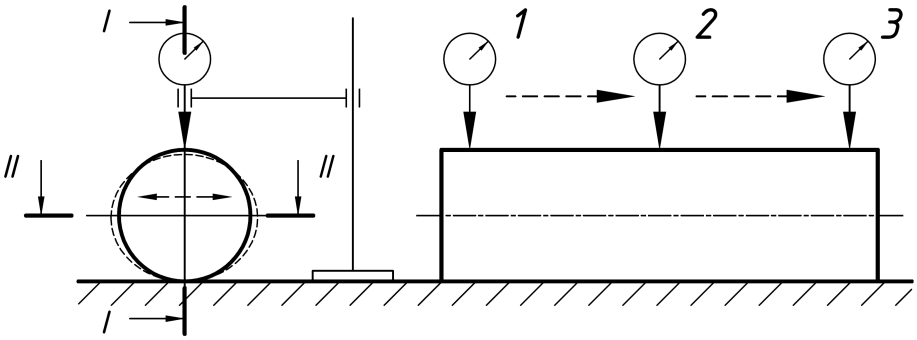


Рис. 5.20 – Схема вимірювання овальності та відхилення профілю поздовжнього перерізу

Спочатку деталь вимірюють в трьох перерізах (*1, 2, 3*) уздовж твірної, потім деталь повертають навколо своєї осі на 90° та знову вимірюють у трьох перерізах (*1, 2, 3*). Покази заносять в протокол вимірювань (табл. 5.9).

Таблиця 5.9

Протокол вимірювання овальності та відхилення профілю поздовжнього перерізу

Напрям вимірювання	Покази приладу, мкм			Відхилення профілю поздовжнього перерізу *EFP*, мкм
	Перерізи			
	1	***2***	***3***	
I-I				
II-II				
Овальність, *EFK*ов., мкм				форма профілю*
* конусоподібність / бочкоподібність / сідлоподібність / загальний випадок				

Овальність визначається в кожному з трьох поперечних перерізів (*1,2,3)* відповідно до рис. 5.20, 5.21,а та визначається:

$$EFK_{ов} = \frac{h}{2}$$

де h - різниця найбільшого та найменшого показів приладу (з урахуванням знаків) в кожному поперечному перерізі.

Результати розрахунків заносять в протокол вимірювань (табл. 5.9).

Відхилення профілю поздовжнього перерізу визначається у двох поздовжніх перерізах - *I-I* та *II-II* відповідно до рис. 5.20, 5.21,б та визначається:

$$EFP = \frac{h}{2}$$

де h - різниця найбільшого та найменшого показів приладу (з урахуванням знаків) в кожному поздовжньому перерізі - *I-I* та *II-II*.

Результати розрахунків заносять в протокол вимірювань (табл. 5.9).

За показами приладу у поздовжніх перерізах *I-I* та *II-II* встановлюється, якому окремому виду відхилення відповідає відхилення профілю поздовжнього перерізу вала: конусоподібності, бочкоподібності чи сідлоподібності.

Відповідний вид окремого відхилення відмічається (підкреслюється) в протоколі вимірювань (табл. 5.9).

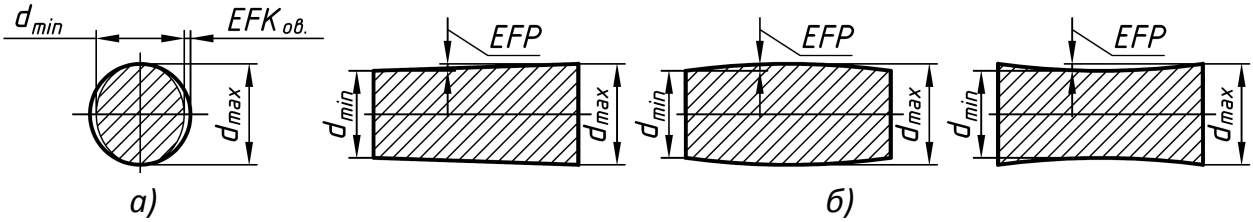


Рис. 5.21 – Схема розрахунку:

а) овальності; б) відхилення профілю поздовжнього перерізу

Вимірювання огранювання. Огранювання, як було зазначено вище (п. 5.1.1), може бути з парною і непарною кількістю граней. В лабораторній роботі вимірюється вал, який має огранювання з трьома гранями.

Огранювання з непарною кількістю граней вимірюється у призмі. Схема вимірювання огранювання з непарною кількістю граней показана на рис. 5.22. Вимірюваний вал поміщають у призмі. Призма встановлюється на предметному столі *6* (рис. 5.18) вертикального оптиметра, попередньо піднявши кронштейн *15* з трубкою оптиметра *9* за допомогою гайки переміщення кронштейна *17*. Вал розміщують під вимірювальним наконечником *7* таким чином, щоб наконечник був розташований за бісектрисою кута призми α (рис. 5.22).

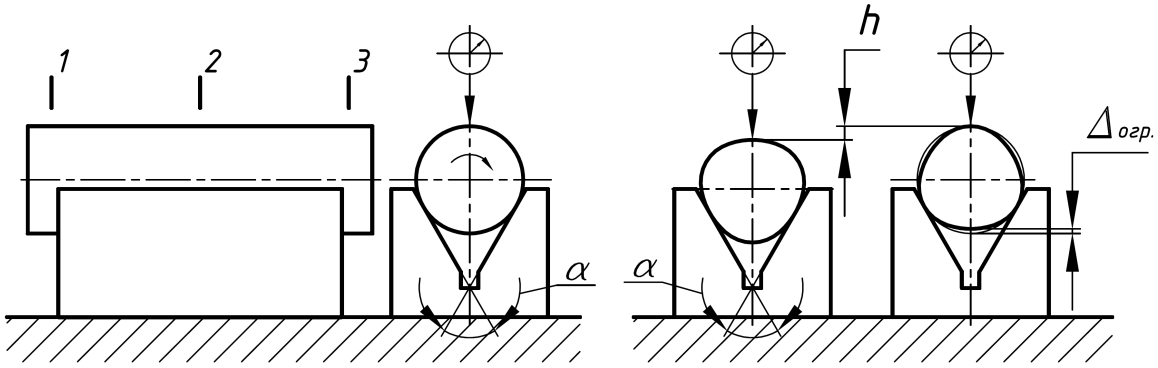


Рис. 5.22 – Схема вимірювання та розрахунку огранювання

Обертанням гайки переміщення кронштейна *17* кронштейн *15* з трубкою оптиметра *9* плавно опускається до тих пір, поки вимірювальний наконечник *7* доторкнеться

до поверхні вала. Момент дотику буде помітним за рухом зображення шкали під час спостереження в окуляр *11*.

Плавним обертанням гайки переміщення кронштейна *17* нульове значення шкали встановити напроти індексу або трохи нижче. Зафіксувати положення кронштейна *15*, разом з трубкою оптиметра *9*, за допомогою гвинта фіксації кронштейна *16*.

Остаточна установка приладу « на нуль» здійснюється обертанням гайки переміщення стола *2* до тих пір, поки напроти індексу встановиться нульовий штрих. В цьому положенні стіл закріплюється гвинтом фіксації стола *3* (рис. 5.18).

Огранювання вимірюють у трьох поперечних перерізах (*1,2,3*), рівномірно розташованих уздовж осі вала (рис. 5.22). Спочатку вал у призмі розміщують під вимірювальним наконечником у першому перерізі. Для запобігання хибним вимірюванням, деталь під час вимірювання слід притиснути до призми, поступово обертаючи її навколо осі на 360°, спостерігаючи в окуляр *11* за рухом шкали. Одночасно з тим необхідно слідкувати, щоб під час обертання, вал не відривався від бічних поверхонь призми. В межах повного оберту валу визначають найбільший та найменший покази за шкалою (з урахуванням знаків), які заносять в протокол вимірювань (табл. 5.10).

Аналогічним чином повторюють дії в інших перерізах.

Таблиця 5.10

Протокол вимірювання огранювання

Кут призми, α, градуси	Покази приладу	Покази приладу, мкм		
		Перерізи		
		1	***2***	***3***
	max			
	min			
Огранювання $EFK_{огр.}$, мкм				

Огранювання визначається в кожному з трьох поперечних перерізів (*1,2,3*) відповідно до рис. 5.22 та визначається:

$$EFK_{огр} = \frac{h}{F_n}$$

де h - різниця найбільшого та найменшого показів приладу (з урахуванням знаків) в кожному поперечному перерізі;

F_n - поправочний коефіцієнт що залежить від кількості граней n та кута призми:

- якщо кількість граней n=3, а кут призми α=60°, то $F_n = 3$;
- якщо кількість граней n=3, а кут призми α=90°, то $F_n = 2$.

Результати розрахунків заносять в протокол вимірювань (табл. 5.10).

5.2.3 Обробка результатів вимірювань

За результатами вимірювань відхилень форми циліндричної поверхні у поперечному та поздовжньому напрямках (табл. 5.9 та 5.10) заповнюють протокол результатів вимірювань (табл. 5.11):

- **найбільше значення овальності** *EFКов* – визначається найбільше з трьох значень овальності *EFКов* з табл. 5.9;
- **найбільше значення огранювання** *EFКогр* – визначається найбільше з трьох значень огранювання *EFКогр* з табл. 5.10;
- **найбільше значення профілю поздовжнього перерізу** *EFP* – визначається найбільше з двох значень відхилень профілю поздовжнього перерізу *EFP* з табл. 5.9.
- **відхилення від круглості** *EFK* визначається як найбільше із найбільших значень овальності *EFКов* та огранювання *EFКогр*.
- **відхилення від циліндричності** *EFZ* визначається як найбільше із значень відхилення від круглості *EFK* та найбільшого відхилення профілю поздовжнього перерізу *EFP*.

Таблиця 5.11

Протокол результатів вимірювань

Найбільше значення овальності $EFK_{ов}$, мкм		Найбільше відхилення профілю поздовжнього перерізу *EFP*, мкм	
Найбільше значення огранювання $EFK_{огр}$, мкм			
Відхилення від круглості *EFK*, мкм		Відхилення від циліндричності *EFZ*, мкм	
Допуск циліндричності за ГОСТ 24643, мкм			
Ступінь точності вала за ГОСТ 24643			

Допуск циліндричності виміряної циліндричної поверхні встановлюють за величиною відхилення від циліндричності *EFZ* та номінальним розміром вимірюваної циліндричної поверхні *d* за табл. 5.2, виходячи з умови, що допуск циліндричності *TFZ* повинен бути більшим за відхилення від циліндричності *EFZ*:

$$TFZ \geq EFZ$$

Ступінь точності вала, який відповідає визначеному допуску циліндричності *TFZ,* встановлюють за табл. 5.2. Результати заносять у протокол результатів вимірювань (табл. 5.11).

Після цього в протоколі виконують ескіз вала, на якому вказують розмір вимірюваної циліндричної поверхні та встановлений допуск циліндричності.

5.2.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо точності форми та розташування циліндричних поверхонь (п. 5.1).
2. Вивчити будову вертикального оптиметра.
3. Для циліндричного валика, виданого викладачем (відомими є номінальний розмір та поле допуску), за табл. 2.4, 2.2 визначити:
   - граничне верхнє відхилення *es*
   - граничне нижнє відхилення *ei*

- розмір блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини *L* (5.5)
- підбирати плоскопаралельні кінцеві міри довжини для блока мір *L*

4. За формулою (5.4) або (5.5) розрахувати розмір блоку плоскопаралельних кінцевих мір довжини *L.*

   За рекомендаціями п. 2.2 підбирати плоскопаралельні кінцеві міри довжини для блока мір *L.*

   Приклад розрахунку див. п. 5.2.1
5. Виміряти відхилення форми циліндричного валика, відповідно до п. 5.2.2, дані занести в протокол вимірювань (табл. 5.9, 5.10).
6. За даними вимірювання обчислити відхилення від циліндричності (п. 5.2.3), дані занести в протокол результатів вимірювань (табл. 5.11).
7. Призначити допуск циліндричності виміряної циліндричної поверхні та ступінь точності вала (п. 5.2.3), занести в протокол результатів вимірювань (табл. 5.11).
8. Побудувати ескіз валу, на якому вказати номінальний розмір вимірюваної циліндричної поверхні та призначений допуск циліндричності.

5.3 Лабораторна робота №13. Вимірювання відхилень форми циліндричних поверхонь за допомогою кругломіра

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання відхилень форми циліндричних поверхонь за допомогою кругломіра.

Зміст роботи

За допомогою кругломіра виміряти відхилення від круглості та відхилення від циліндричності деталі та встановити якому ступеню точності відповідає виміряна деталь. Накреслити ескіз деталі з позначенням стандартного поля допуску форми.

Технічне забезпечення

1. Кругломір з уніфікованою вимірювальною системою моделі «Таліронд» – 1 шт.
2. Валик циліндричний – 1 шт.
3. Приладдя.

5.3.1 Методи вимірювання відхилення від круглості та відхилення від циліндричності за допомогою кругломіра

Загальні вимоги до методів вимірювання відхилень форми та розташування поверхонь встановлено ГОСТ 28187.

Вимірювання та визначення відхилень від круглості здійснюють на довжині нормованої ділянки *L*, заданої в умовному позначенні допуску форми або розташування на кресленику.

Якщо розміри та / або положення нормованої ділянки не задані:

- якщо розміри нормованої ділянки не задані, то допуск або відхилення відноситься до усієї розглядуваної поверхні або довжини розглядуваного елемента;

- якщо положення нормованої ділянки не задано, то вона може займати будь-яке положення в межах усього елемента;
- якщо задано розташування вимірюваного перетину (площини вимірювання), то вимірювання відхилення від круглості виконують у заданому перетині;
- якщо площини вимірювання відхилень від круглості на задані, то їхню кількість *N* рекомендовано визначати відповідно до табл. 5.12:
  - відстань між площинами вимірювання становить l/N,
  - відстань від краю до першої площини вимірювання - $l/2N$,

  l – довжина вимірюваної циліндричної поверхні.

  За відхилення від круглості береться найбільша з величин, виміряних у різних перетинах.

Таблиця 5.12

Рекомендована кількість площин вимірювання відхилення від круглості

Довжина вимірюваної циліндричної поверхні l, мм	Співвідношення довжини та діаметра вимірюваної поверхні l/d	Кількість площин вимірювання N
До 50	до 1	1
	понад 1 до 3	2
	понад 3	3
Понад 50 до 200	до 1	2
	понад 1 до 3	3
	понад 3	4
Понад 200	до 1	3
	понад 1 до 3	4
	понад 3	5

Вимірювання відхилення від циліндричності здійснюється шляхом вимірювання обмеженої кількості окремих точок або профілів (ліній), розташованих на поверхні, що перевіряється.

В лабораторній роботі вимірювання від циліндричності здійснюється ***методом поперечних перетинів***. За цим методом вимірювана поверхня вивіряється на приладі так, щоб її вісь (наприклад, у першому наближенні – пряма, що проходить через центри крайніх поперечних перетинів) була поєднана з віссю обертання приладу або паралельна до неї. Після цього поверхня вимірюється у декількох поперечних перетинах від спільної базової осі, в тому числі на початку і кінці нормованої ділянки (рис. 5.23). Мінімальна кількість поперечних перетинів $N_{min} = 3$.

Вимірювані профілі записують на одній і тій самій полярній діаграмі (лінії *1, 2, 3*) (рис. 5.23,*б*) і на ній проводиться прилегле коло спільне для усіх круглограм (рис. 5.23,*б*). Найбільша відстань від точок круглограм до прилеглого кола є відхиленням від циліндричності *EFZ*.

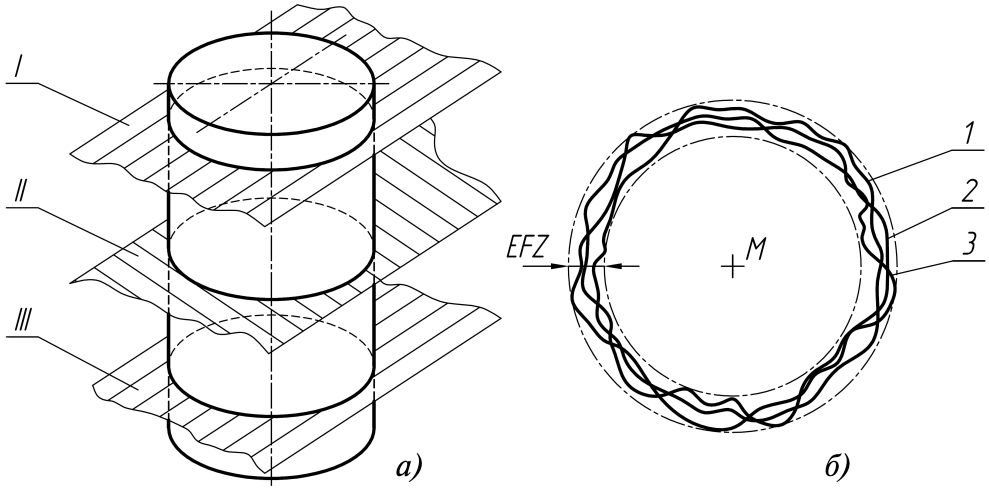


Рис. 5.23 – Вимірювання від циліндричності методом поперечних перетинів:
а) розташування вимірюваних поперечних перетинів;
б) профілографи вимірюваних перетинів; М – центр спільного прилеглого кола

Вимірювання відхилення від круглості та відхилення від циліндричності за допомогою кругломіра здійснюється ***методом вимірювання із застосуванням прецизійного обертання***. Схеми вимірювання наведені на рис. 5.24.

Під час вимірювання реальний профіль порівнюється з траєкторією точного обертання шпинделя приладу (кругломіра). Розрізняють дві схеми кругломірів:

- предметний стіл разом з деталлю обертаються, а вимірювальний перетворювач залишається нерухомим (рис. 5.24,а);
- вимірювальний перетворювач обертається, а предметний стіл приладу та деталь на ньому є нерухомими (рис. 5.24,б).

Перед вимірюванням деталь центрують відносно осі шпинделя приладу. Вимірюється зміна радіусів профілю відносно осі обертання за один оберт. Виміряний профіль реєструється на полярній діаграмі (круглограмі).

Метод вимірювання із застосуванням прецизійного обертання є найбільш точним і дозволяє вимірювати відхилення від круглості відповідно до його стандартного визначення.

Зі збільшенням діаметра та довжини контрольованої поверхні кількість перетинів збільшують відповідно до табл. 5.12 та 5.13.

У лабораторній роботі вимірювання здійснюється кругломіром з предметним столом, що обертається, за нерухомого перетворювача (схема вимірювання - рис. 5.24,а) моделі «Таліронд» (Англія).

Таблиця 5.13

Мінімальна кількість точок на твірній
за дискретного вимірювання відхилення від циліндричності

Довжина нормованої ділянки *L*, мм	до 18	понад 18 до 50	понад 50 до 120	понад 120 до 250	понад 250 до 630	понад 630
Кількість точок вимірювання на твірній *Kmin*	3	5	6	7	9	11

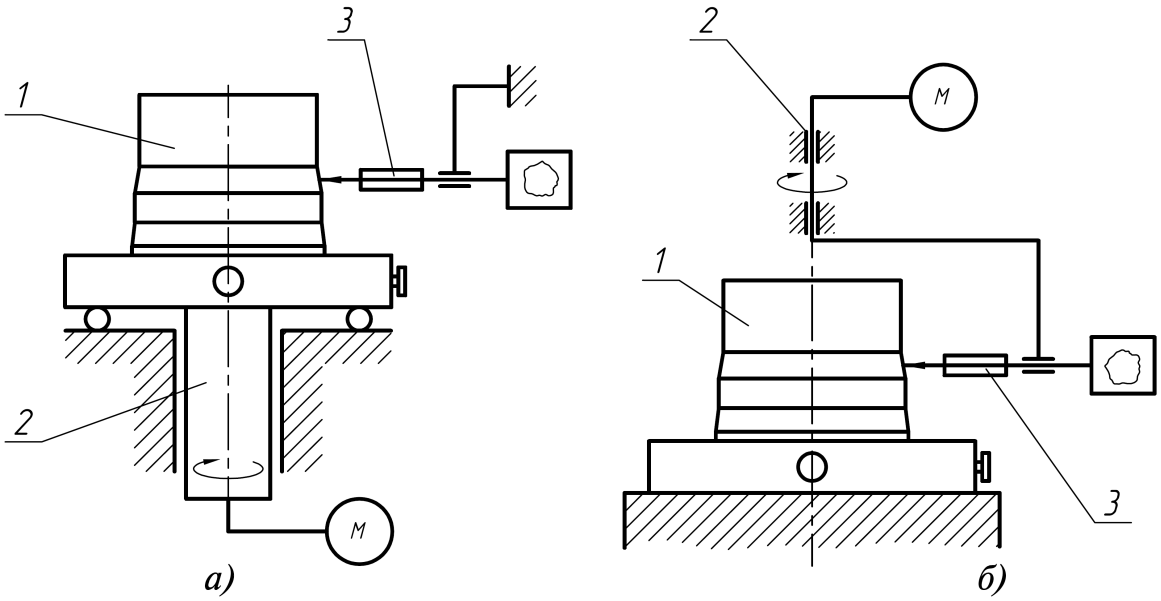


Рис. 5.24 – Схема вимірювання із застосуванням прецизійного обертання:

а) вимірювальний перетворювач нерухомий, деталь обертається;

б) вимірювальний перетворювач обертається, деталь нерухома;

1 – вимірювана деталь; 2 – точний шпиндель; 3 – вимірювальний перетворювач

5.3.2 Будова та принцип дії кругломіра з уніфікованою вимірювальною системою моделі «Таліронд»

Кругломір з уніфікованою вимірювальною системою моделі «Таліронд» призначений для вимірювання відхилень від круглості поверхонь деталей, утворених обертанням, перпендикулярним до їхньої осі, з реєстрацією результатів вимірювання на круглограмі в полярній системі координат. Крім того, на приладі можна визначати також інші відхилення деталей від правильної геометричної форми: відхилення від співвісності діаметрів в одній або декількох паралельних площинах; відхилення від паралельності поверхонь; відхилення від перпендикулярності буртиків відносно осі; відхилення від площинності поверхні, що визначається по колу; відхилення від прямолінійності твірних циліндричної поверхні. Загальний вигляд приладу «Таліронд» показано на рис. 5.25.

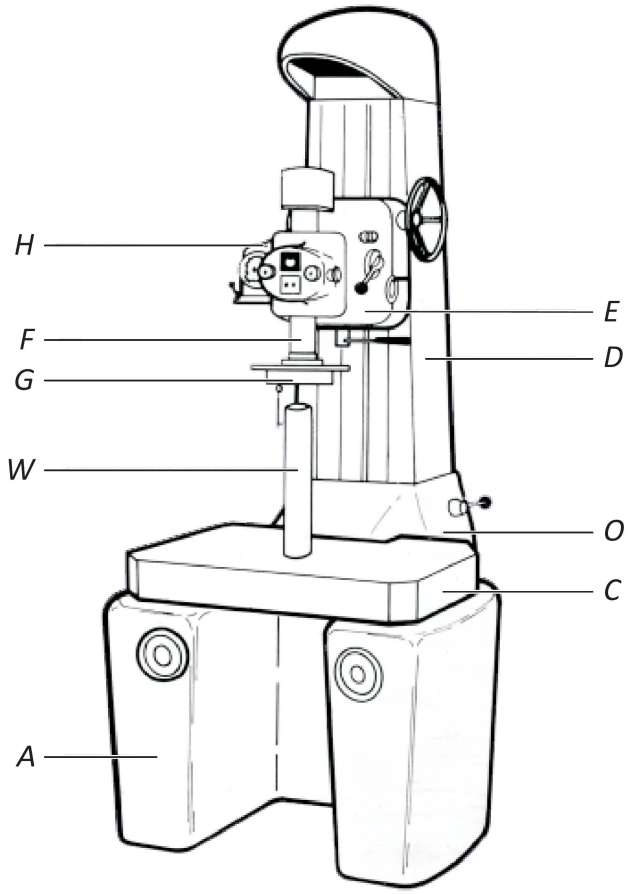
Принцип дії кругло міра «Таліронд»

На основі *A* встановлений стіл *C*. Вимірювана деталь *W* встановлюється на столі або пропускається через отвір в столі. Вісь деталі повинна бути вертикальною. Установка стола забезпечує перпендикулярність його поверхні до осі обертання шпинделя. Відхилення від круглості деталі, встановленої на столі, визначається в поперечному перерізі, паралельному торцю, на якому деталь стоїть. В процесі вимірювання деталь залишається нерухомою.

Над деталлю знаходиться прецизійний шпиндель, вертикально встановлений в головній частині *E* приладу. Головна частина приладу переміщається у вертикальному напрямку по колонні *D*. Передбачено пристрої для перевірки співвісності шпинделя та вимірюваної деталі.

На нижньому торці шпинделя розташовано електричний датчик *G* (у подальшому датчик), який може переміщатись у радіальному напрямку так, що його щуп можна підвести до поверхні деталі.

Шпиндель *F* повільно обертається від мотора, встановленого в головній частині приладу, щуп датчика *G* переміщається відповідно до зміни радіуса деталі.



A – станина
C – стіл
D – колона
E – головна частина
F – шпиндель
G – датчик
H – самописець
J – блок живлення та фільтрів
K – посилювач
M – пристрій для перевірки торцевого биття
N – пристрій для перевірки переривчастих поверхонь
O – поворотна основа

Рис. 5.25 – Загальний вигляд приладу «Таліронд»

Датчик через посилювач з'єднаний з центрувальним пристроєм, а також із самописцем *H*, перо якого переміщається відносно паперового диска, здійснюючи запис. Паперовий диск обертається синхронно із шпинделем.

Під час контролю круглості деталь спочатку центрується відносно осі шпинделя, як можна точніше, переміщеннями стола та шпинделя.

Вихідний сигнал підсилювача подається на самописець. Запис результатів вимірювання здійснюється на паперовому диску в полярній системі координат електротермічним способом. Геометричний запис (*круглограма*) показує з великим радіальним збільшенням коливання радіуса перетину деталі, виміряні від точки, в якій вісь шпинделя перетинає площину перетину.

Круглограма поверхні

> записане з великим збільшенням відхилення профілю деталі від правильного кола, яке є умовним відображенням реального профілю деталі в перерізі, точно відображає кутовий крок і амплітуду нерівностей.

Запис проводиться таким чином, що збільшення радіуса деталі відповідає збільшенню радіуса круглограми та до того ж:

- при вимірюванні отворів «тіло» деталі розташоване із зовнішнього боку круглограми;
- при вимірюванні валів – всередині круглограми.

Якщо деталь абсолютно кругла і точно відцентрована відносно осі шпинделя, то змін радіального положення щупа під час його обертання навколо деталі не буде, і круглограма буде мати вигляд кола концентричного з отвором на паперовому диску, як показано на рис. 5.26, а.

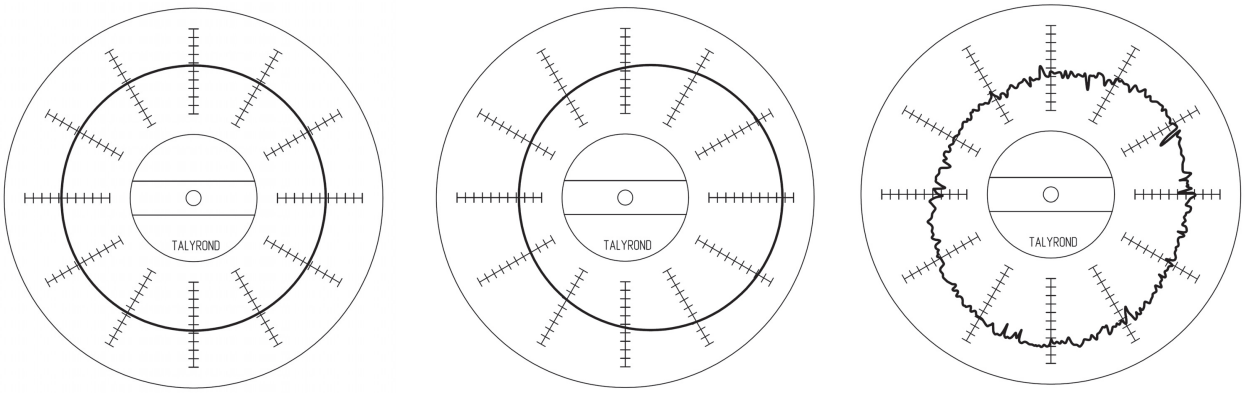
Якщо деталь абсолютно кругла, але не відцентрована відносно осі шпинделя, то запис буде ексцентричним, хоча він залишиться за формою точним колом, якщо ексцентриситет не занадто великий, як показано на рис. 5.26, б.

Якщо деталь не є абсолютно круглою, тобто в перетині деталі немає точки, відносно якої його зовнішній контур мав би постійний радіус, коливання радіуса будуть зафіксовані з великим збільшенням, як це показано на рис. 5.26, в.

Усі круглограми, отримані на кругломірі «Таліронд», незалежно від того що вимірюється (внутрішня чи зовнішня поверхня), записуються таким чином, що збільшенню радіуса на деталі відповідає збільшення радіуса на діаграмі. Таким чином, «тіло деталі» розташовується із зовнішньої сторони діаграми для внутрішніх поверхонь (отворів) та всередині діаграми – для зовнішніх поверхонь (валів).

Під час читання круглограми слід враховувати велике збільшення запису. Наприклад, зміна радіуса деталі на 2,5 мкм може бути представлено на круглограмі зміною радіуса на 25 мм (збільшення 10000х).

Записи, що відображають відхилення від паралельності та перпендикулярності, виглядають аналогічно круглограмі правильного циліндра, встановленого неконцентрично з віссю шпинделя, і мають ті самі властивості.



а) *б)* *в)*

Рис. 5.26 – Круглограми:

а) абсолютно круглої і точно відцентрованої деталі;

б) абсолютно круглої і не відцентрованої деталі; в) реальної деталі

Опис приладу. Загальний вигляд кругломіра «Таліронд» в робочому стані, із зазначенням вузлів керування, за виключенням розташованих на датчику, наведено на рис. 5.27.

Стіл переміщається по основі на п'ятках з політетрафторетилена і утримується під дією власної ваги. У передній частині основи розташовані маховики *A1* та *A2*, за допомогою яких стіл переміщається у поздовжньому та поперечному напрямках. На столі є Т-подібні поздовжні та поперечні пази, що призначені для установки накладних центрувальних столів та інших пристосувань. За допомогою пазів також можна за необхідності злегка зафіксовувати деталь. У центрі стола є плита ∅273 мм з циліндричним отвором ∅25,4 мм посередині. Отвір застосовується, як база під час установки затискних пристроїв для фіксації деталей. На верхній поверхні плити виконані три концентричних кола, які допомагають попередньому центруванню деталі, коли користуватись циліндричним отвором незручно.

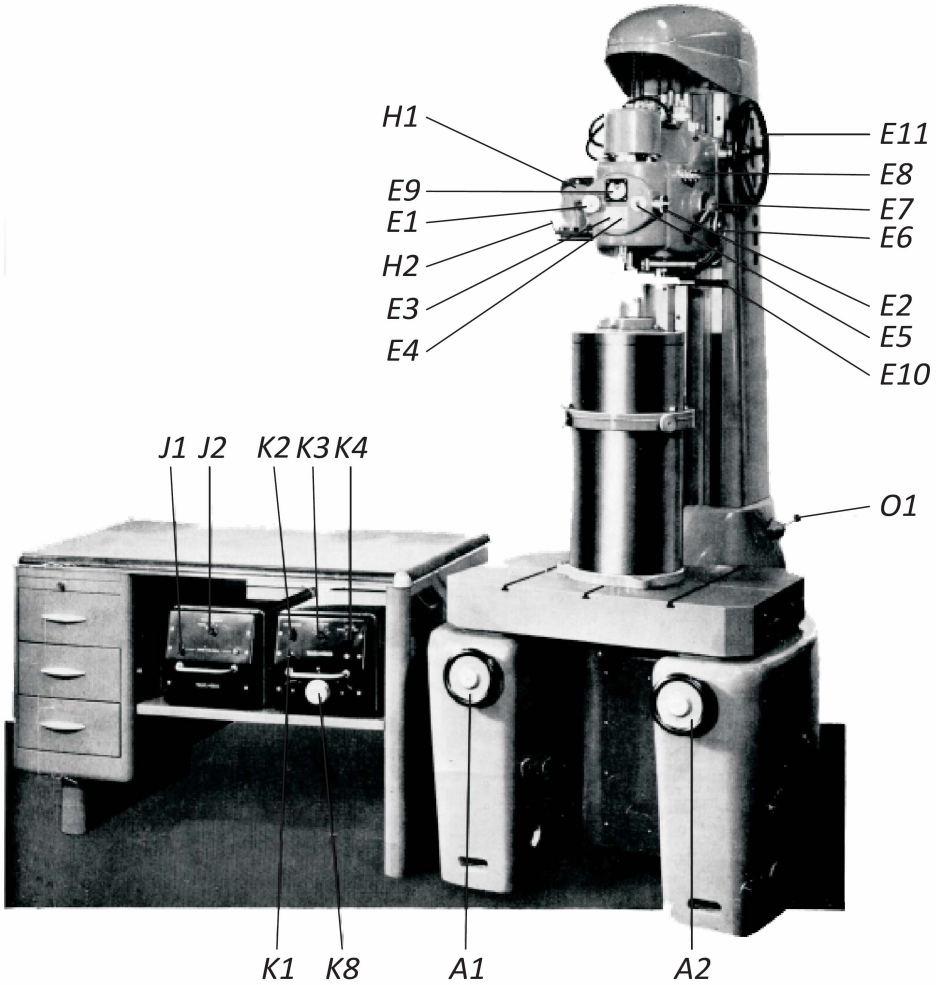


Рис. 5.27 – Загальний вигляд кругломіра «Таліронд» *з елементами керування*

Плита встановлена таким чином, що відхилення від перпендикулярності її поверхні відносно осі обертання шпинделя не перевищує 0,1 мм на 1 м. Плита може бути знята зі стола. При цьому відкривається отвір в столі, через який можуть проходити довгі циліндричні деталі діаметром до 254 мм. На столі є два отвори, які розташовані по діагоналі. В них вставляється пристосування для установки довгих валів. Коли пристосування на використовується, отвори в столі закриваються заглушками.

Між основою і колоною знаходиться поворотна основа, до якої прикріплена колона. Поворотна основа дозволяє відвести колону з головною частиною від нормального положення у бік за допомогою ручки *O1*. Таким чином з'являється можливість встановлювати на прилад довгі вали або важкі деталі.

Головна частина переміщається по напрямним колони. Фіксація положення здійснюється за допомогою важеля *E10*. Для переміщення головної частини застосовується штурвал *E11*. Головна частина врівноважена вантажами, розміщеними в колоні. Шпиндель розташований в головній частині. Він врівноважений окремо, що дозволяє переміщати його у вертикальному напрямку відносно головної частини. Переміщення здійснюється за допомогою круглої ручки *E8*.

Всередині головної частини знаходиться електродвигун і коробка передач, що забезпечує дві швидкості обертання шпинделя. Швидкість 35 об/хв дозволяє швидко сконцентрувати деталь; під час вимірювання використовується швидкість 3 об/хв. Точне центрування здійснюється зміщенням гільзи шпинделя за допомогою мікрометрів *E1* та *E2*.

До нижнього торця шпинделя прикріплений датчик, який оснащений пристроями для попереднього та кінцевого регулювання в радіальному напрямку. Датчик також оснащений набором змінних щупів, один з яких вибирається для вимірювання залежно від розміру контрольованої деталі.

Всередині корпуса датчика розташований маленький реверсивний електродвигун, який керується кнопками *E3* та *E4*. Двигун призначений для здійснення точного регулювання положення щупа датчика в процесі обертання шпинделя. Датчик з'єднаний з підсилювачем *K*. Вихідний сигнал з підсилювача передається до центрувального пристрою *E9* і самописця. Паперовий диск *H1* обертається через фрикційну муфту, що керується важелем *H2*, причому це обертання синхронізовано з обертанням шпинделя за допомогою зубчастої передачі.

Важіль *E7* забезпечує керування і коробкою швидкостей і пером самописця. Для обертання від руки важіль *E7* повинен знаходитись у нейтральному положенні.

Вузли живлення та фільтрів, які можуть бути включені у ланцюг за необхідності, розташовуються в корпусі блоку *J*, де знаходиться головний перемикач *J1*.

Метрологічні характеристикикругломіра «Таліронд» наведено в таблиці 5.14.

Робота на кругломірі «Таліронд». Попереднє центрування деталі забезпечується переміщенням стола у поздовжньому та поперечному напрямках за допомогою маховичків *A1* та *A2* (рис. 5.29). За обертання маховичка *A1* за годинниковою стрілкою, стіл переміщається зліва направо. За обертання маховичка *A2* за годинниковою стрілкою, стіл відходить від оператора. Можна повертати маховички одночасно.

Головна частина (рис. 5.28 та 5.29) переміщається вгору та вниз за допомогою штурвала *E11*. На валу штурвала закріплена шестерня, яка знаходиться у зачепленні з рейкою, закріпленою на направляючих колони. За обертання штурвала за годинниковою стрілкою, головна частина піднімається.

Таблиця 5.14

Метрологічні характеристики кругломіра «Таліронд»

Параметр	Значення		
Зовнішні та внутрішні діаметри	до 350 мм		
Найбільша висота від поверхні стола	700 мм		
Найбільша довжина деталі (через отвір у столі)	1270 мм		
Найбільший діаметр (використовуючи отвір у столі)	254 мм		
Найбільше рекомендоване навантаження на стіл	450 кг		
Відстань від осі шпинделя до колони	305 мм		
Поздовжнє та поперечне переміщення стола від середнього положення	12,7 мм		
Вертикальне переміщення головної частини по колоні	700 мм		
Вертикальне переміщення шпинделя відносно головної частини	100 мм		
Точність вертикального переміщення шпинделя на 100 мм відносно головної частини не гірше	1,25 мкм		
Довжина вимірювального щупа, см	6,2	12,5	25
Збільшення приладу	200^x 400^x 1000^x 2000^x 4000^x 10000^x	100^x 200^x 500^x 1000^x 2000^x 5000^x	50^x 100^x 250^x 500^x 1000^x 2500^x
Ціна поділки круглограми, мкм	10 5 2 1 0,5 0,2	20 10 4 2 1 0,4	40 20 8 4 2 0,8
Основні розміри стола: висота × довжина × ширина	1168 × 760 × 760 мм		

Головна частина закріплена на колоні за допомогою важеля *E10*. Для затискання необхідно легко відтиснути важіль від себе.

Мікрометри *E1* та *E2* забезпечують точне центрування. Вони забезпечують такий рух шпинделя, за якого його вісь залишається паралельною сама собі. Кожний мікрометр забезпечує зміщення шпинделя на величину порядку 0,5 мм і мають риску, яка показує середнє положення. На барабанах мікрометрів є маленькі поділки, кожна з яких відповідає переміщенню шпинделя, приблизно на 0,06 мм. Мікрометр *E1* переміщає шпиндель від колони і до неї (обертання за годинниковою стрілкою відповідає ходу вперед, від колони), а мікрометр *E2* переміщає в поперечному напрямку (обертання за годинниковою стрілкою відповідає ходу наліво).

Кругла ручка *E8* призначена для переміщення гільзи шпинделя у вертикальному напрямку по V- подібним направляючим. Це переміщення застосовується, наприклад, під час вимірювання відхилення від концентричності у різних площинах.

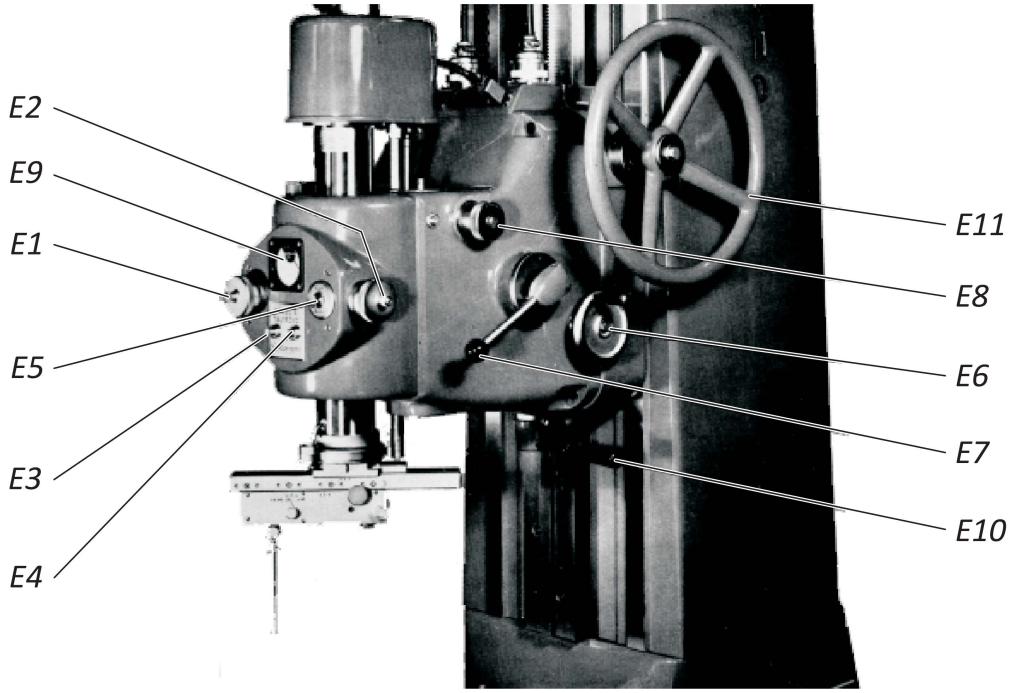


Рис. 5.28 – Головна частина кругломіра (вид справа)

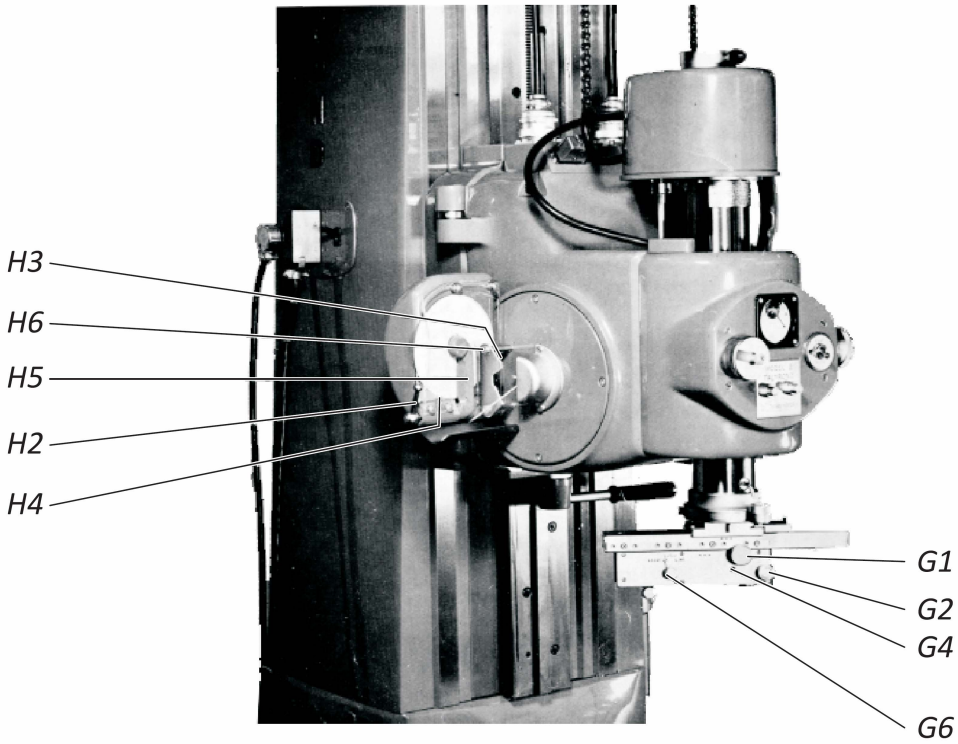


Рис. 5.29 – Головна частина кругломіра (вид зліва)

Важіль *E7* виконує дві функції: перемикання швидкостей обертання шпинделя та керування пером самописця. Повертання важеля у вертикальній площині перемикає швидкість шпинделя: за верхнього положення важеля вона дорівнює 35 об/хв., за нижнього – 3 об/хв. Коли важіль знаходиться у середньому положенні, коробка швидкостей відключена. Коли важіль *E7* знаходиться у нейтральному положенні, шпиндель можна повертати від руки за допомогою маховика *E6*. Маховичок постійно зв'язаний з коробкою швидкостей і обертається завжди, коли обертається шпиндель.

Важіль *H2* з кульковим наконечником керує муфтою самописця, а також притискує або звільнює паперовий диск.

Датчик *G* (рис. 5.30) переміщається по напрямній планці, яка закріплена на нижньому кінці шпинделя. Положення датчика на напрямній змінюється за допомогою кнопки грубого регулювання в радіальному напрямку *G1*, фіксується він кнопкою *G2*. Кнопка *G3* для точного радіального регулювання, діє на важіль, який розташований всередині датчика і визначає його положення. Границі цього регулювання 0,15 мм, залежно від довжини щупа вони зростають. Крайні положення важеля індексуються білою точкою *G4*, яку видно через вікно *G5*. Ця точка переміщається у вертикальному напрямку, причому її рух вниз відповідає руху щупа в напрямку до осі шпинделя, а її рух вгору відповідає зміщенню щупа від осі шпинделя.

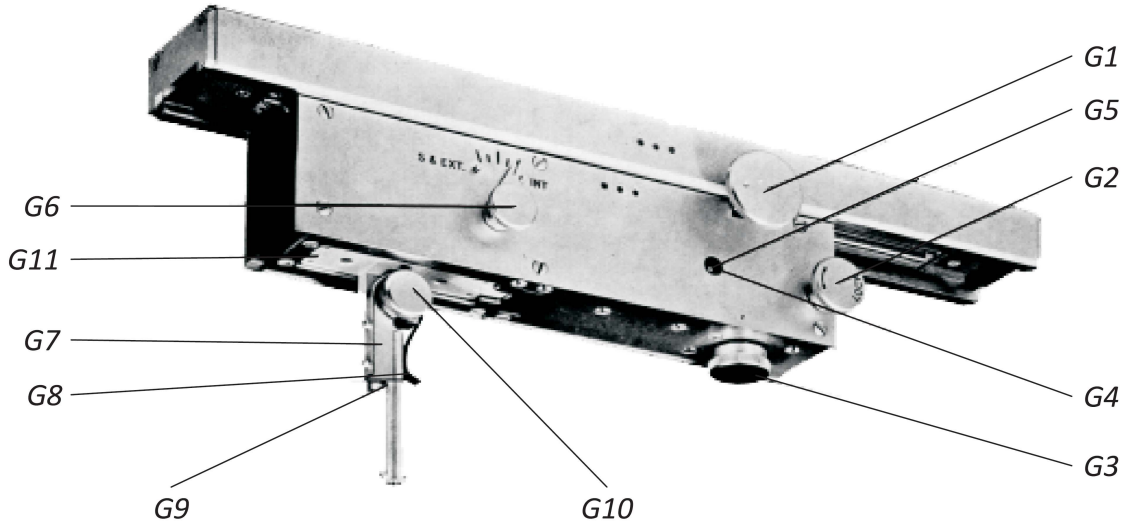


Рис. 5.30 – Датчик кругломіра

Кнопка *G6* регулювання вимірювального зусилля визначає напрямок і величину сили, яка діє на щуп. Під час вимірювання зовнішніх поверхонь та буртиків кнопка встановлюється у напрямку відмітки «*S & EXT*» (сфера та зовнішні вимірювання), під час вимірювання внутрішніх поверхонь – у напрямку відмітки «*INT*» (внутрішні вимірювання). Зазвичай, під час роботи із щупами довжиною 6,2 та 12,5 см потрібно перевести кнопку на 0,5…1 поділку від нульового положення. Найбільше зусилля призначено для щупа довжиною 25 см.

Щуп встановлено на V-подібній опорі *G7* і затиснутий пружиною *G8*. Він зафіксований від повороту та від осьових переміщень штифтом *G9*. Така конструкція дозволяє легко встановлювати та знімати щуп. Щуп разом з опорою та пружиною можна повертати навколо осі *G10* для установки на потрібний кут відносно осі шпинделя. Якщо щуп, що обертається наштовхується на деталь, він зазвичай зіскакує з опори, не пошкоджуючись.

Збільшення кругломіра. Під збільшенням приладу слід розуміти ступінь, у якому збільшуються похибки в радіальному напрямку. Збільшення приладу – це відношення між переміщенням пера самописця та переміщенням щупа датчика. Збільшення зміню-

ється залежно від довжини щупа та від положення перемикача *К3*. Збільшення для трьох типів щупів цього приладу наведено в табл. 5.15.

Таблиця 5.15

Збільшення кругломіра «Таліронд»

Положення перемикача збільшень		*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
Щуп 6,2 см	Збільшення	200^x	400^x	1000^x	2000^x	4000^x	10000^x
	1 поділка, мкм	10	5	2	1	0,5	0,2
Щуп 12,5 см	Збільшення	100^x	200^x	500^x	1000^x	2000^x	5000^x
	1 поділка, мкм	20	10	4	2	1	0,4
Щуп 25 см	Збільшення	50^x	100^x	250^x	500^x	1000^x	2500^x
	1 поділка, мкм	40	20	8	4	2	0,8

Похибки форми деталі дорівнюють відхиленням на діаграмі поділеним на збільшення. Для зручності відліку поділки на паперовому диску і на шаблоні проведені через 2 мм так, щоб вимірювати похибки можна було прямо на запису. Ціна поділки паперового диска наведена в табл. 5.15.

Центрування деталей. Для того, щоб отримати задовільну круглограму, деталь повинна бути відцентрована відносно осі шпинделя з точністю, співрозмірною з величиною похибок форми деталі.

Центрування здійснюється у два прийоми: попереднє і остаточне.

Мікрометри попереднього регулювання стола *А1* та *А2* використовуються звичайним способом: помічаються крайні положення стрілки центрувального приладу, і деталь столом переміщається на половину різниці крайніх положень. Індикатором є центрувальний прилад *Е9*. Остаточне регулювання здійснюється мікрометрами *Е1* та *Е2* розташованими в головній частині під час обертання шпинделя із швидкістю 35 об/хв за коливаннями стрілки центрувального приладу, які повинні бути мінімальними.

Попереднє центрування виконується в декілька кроків.

Перший крок – це установка деталі на стіл приладу. Якщо деталь простої циліндричної форми діаметром менше 273 мм, то її можна встановити приблизно концентрично з колами, що нанесені на поверхні центральної плити. Така установка забезпечує можливість подальшого центрування переміщенням стола.

Другий крок – пересунути датчик в положення, за якого щуп під час обертання буде майже дотикатися поверхні, що перевіряється. Обертаючи шпиндель від руки за допомогою маховичка *Е6*, та маховичками *А1* та *А2* виставити стіл так, щоб траєкторія вимірювального наконечника щупа була б концентрична з поверхнею, що перевіряється. Спочатку зручніше переміщати стіл у поздовжньому напрямку, а потім в поперечному.

Увага! Обертати шпиндель можна тільки у прямому напрямку (проти годинникової стрілки).

Третій крок – встановити датчик так, щоб, коли наконечник щупа притиснутий до поверхні деталі, стрілка центрувального приладу знаходилася у середньому положенні.

Перемикач збільшень на блоці посилювача повинний у цей час знаходитися проти цифри *1*. Повернути шпиндель вручну, помітити розмах коливань стрілки і за допомогою мікрометрів *A1* та *A2* звести ці коливання до мінімуму.

Остаточне центрування. Другий етап центрування оператор здійснює, не задумуючись про напрямок переміщень. Щуп знаходиться у контакті з деталлю, перемикач збільшень – проти відмітки 2, стрілка центрувального приладу коливається в межах шкали (за найменшого збільшення), шпиндель обертається із швидкістю 35 об/хв., так що стрілка швидко переходить з одного крайнього положення в інше. Мікрометри *E1* та *E2* слід повертати по черзі (спочатку один, потім другий) до тих пір, поки коливання стрілки не будуть мінімальними. Не потрібно задумуватись про те, який мікрометр обертати і в який бік: оператор просто повертає барабанчик і дивиться, покращується положення чи погіршується.

Коли першим мікрометром покращати положення вже не можна, тоді використовується другий. Послідовне використання мікрометрів дозволяє швидко знайти оптимальне положення. Потім поетапно підвищують збільшення до потрібного значення, кожний раз перевіряючи центрування.

Для отримання правильного запису важливо, щоб коливання стрілки не виходили за межі шкали, тому перемикач збільшень під час заміни деталі потрібно завжди знову виставляти на відмітку *1*, навіть, якщо ця деталь повністю аналогічна попередній.

У випадку, якщо виникають незрозумілі стрибки стрілки, потрібно зробити пробний запис, на якому зразу буде видно причину коливань стрілки, і якщо потрібно, повторюючи пробний запис, добитись оптимального положення.

Форма та встановлення щупів. Щупи приладу «Таліронд» дозволяють вимірювати широкий діапазон зовнішніх та внутрішніх поверхонь.

Для вимірювання простих циліндрів та конусів, а також отворів діаметром від 9,6 мм застосовують щупи довжиною 62 мм, 125 мм та 250 мм з вимірювальним наконечником у вигляді сокирки, який має радіус закруглення 6 мм.

Орієнтація запису відносно деталі. Якщо круглограму зіставити з деталлю, встановленою на столі, та вірно її зорієнтувати, то відхилення запису повинні бути узгоджені за кутом з відхиленнями форми деталі.

Оскільки щуп обертається відносно деталі, а папір обертається відносно пера, то щуп і папір повинні обертатись у протилежних напрямках, щоб забезпечити узгодження кутового розташування нерівностей деталі та відхилень запису, під час накладання останнього на деталь, що встановлена на столі.

Послідовність керування приладом (рис. 5.28 – 5.30). Перед початком вимірювань електричні вузли приладу необхідно прогріти на протязі, приблизно, 15 хвилин. Електродвигун приводу шпинделя перед вимірюванням повинен весь цей час обертатись. Якщо необхідно записати декілька круглограм з метою визначення їхнього взаєм-

ного розташування (наприклад, під час контролю ексцентриситету або співвісності), то час прогріву збільшується до 1 години.

Під час вимірювання поверхонь, що паралельні до осі в точці контакту щупа (наприклад, циліндричні деталі) можна здійснювати запис під час першого обороту шпинделя.

Під час запуску самописця, потрібно легенько притискати важіль E7. Не допускати різкого удару важеля з упором під час повернення. Це може викликати вібрації, що призведе до спотворення запису.

Під час вимірювання деталі із зовнішньою циліндричною поверхнею послідовність дій оператора повинна бути наступною:

1. Упевнитись, що важіль *E7* знаходиться у нейтральному положенні. Потім увімкнути живлення у наступних блоках: стабілізаторі напруги, блоці живлення та фільтрів (перемикач *J1*), посилювачі (перемикач *K1*), увімкнути вимикач мотора (з лівого боку колони).
2. Підготувати блок фільтрів та посилювач: перемикач фільтрів *J2* встановити в положення «*NORMAL*», перемикач *K4* – в положення «*TALYROND*», перемикач збільшень *K3* – в положення *1*, кнопку точного регулювання *K2* – приблизно в середнє положення, вставити вузол вимірювального моста.
3. Установити стіл приблизно в середнє положення за допомогою маховичків попереднього центрування *A1* та *A2*. Встановити мікрометри остаточного центрування *E1* та *E2* у середнє положення за шкалами.
4. Встановити деталь на столі (використовуючи концентричні кола) довільною відміткою до оператора, тобто в положення «*6 годин*».
5. Вибрати щуп, який відповідає за довжиною та формою розміру деталі та потрібному збільшенню. По можливості потрібно використовувати найкоротший щуп. Установити щуп вертикально в датчику і поставити кнопку регулювання вимірювального зусилля *G6* приблизно посередині між відміткою «*0*» та відміткою «*S & EXT*».
6. Опустити затискний гвинт *G2* та відсунути датчик на таку відстань від осі шпинделя, щоб щуп не торкався деталі під час опускання головної частини.
7. Опустити затискний важіль *E10* та за допомогою штурвалу *E11* опустити головну частину таким чином, щоб наконечник щупа знаходився у площині вимірювання. Трохи повернути важіль *E10* у напрямку до колони і таким чином затиснути головну частину.
8. Впевнитись в тому, що індикатор *G4* точного регулювання, який під час вимірювання опускається, знаходиться у верхній частині вікна. Індикатор керується кнопками *E3* – підйом та *E4* – опускання або кнопкою *G3*, що розташована на нижній стінці корпуса датчика.

   Перемістити датчик по рейці за допомогою кнопки *G1* у напрямку до деталі так, щоб щуп торкнувся поверхні, що перевіряється, і стрілка *E9* стала приблизно у

центрі шкали. Зафіксувати датчик у цьому положенні кнопкою *G2*. Якщо стрілка вийде за межі шкали, повернути її у середнє положення за допомогою кнопок *E3* та *E4*.

9. Прокрутити датчик вручну за допомогою маховичка *E6*, обертаючи мікрометри *A1* та *A2*, і, спостерігаючи за положенням стрілки, центрувати деталь.
10. Підняти важіль *E7*, включити швидкість 35 об/хв і перевірити коливання стрілки. Обертати по черзі мікрометри *E1* та *E2* до тих пір, поки коливання стрілки не будуть мінімальними.
11. Установити перемикач збільшення *K3* на більш високу ступінь (відмітка *3* або *4*) та повернути стрілку у центр шкали за допомогою кнопок *E3* та *E4* (*E4* зміщує стрілку праворуч, а *E3* – ліворуч). При цьому, слід користуватись великою швидкістю радіального переміщення щупа (перемикач *E5*).
12. Покращити, якщо потрібно, центрування. Якщо коливання стрілки відбуваються в межах крайніх відміток шкали (рис. 5.31), збільшити посилення на наступну ступінь і знову поправити центрування деталі. На великих збільшеннях кнопки *E3* та *E4* дуже чутливі, і керувати ними після того, як стрілка потрапить в межі шкали, потрібно легким постукуванням. Керування можна полегшити установкою перемикача *E5* на відмітку «*SLOW*» (повільно).

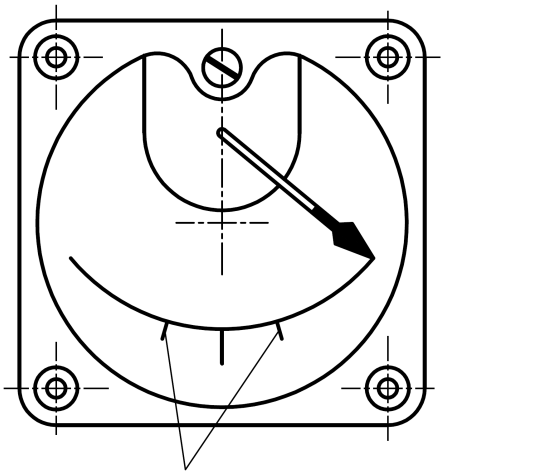


Рис.5.31 – Коливання стрілки під час покращання центрування

13. Прилад готовий до запису, коли стрілка коливається симетрично відносно центральної відмітки, коли коливання її не виходять за межі крайніх відміток, і коли, в той же час, амплітуда коливань не може бути зменшена центруванням.
14. Опустити важіль *E7* вниз і знизити швидкість до 3 об/хв. Встановити папір у самописець. Для цього повернути важіль *H2* на себе, помістити папір під прозорий щиток так, щоб її кромки торкнулися упорів *H3* та *H4* і повернути її так, щоб напис на ній знаходився у нормальному для прочитання положенні. Потім опустити важіль в той момент, коли щуп проходить через положення «*6 годин*».
15. Натиснути важіль *E7* у напрямку до головної частини і вивести перо на папір. Упевнитись, що коливання пера не виходять за межі зони запису на папері. Після то-

го, як шпиндель зробить повний оберт із швидкістю 3 об/хв., натиснути важіль *E7* у напрямку до шпинделя до відмови, таким чином напруга подається на перо. Опустити важіль і прибрати руки з приладу. Запис буде продовжуватись на протязі повного оберту і потім автоматично виключиться.

16. Зняти діаграму і вписати в неї назву деталі, збільшення (з урахуванням довжини щупа і положення перемикача) та фільтр.

Визначення збільшення для щупів різної довжини. При роботі на кругломірі допускається використання щупів нестандартної довжини, не з комплекту кругломіра. При цьому необхідно встановити величину збільшення даного щупа. Для встановлення збільшення щупа будь-якої довжини необхідно поділити 63,5 мм на ефективну (робочу) довжину щупа та помножити на значення збільшень для щупа довжиною 62 мм.

Приклад. Збільшення для щупа довжиною 206 мм за положення перемикача збільшень в позиції *1* становитиме:

$$\frac{63.5}{206}\cdot 200 = 62^{\times}.$$

Слід відмітити, що похибки деталі дорівнюють похибкам на круглограмі, поділеним на збільшення.

Відхилення, що дорівнює одній поділці на паперовому диску, фактично дорівнює 2 мм, поділеним на збільшення.

Значення робочої довжини щупів наведено в табл. 5.16

Таблиця 5.16

Робоча довжина щупів, мм

Номінальна довжина, мм	62	125	250
Робоча довжина, мм	25	85	216

Застосування фільтрів Деталь, круглограма якої наведена на рис. 5.32, має загальну похибку форми і, крім того, невеликі відхилення з великою частотою (*x*). Дуже часто ці невеликі відхилення форми також суттєво впливають на якість деталей.

За нормальної роботи прилад, незалежно від положення перемикача *К3*, забезпечує однакове збільшення усіх відхилень форми незалежно від їхньої частоти. Спроба проаналізувати записи невеликих відхилень просто шляхом підвищення збільшення виявляється неможливою, так як запис виходить за межі паперу. Це викликано умовою однакового радіального збільшення для усіх видів нерівностей за нормальної роботи приладу.

За великого збільшення крулограма виходить за межі паперового диску, за малого збільшення не виявляється профіль перетину деталі. Для вирішення цієї проблеми в ланцюг включений електричний фільтр, який не впливає на нерівності, для вивчення яких він призначений, а різко знижує збільшення для тих нерівностей, які повинні бути відсіяні. Таким чином, невеликі нерівності форми поверхні можуть бути проаналізовані за великих збільшень, а запис (круглограма) буде залишатись в межах паперу.

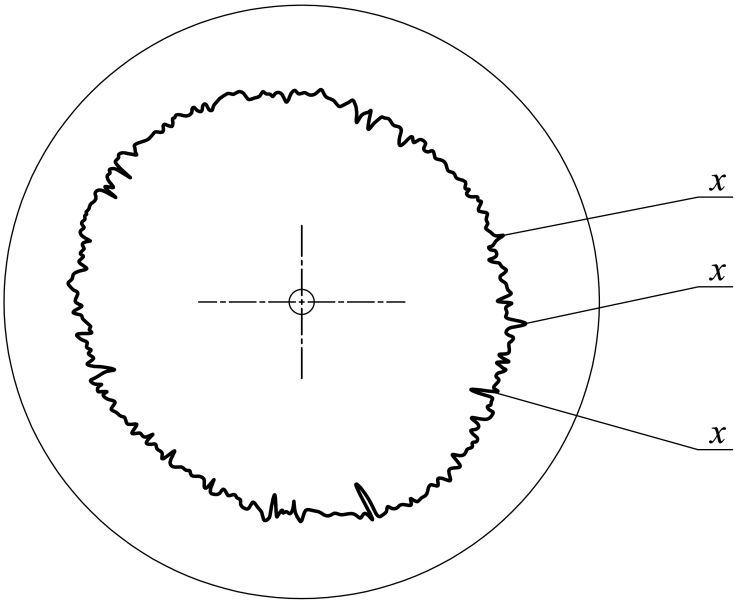


Рис. 5.32 – Круглограма поверхні деталі

Включаючи в ланцюг другий фільтр, можна відсікти нерівності з меншим кроком і залишити нерівності з великим кроком.

У схемі приладу є три різних фільтри. Вибір фільтру здійснюється за допомогою перемикача *J2*. Класифікацію фільтрів наведено в табл. 5.17. Характеристика фільтрів дається залежно від границь частот нерівностей (у кількості нерівностей за оберт), на які фільтр впливає мало або зовсім не впливає.

Таблиця 5.17

Характеристики фільтрів (кількість коливань за оберт)

	Normal	*A*	*B*	*C*
3 оберти на хвилину	1 … 450	1 … 45	1 … 15	15 … 450

Нерівності форми, частота яких виходить за межі, вказані в таблиці, будуть відсікатись. Коли фільтр включено, фільтрація починається не миттєво, а поступово. Під час застосування фільтрів необхідно спочатку зцентрувати деталь (перемикач *J2* знаходиться в положенні «*Normal*») та відрегулювати положення пера так, щоб його коливання були максимально можливо симетричними відносно зони запису на папері за вибраного збільшення. Тільки після цього можна включати той чи інший фільтр. Якщо потім збільшення міняється, то перемикач *J2* потрібно знову повернути в положення «*Normal*» і знову відрегулювати положення пера на папері. Під час переходу на велике збільшення (за перевірки малих відхилень форми) може статися, що перо вийде за межі зони запису ще до включення фільтра. Тоді потрібно відрегулювати положення пера так, щоб його коливання були симетричними відносно зони запису, скільки це буде можливо. Вся процедура повторюється кожний раз, коли деталь змінюється.

5.3.3 Визначення відхилень форми за круглограмами поверхонь

Визначення відхилення від круглості

1. Вимірювану деталь встановлюють на столі приладу і центрують таким чином,

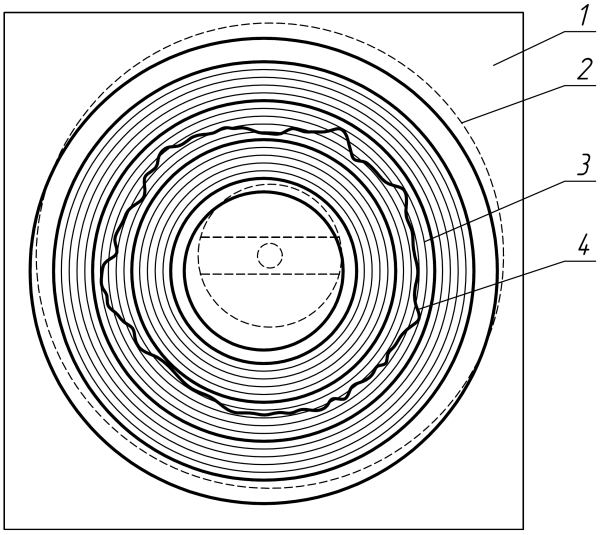
щоб вісь поверхні, що перевіряється, збігалася з віссю обертання шпинделя;

2. Записують круглограми в площинах вимірювання відповідно до табл. 5.11;
3. Оцінку відхилень від круглості, для кожної круглограми, проводять наступним чином:
   - На круглограму накладають трафарет (прозорий шаблон), на якому нанесено 16 концентричних кіл з різницею радіусів у 2 мм, що відповідає ціні поділки діаграмного паперового диску.

     Трафарет накладають таким чином, щоб одне з його 16 кіл правильно описувало круглограму, дотикаючись до неї не менш ніж у трьох точках, які розташовані більш ніж на половині круглограми (прилегле коло) (рис. 5.33), причому:
     - для зовнішніх поверхонь – коло найменш можливого радіуса, описане навколо профілю зовнішньої поверхні;
     - для внутрішніх поверхонь – коло найбільш можливого радіуса, вписане в профіль внутрішньої поверхні обертання;

Якщо деталь і круглограма мають правильну форму овалу, найменш можливе коло трафарету описують навколо круглограми так, щоб вона дотикалась круглограми у двох її точках, розташованих на великій осі овалу, а дві інші точки, що розташовані на малій осі валу знаходились на рівній відстані від цього кола.

   - Підраховують кількість інтервалів між прилеглим колом та найбільш віддаленою від нього точкою круглограми;
   - Помножують отриману кількість інтервалів на ціну поділки, що відповідає встановленому збільшенню та довжині щупа, отримав таким чином фактичне значення відхилення від круглості *EFK* контрольованої поверхні.
4. Відхилення від круглості вимірюваної поверхні деталі *EFK* буде найбільшим з визначених в кожному перерізі.



1 – прозорий трафарет
2 – діаграмний диск
3 – прилегле коло
4 – круглограма

Рис. 5.33 – Визначення відхилення від круглості за допомогою трафарету

Усі результати занести в протокол вимірювань (табл. 5.18).

Таблиця 5.18

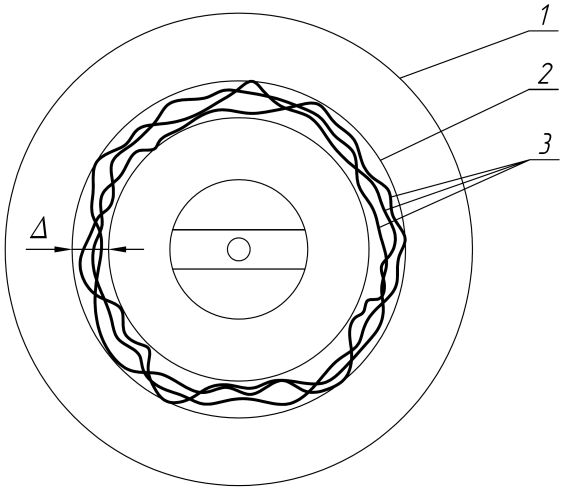
Протокол вимірювань відхилення від круглості

Контрольована поверхня деталі	
Номінальний діаметр циліндричної поверхні *d*, мм	
Довжина циліндричної поверхні *l*, мм	
Номінальна довжина щупа, мм	
Збільшення, разів	
Співвідношення довжини і діаметра поверхні, *l/d*	
Кількість площин вимірювання, *N*	
Ціна поділки круглограми, мкм	
Відхилення від круглості, *EFK* , мкм	
Допуск круглості, *TFK* , мкм	
Ступінь точності за ГОСТ 24643	

Визначення відхилень від циліндричності.

Відхилення від циліндричності поверхні визначають за методом поперечних перетинів (рис. 5.23) наступним чином:

1. Вимірювану деталь встановлюють на столі приладу та центрують таким чином, щоб вісь поверхні, що перевіряється збігалася з віссю обертання шпинделя;
2. Не зупиняючи обертання шпинделя, записують круглограми у декількох поперечних перетинах, в тому числі на початку і в кінці нормованої ділянки. Запис здійснюють на одному діаграмному диску за незмінного положення деталі відносно осі шпинделя;
3. На круглограму накладають трафарет аналогічно як і при визначенні відхилення від круглості. Відмінність лише в тому, що прилегле коло повинно правильно описувати одночасно всі круглограми – коло трафарету реалізує спільне до усіх круглограм прилегле коло (рис. 5.34);
4. Підраховують кількість інтервалів від прилеглого кола до найбільш віддаленої від нього точки; помножують отриману кількість інтервалів на ціну поділки, яка відповідає прийнятому збільшенню та довжині щупа. Отримана величина і є відхилення від циліндричності на довжині нормованої ділянки.



1 – діаграмний диск;
2 – прилегле коло;
3 – круглограми

Рис.5.34 – Визначення відхилення від циліндричності за круглограмою

Усі результати занести в протокол вимірювань (табл. 5.19).

Таблиця 5.19

Протокол вимірювань відхилення від циліндричності

Контрольована поверхня деталі	
Номінальний діаметр циліндричної поверхні *d*, мм	
Довжина циліндричної поверхні l, мм	
Номінальна довжина щупа, мм	
Збільшення, разів	
Кількість точок вимірювання на твірній K_{min}	
Ціна поділки круглограми, мкм	
Відхилення від циліндричності, *EFZ* , мкм	
Допуск циліндричності, *TFZ* , мкм	
Ступінь точності за ГОСТ 24643	

5.3.4 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо точності форми та розташування циліндричних поверхонь (п. 5.1).
2. Вивчити будову та принцип дії кругломіра
3. Згідно завдання внести дані в протокол (табл. 5.18, 5.19):
   – позначення поверхонь що контролюються (зовнішня / внутрішня)
   – види відхилень, що підлягають контролю
   – діаметр *d* та довжину l контрольованих поверхонь
   – параметри вимірювань при вимірюванні кожного контрольованого параметра:
      – довжина щупа
      – збільшення кругломіра
      – фільтр
4. Визначити та занести дані в протоколи вимірювань (табл. 5.18 та 5.19):
   – при визначенні відхилення від круглості:
      – співвідношення довжини і діаметра поверхні, *l/d*
      – кількість площин вимірювання *N* (табл. 5.12)
      – ціну поділки круглограми (табл. 5.15)
   – при визначенні відхилення від циліндричності:
      – кількість точок вимірювання на твірній K_{min} (табл. 5.13)
      – ціну поділки круглограми (табл. 5.15)
5. За допомогою учбового майстра записати круглограму циліндричної поверхні деталі відповідно до наданого викладачем кресленика деталі.
6. За допомогою учбового майстра записати на одному діаграмному диску круглограми циліндричної поверхні у декількох перетинах, відповідно до табл. 5.12.
7. За круглограмами визначити та занести дані в протокол (табл. 5.18):
   – відхилення від круглості циліндричної поверхні в усіх перерізах (п. 5.3.2)
   – встановити відхилення від круглості всієї деталі (п. 5.3.2)
   – за табл. 5.2 призначити допуск круглості *TFK* та ступінь точності виміряної повер-

хні деталі

8. За круглограмою визначити та занести дані в протокол (табл. 5.19):
   – відхилення від циліндричності циліндричної поверхні деталі (п. 5.3.2)
   – за табл. 5.2 призначити допуск циліндричності *TFZ* та ступінь точності виміряної поверхні деталі
9. Зробити висновок про придатність деталі.
10. Виконати ескіз деталі з позначенням контрольованих допусків форми.

5.4 Лабораторна робота №14. Вимірювання відхилень розташування отворів на координатно-вимірювальній машині

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання відхилень розташування отворів на координатно-вимірювальній машині.

Зміст роботи

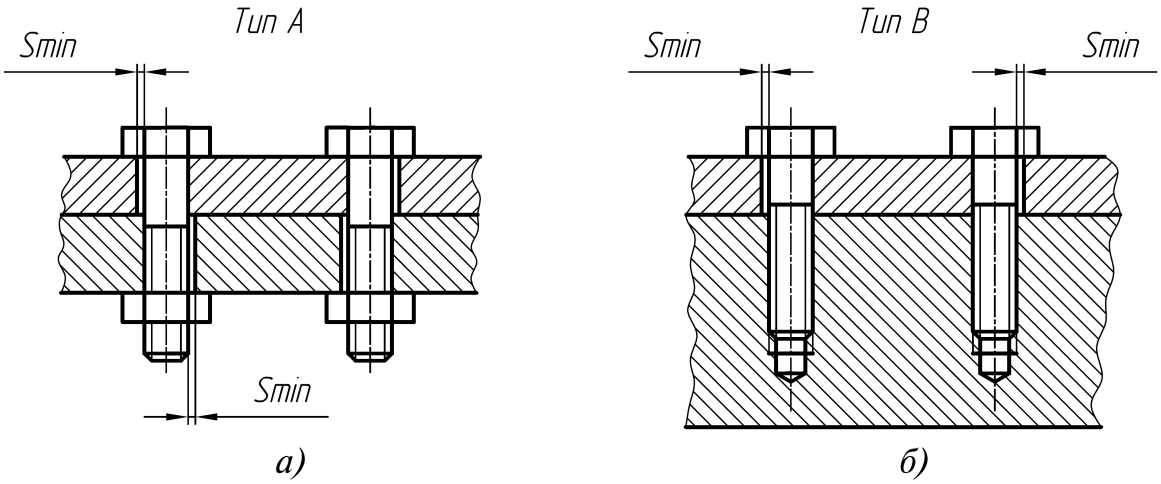
За допомогою координатно-вимірювальної машини виміряти відхилення розташування осей отворів деталі під кріпильні елементи та встановити чи відповідає виміряна деталь заданому полю допуску.

Технічне забезпечення

1. Координатно-вимірювальна машина – 1 шт.
2. Комплект змінних жорстких наконечників – 1 шт.
3. Деталь – 1 шт.

5.4.1 Допуски розташування осей отворів кріпильних деталей

Багато деталей машин та приладів з'єднуються болтами, гвинтами, шпильками та іншими кріпильними деталями, осі яких є паралельними. Такі з'єднання бувають двох типів: тип *A* (рис. 5.35,а) та тип *B* (рис. 5.35,б).



а) *б)*

Рис. 5.35 – Типи з'єднань з кріпильними деталями

У з'єднаннях типу *А* (болтові, клепальні з'єднання) виконують наскрізні отвори в обох деталях (верхній та нижній) із забезпеченням гарантованого діаметрального зазору S_{min} (рис. 5.35,а)

У з'єднаннях типу *В* наскрізні отвори передбачені лише в одній деталі (верхній на рис. 5.35,б), а інша деталь (нижня на рис. 5.35,б) має або різьбовий отвір (для гвинтів чи шпильок) або гладкий отвір (для з'єднання з натягом).

Складання таких з'єднань в умовах одиничного та дрібносерійного виробництва здійснюється або шляхом одночасної спільної обробки пари деталей, або шляхом «підмітки», тобто спочатку обробляють одну деталь, а потім за отворами у першій деталі виконують отвори в парній деталі (перша деталь є кондукторною плитою). У таких випадках взаємозамінність не забезпечується.

Для незалежного виготовлення обох деталей з'єднання із забезпеченням повної взаємозамінності призначають допуски розташування осей за ГОСТ 14140. Допуски розташування осей отворів для кріпильних деталей встановлюють за одним з двох способів:

- граничними відхиленнями розмірів, які координують осі отворів;
- позиційними допусками осей отворів.

Наприклад, точність розташування осей отворів один відносно одного задана допуском 55±0,1 (рис. 5.36), тобто вказується номінальний розмір та граничні відхилення.

Такий спосіб встановлення допусків застосовують лише для двох поверхонь, що координуються між собою (відстань від площини до осі отвору або відстань між осями двох отворів).

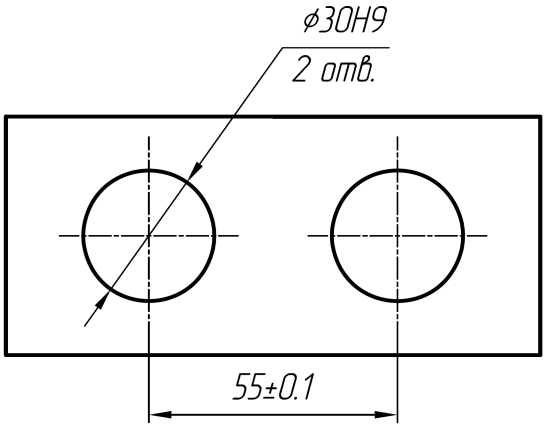


Рис. 5.36 – Ескіз деталі - допуски задані відхиленнями розміру

Оскільки, як зазначалося в п. 5.1.2, *поле позиційного допуску* - це зона у просторі, обмежена циліндром, діаметр якого дорівнює позиційному допуску в діаметральному вираженні ∅ чи подвоєному позиційному допуску в радіусному вираженні R, а вісь співпадає з номінальним розташуванням осі.

У даному прикладі (рис. 5.36) дійсна вісь отвору придатної деталі має знаходитись у межах циліндра в радіусному вираженні R 0,1 мм, або в діаметральному ∅ 0,2 мм.

Якщо одночасно нормується положення декількох взаємозв'язаних поверхонь, то задають позиційний допуск, а відповідно до ДСТУ 2498, вводиться поняття позиційного відхилення (рис. 5.9).

Позиційні допуски забезпечують комплексне нормування положення елементів (наприклад, осей отворів), бо відхилення обмежуються величиною допуску у будь-якому напрямку відносно номінального положення.

На відміну від позиційного допуску граничні відхилення координуючих розмірів є поелементними відхиленнями, бо визначаються лише у напрямку координатних осей.

Для нормування положення осей надають перевагу позначенню позиційного допуску незалежно від способу контролю точності.

Відповідно до ГОСТ 28187 замість прямого вимірювання позиційного відхилення осей допускається вимірювання відхилень розмірів, що координують осі. Для цього використовують формули перерахунку позиційних допусків на граничні відхилення розмірів, що координують осі отворів.

Для деталей, у яких отвори для кріпильних елементів розміщуються на прямих лініях використовують систему прямокутних координат. Якщо осі отворів розташовані по колу, то застосовують полярні координати.

Граничні відхилення координуючих розмірів визначають, виходячи з відповідного позиційного допуску осей отворів *T.* Для цього виконується геометричне розкладання позиційного допуску осі кожного отвору на координатні складові: T_x та T_y в прямокутних координатах (рис. 5.37,а) або T_R та T_α в полярних координатах (рис. 5.37,б).

Співвідношення між координатними складовими позиційного допуску визначаються за наступними формулами:

$$\sqrt{T_x^2 + T_y^2} = T \tag{5.6}$$

$$\sqrt{T_R^2 + (\frac{RT_\alpha}{3440})^2} = T \tag{5.7}$$

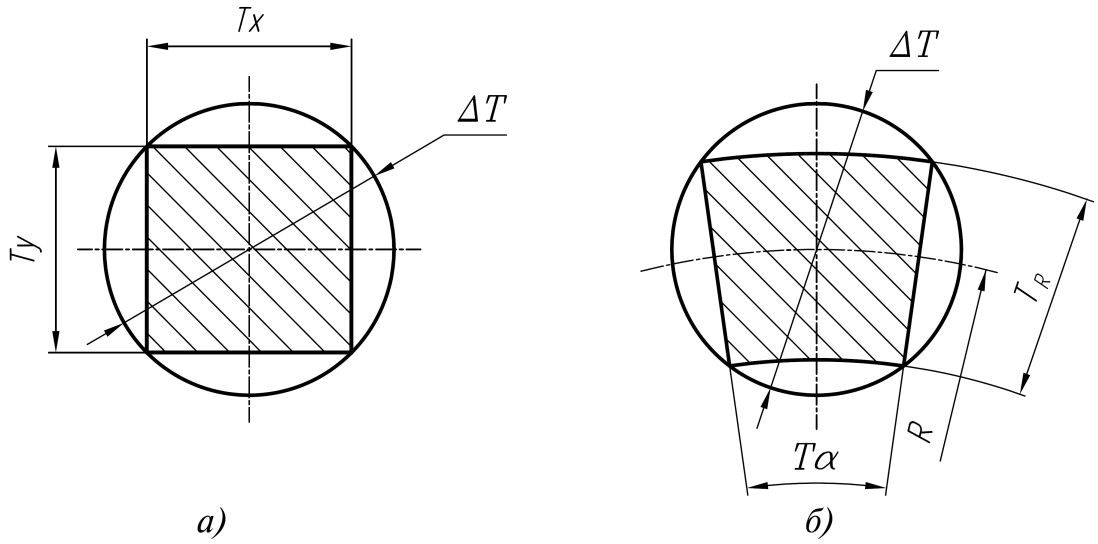
де R - радіус кола центрів;

T_x, T_y, T_R, T і R - в мм, T_α - в мінутах, 3440 - кількість мінут в радіані.

Якщо прийняти обидві координатні складові позиційного допуску однаковими, то формули (5.6) і (5.7) набудуть вигляду:

$$T_x = T_y \approx 0,7T \tag{5.8}$$

$$T_R = T_\alpha \cdot \frac{R}{3440} \approx 0,7T \tag{5.9}$$



а) *б)*

Рисунок 5.37 - Схема для перерахунку позиційного допуску в граничні відхилення розмірів, що координують осі:

а) в прямокутній системі координат; б) в полярній системі координат

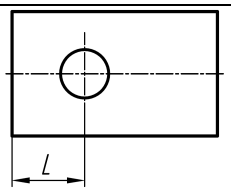
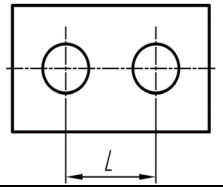
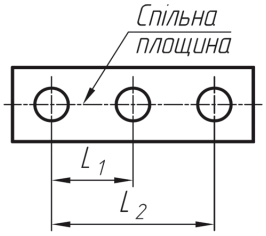
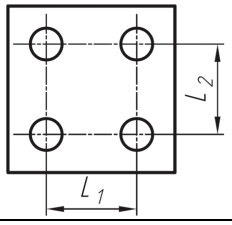
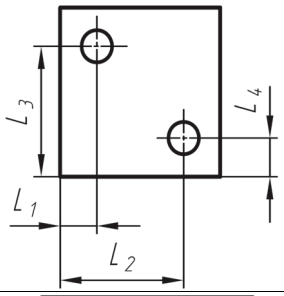
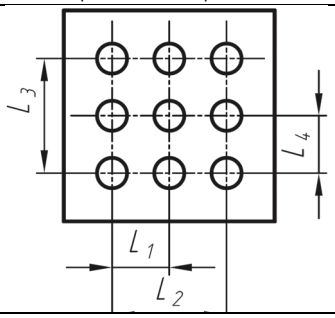
Характеристики схем розташування отворів, для яких застосовують прямокутну систему координат, наведено в табл. 5.20. Числові значення перерахунку позиційних допусків на граничні відхилення розмірів, що координують розміри, для даних схем (табл. 5.20) наведено в табл. 5.21.

Характеристики схем розташування отворів, для яких застосовують полярну систему координат, наведено в табл. 5.22. Числові значення перерахунку позиційних допусків на граничні відхилення розмірів, що координують розміри, для даних схем (табл. 5.22) наведено в табл. 5.23.

Контроль позиційних допусків виконують комплексними калібрами (ГОСТ 16085), або за допомогою координатно-вимірювальних машин, проекторів, мікроскопів та інших універсальних засобів вимірювання з подальшим перерахунком координат осей отворів.

Таблиця 5.20

Характеристики розташування отворів у прямокутній системі координат (ГОСТ 14140)

Схема*	Характеристика розташування	Схема розташування отворів	Нормовані відхилення розмірів, що координують осі отворів (табл. 5.21)
I	Один отвір, координований відносно площини		Граничні відхилення $\pm\delta L$ розміру між віссю отвору та площиною
II	Два отвори, координовані один відносно іншого		Граничні відхилення $\pm\delta L$ розміру між осями двох отворів
III	Три і більше отворів, розташованих в один ряд		Граничні відхилення $\pm\delta L$ розміру між осями двох довільних отворів Граничні відхилення $\pm\delta y$ осей отворів від спільної площини
IV	Три або чотири отвори, розташовані в два ряди		Граничні відхилення $\pm\delta L$ розмірів L_1 та L_2 Граничні відхилення $\pm\delta L_d$ розмірів по діагоналі між осями довільних отворів
V	Один або кілька отворів, координованих відносно двох взаємно перпендикулярних площин		Граничні відхилення $\pm\delta L$ розмірів L_1, L_2, L_3, L_4
VI	Отвори розташовані у кілька рядів		Граничні відхилення $\pm\delta L$ розмірів L_1, L_2, L_3, L_4 Граничні відхилення $\pm\delta L_d$ розмірів по діагоналі між осями довільних отворів

Таблиця 5.21

Перерахунок позиційних допусків на граничні відхилення розмірів, що координують осі отворів. Система прямокутних координат (ГОСТ 14140)

Схема*	Параметр*	Позиційний допуск в діаметральному вираженні, *T*, мм										
		0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		Позиційний допуск в радіусному вираженні, *T/2*, мм										
		0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
I	$\pm\delta L$	0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
II	$\pm\delta L$	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
III	$\pm\delta L_\Sigma$	0,07	0,08	0,11	0,14	0,16	0,22	0,28	0,35	0,4	0,55	0,7
	$\pm\delta y$	0,035	0,04	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14	0,18	0,2	0,28	0,35
IV	$\pm\delta L$	0,07	0,08	0,11	0,14	0,16	0,22	0,28	0,35	0,4	0,55	0,7
	$\pm\delta L_d$	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
V	$\pm\delta L$	0,035	0,04	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14	0,18	0,2	0,28	0,35
VI	$\pm\delta L$	0,035	0,04	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14	0,18	0,2	0,28	0,35
	$\pm\delta L_d$	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1

Продовження табл. 5.21

Схема*	Параметр*	Позиційний допуск в діаметральному вираженні, *T*, мм										
		1,2	1,6	2	2,5	3	4	6	6	8	10	12
		Позиційний допуск в радіусному вираженні, *T/2*, мм										
		0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6
I	$\pm\delta L$	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6
II	$\pm\delta L$	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12
III	$\pm\delta L_\Sigma$	0,8	1,1	1,4	1,6	2,2	2,8	3,5	4	5,5	7	8
	$\pm\delta y$	0,4	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2	2,8	3,5	4
IV	$\pm\delta L$	0,8	1,1	1,4	1,6	2,2	2,8	3,5	4	5,5	7	8
	$\pm\delta L_d$	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12
V	$\pm\delta L$	0,4	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2	2,8	3,5	4
VI	$\pm\delta L$	0,4	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2	2,8	3,5	4
	$\pm\delta L_d$	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12

* – схема розташування отворів – табл. 5.20

T – позиційний допуск в діаметральному вираженні

T/2 – позиційний допуск в радіусному вираженні

$\pm\delta D$ – граничні відхилення діаметра кола центрів

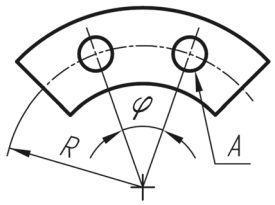
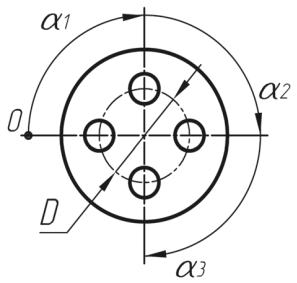
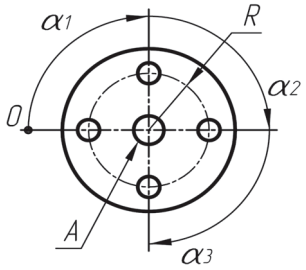
$\pm\delta R$ – граничні відхилення радіуса кола центрів

$\pm\delta\alpha$ – граничні відхилення кута між осями отворів

$\pm\delta\alpha_\Sigma$ – граничні відхилення центрального кута між осями двох довільних отворів

Таблиця 5.22

Характеристики розташування отворів у полярній системі координат (ГОСТ 14140)

Схема*	Характеристика розташування	Схема розташування отворів	Нормовані відхилення розмірів, що координують осі отворів (табл. 5.23)
VII	Два отвори, координованих відносно один одного та центрального базового елемента		Граничні відхилення $\pm\delta R$ радіуса кола центрів
			Граничні відхилення $\pm\delta\alpha$ кута між осями отворів
VIII	Три та більше отворів, розташованих по колу		Граничні відхилення $\pm\delta D$ діаметра кола центрів
			Граничні відхилення $\pm\delta\alpha_\Sigma$ центрального кута між осями двох довільних отворів
IX	Три та більше отворів, розташованих по колу, координованих відносно центрального базового елемента *A*		Граничні відхилення $\pm\delta R$ радіуса кола центрів
			Граничні відхилення $\pm\delta\alpha_\Sigma$ центрального кута між осями двох довільних отворів

5.4.2 Будова та принцип дії координатно-вимірювальної машини

Координатно-вимірювальні машини (КВМ) - засоби вимірювання, призначені для визначення геометричних параметрів деталі шляхом вимірювання координат окремих точок поверхні деталі у прийнятій системі координат з наступною математичною обробкою виміряних координат для визначення лінійних та кутових розмірів, відхилень форми та розташування.

КВМ дозволяють здійснювати вимірюваннння у двох, трьох та чотирьох координатах: (X, Y); (X, Y, Z); (X, Y, Z плюс поворот на кут у площині XOY). Зокрема, на КВМ можна вимірювати відхилення форми (відхилення від прямолінійності, площинності, круглості, циліндричності) та відхилення розташування поверхонь (відхилення від паралельності, перпендикулярності, ухилу, симетричності, співвісності, позиційні відхилення та ін.).

Працюють КВМ в двох режимах: або здійснюється переміщення вимірювального наконечника до контакту з вимірюваною поверхнею і за допомогою відлікових пристроїв визначається її положення в системі координат, або вимірювальний наконечник переміщається в точки, що відповідають номінальним значенням визначених розмірів, а відлікові пристрої дозволяють оцінити відхилення положення дійсних поверхонь від номінального значення. Найчастіше КВМ працюють у першому режимі.

Таблиця 5.23

Перерахунок позиційних допусків на граничні відхилення розмірів, що координують осі отворів. Система полярних координат (ГОСТ 14140)

Схема *	T, мм		0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5
	$T/2$, мм		0,01	0,012	0,016	0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16	0,2	0,25
	$\pm\delta D$, мм		0,014	0,016	0,022	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14	0,16	0,22	0,28	0,35
	$\pm\delta R$, мм		0,007	0,008	0,011	0,014	0,018	0,02	0,028	0,035	0,04	0,055	0,07	0,08	0,11	0,14	0,18
	Інтервали розмірів, мм		$\pm\delta\alpha$; $\pm\delta\alpha_\Sigma$														
	D	R															
VII	від 10 до 14	від 5 до 7	8'	10'	12'	16'	20'	25'	30'	40'	50'	1°	1°20'	1°40'	2°	2°40'	3°20'
	від 14 до 18	від 7 до 9	6'	7'	10'	12'	14'	18'	25'	30'	35'	45'	1°	1°10'	1°30'	2°	2°20'
	від 18 до 24	від 9 до 12	5'	6'	7'	10'	11'	14'	18'	22'	28'	35'	45'	55'	1°10'	1 °30'	1°50'
	від 24 до 30	від 12 до 15	4'	5'	6'	7'	9'	11'	14'	18'	22'	28'	35'	45'	55'	1°10'	1°30'
	від 30 до 40	від 15 до 20	3'	4'	5'	5'30''	7'	8'	11'	14'	16'	22'	28'	35'	45'	55'	1°10'
VIII	від 50 до 65	від 25 до 32,5	2'	2'30''	3'	3'30''	4'	5'	6'	8'	10'	12'	16'	20'	25'	30'	40'
	від 65 до 80	від 32,5 до 40	-	-	2'30''	2'40''	3'	4'	5'	6'	8'	10'	12'	16'	20'	25'	30'
	від 80 до 100	від 40 до 50	-	-	2'	2'20''	2'30''	3'	4'	5'	6'	8'	10'	12'	16'	20'	25'
	від 100 до 120	від 50 до 60	-	-	-	-	2'	2'40''	3'	4'	5'	7'	9'	11'	14'	18'	22'
	від 120 до 150	від 60 до 75	-	-	-	-	-	2'	2'30''	3'30''	4'30''	6'	7'	9'	12'	14'	18'
IX	від 250 до 310	від 125 до 155	-	-	-	-	-	-	-	-	2'	2'20''	3'	4'	6'	7'	9'
	від 310 до 400	від 155 до 200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2'	2'30''	3'	4'	5'	6'
	від 400 до 500	від 200 до 250	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2'	2'30''	3'	4'	5'

Продовження табл. 5.22

Схема *	T, мм		0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16
	$T/2$, мм		0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8
	$\pm\delta D$, мм		0,4	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,6	2,2	2,8	3,5	4	5,5	7	8	11
	$\pm\delta R$, мм		0,2	0,28	0,35	0,4	0,55	0,7	0,8	1,1	1,4	1,8	2	2,8	3,5	4	5,5
	Інтервали розмірів, мм		$\pm\delta\alpha$; $\pm\delta\alpha_\Sigma$														
	D	R															
VII	*від 10 до 14*	*від 5 до 7*	*4°*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	від 14 до 18	від 7 до 9	3°	4°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	від 18 до 24	від 9 до 12	2°20'	3°	3°40'	4°30'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	від 24 до 30	від 12 до 15	1°50'	2°20'	3°	3'40'	4°30'	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	від 30 до 40	від 15 до 20	1°20'	1°50'	2°20'	2°40'	3°40'	4°30'	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VIII	від 50 до 65	від 25 до 32,5	50'	1°	1°20'	1°40'	2°	2°40'	3°20'	4°	-	-	-	-	-	-	-
	від 65 до 80	від 32,5 до 40	40'	50'	1°	1°20'	1°40'	2°	2°40'	3°20'	4°	-	-	-	-	-	-
	від 80 до 100	від 40 до 50	30'	40'	50'	1°	1°20'	1°40'	2°	2°40'	3°20'	4°	-	-	-	-	-
	від 100 до 120	від 50 до 60	28'	35'	45'	55'	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	3°	3°40'	4°30'	-	-	-	-
	від 120 до 150	від 60 до 75	22'	28'	35'	45'	55'	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	3°	3°40'	4°30'	-	-	-
IX	від 250 до 310	від 125 до 155	10'	14'	16'	20'	25'	35'	40'	55'	1°10'	1°30'	1°50'	2°20'	2°40'	3°20'	4°30'
	від 310 до 400	від 155 до 200	8'	10'	12'	16'	20'	25'	30'	40'	50'	1°	1°20'	1°40'	2°20'	2°40'	3°40'
	від 400 до 500	від 200 до 250	6'	8'	10'	12'	16'	20'	25'	35'	40'	50'	1°	1°20'	1°50'	2°	2°20'

* – схема розташування отворів – табл. 5.22

T – позиційний допуск в діаметральному вираженні

$T/2$ – позиційний допуск в радіусному вираженні

$\pm\delta D$ – граничні відхилення діаметра кола центрів

$\pm\delta R$ – граничні відхилення радіуса кола центрів

$\pm\delta\alpha$ – граничні відхилення кута між осями отворів

$\pm\delta\alpha_\Sigma$ – граничні відхилення центрального кута між осями двох довільних отворів

Конструктивні елементи та компоновки КВМ. Основою КВМ служить вимірювальний стіл *9* (рис. 5.38), в якості якого виступає, як правило, гранітна плита, що має найменший коефіцієнт температурного розширення. На вимірювальному столі встановлюються пристосування для закріплення вимірюваної деталі.

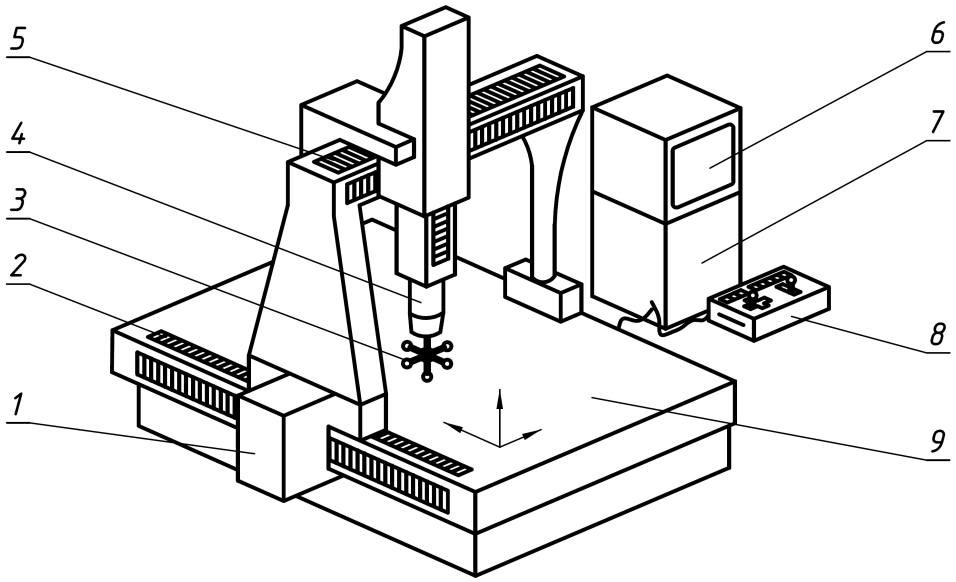


Рис. 5.38 - Конструктивні елементи КВМ:

1 - привід переміщення вздовж осі X; 2 – датчик лінійних переміщень;
3 - вимірювальний наконечник; 4 - піноль; 5 - датчик лінійних переміщень;
6 - дисплей індикації; 7 - електронний блок (ЕОМ); 8 - пульт управління; 9 - вимірювальний стіл.

Основними вузлами машин є напрямні, які забезпечують переміщення у трьох взаємно перпендикулярних напрямах. По напрямних переміщується вимірювальна каретка (піноль) з наконечником *3*, відлікові *2*, *4*, *5* та лічильно-розв'язувальні системи *7*. Для зменшення похибки вимірювання КВМ забезпечені або напрямними кочення, або аеростатичними, на повітряній подушці, напрямними.

Як відлікові пристрої в КВМ використовують спеціальні пристрої - індуктосини. Вони є електричною машиною зі статором, розгорнутим у вигляді лінійки, на поверхню якої друкованим способом нанесені обмотки. Для цих цілей можуть застосовуватися і растрові фотоелектричні перетворювачі.

Сучасні КВМ оснащені електронно-обчислювальними машинами (ЕОМ) *7*. Переміщення вузлів КВМ може здійснюватися вручну оператором за допомогою пульта *8* або автоматично за програмою керування, в цьому випадку ЕОМ *7* задає напрямок і швидкість переміщення вузлів, що забезпечується приводами *1*, в основному електромеханічними.

ЕОМ керує переміщеннями каретки з вимірювальним наконечником датчика 3, забезпечуючи його послідовне автоматичне торкання всіх поверхонь, що підлягають контролю; здійснює обробку результатів вимірювань, перерахунок отриманих значень розмірів в залежності від положення довільно розташованої на столі машини вимірювальної деталі, виведення результатів вимірювань на дисплей 6 із зазначенням дійсних значень вимірюваних параметрів або їх відхилень від заданих.

Усі ЕОМ, що входять до складу КІМ, мають набір вимірювальних програм, алгоритмів стосовно задач вимірювання, тобто містить набір формул, за якими здійснюється розрахунок певних параметрів за результатами вимірювання координат окремих точок.

Завданням оператора є розробка оптимальної стратегії вимірювання деталі, написання програми вимірювання та аналіз отриманих результатів.

Компоновка КВМ залежить від габаритних розмірів і маси деталей; розташування вимірюваних поверхонь; необхідного числа координатних переміщень; необхідної точності вимірювань та ін.

Розрізняють компоновки КВМ з ***нерухомою*** та ***рухомою деталлю*** в процесі вимірювання. Компоновки з нерухомою деталлю є більш універсальними, точність переміщень менше залежить від маси та габаритів деталей, проте важче забезпечується точність переміщення вимірювальної головки.

Залежно від напрямку переміщення вузла вимірювальної головки розрізняють КВМ з вертикальною, горизонтальною компоновками, а також вимірювальні пристрої типу «рука». КВМ з вертикальною компоновкою мають високу жорсткість, точність, але доступ до горизонтальних отворів є ускладненим, вимірювальний простір обмежується стійками КВМ. Вертикальні компоновки розділяють на групи: портальні, мостові, консольні, стійкові.

Портальні компоновки є найбільш розповсюдженими. Характерною особливістю компоновок є П-подібний портал (рис. 5.39,а). Портальні компоновки мають високу жорсткість, точність, високі динамічні якості, зручність вимірювань.

Мостові компоновки використовується для великогабаритних КВМ (рис. 5.39,б) та дозволяють отримати меншу, порівняно з іншими компоновками, масу рухомих вузлів у поєднанні з високою жорсткістю конструкції.

Консольні компоновки відзначаються наявністю рухомої горизонтальної консолі (рис. 5.39,в). Такі КВМ мають кращий, порівняно з портальними, доступ до поверхонь деталі, проте нижчу жорсткість і є чутливими до зміни маси рухомих вузлів.

Стійкові компоновки характеризується наявністю рухомої або нерухомої відносно основи стійки, по якій, як правило, у вертикальному напрямку переміщується піноль або супорт (рис. 5.39,г). Така компоновка використовуються для прецизійних малогабаритних КВМ, призначених для вимірювання високоточних деталей складної форми.

Стійкові компоновки з горизонтальною пінолю відзначаються наявністю горизонтальної пінолі, до якої кріпиться вимірювальна головка (рис. 5.39,д). Компоновка забезпечує відкритий простір для установлення та огляду деталі в процесі вимірювань. Проте КВМ даної компоновки дуже чутливі до маси деталей через велику деформацію пінолі.

Вимірювальні пристрої типу «рука» відзначаються компактністю, легкістю, мобільністю, проте мають суттєво нижчу жорсткість порівняно з іншими компоновками (рис. 5.39,е).

а)

б)

в)

г)

д)

е)

Рис. 5.39 - Компоновки КВМ:

а) портальна; б) мостова; в) консольна; г) стійкова вертикальна;
д) стійкова горизонтальна; е) вимірювальна «рука»

Типи координатно-вимірювальних машин. Залежно від ступеню автоматизації процесу управління рухом робочих органів та обробки результатів вимірювань розрізняють КВМ ***ручні, напівавтоматичні та автоматичні***. На ручних КВМ всі операції, пов'язані з вимірюванням деталі, виконуються оператором вручну. Машина оснащується по кожній координаті датчиками переміщень з блоками цифрового відліку положення виконавчих органів. Такі машини оснащують жорстким наконечником. Типовими операціями для таких КВМ є вимірювання міжцентрових відстаней; визначення відстані між площинами, визначення координат точок плавних криволінійних поверхонь та ін. У напівавтоматичних КВМ переміщення робочих органів здійснюється вручну а обробка результатів вимірювань - автоматично, нарешті в автоматичних КВМ обидва процеси є автоматизованими.

Пристрої взаємодії КВМ з вимірюваною поверхнею. Розрізняють вимірювальні головки, жорсткі вимірювальні наконечники, оптичні, лазерні та ін. пристрої.

Вимірювальні головки є основним інструментом взаємодії КВМ з деталлю. Зале-

жно від виду взаємодії з вимірювальною поверхнею вимірювальні головки розділяють на контактні та безконтактні, механічні, електроконтактні, оптичні, пневматичні, тощо. За принципом дії розрізняють нульові головки та головки відхилення.

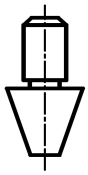
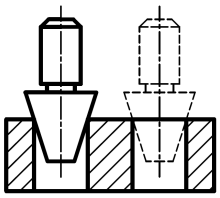
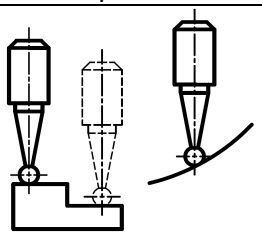
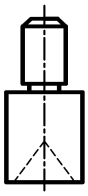
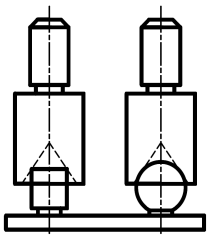
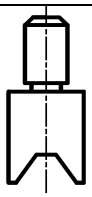
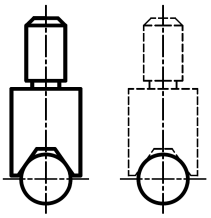
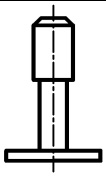
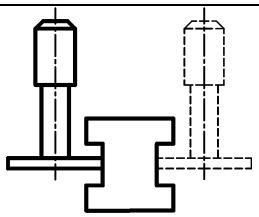
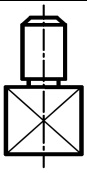
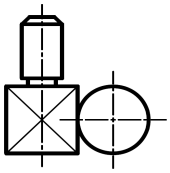
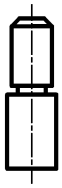
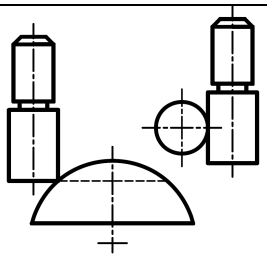
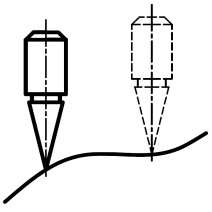
Нульові головки видають імпульсний пороговий сигнал під час дотику вимірювального наконечника до поверхні деталі.

Головки відхилення видають сигнал, пропорційний до величини переміщення наконечника відносно нульової точки.

Жорсткі вимірювальні наконечники застосовують лише в ручних КВМ. Наконечники складаються з хвостовика, контактного геометричного елемента (власне вимірювального наконечника) та стержня, який з'єднує наконечник з хвостовиком. Форма та розміри наконечника залежать від геометрії деталі, що вимірюється. Основні типи жорстких наконечників наведені на табл. 5.24.

Таблиця 5.24

Види наконечників координатно-вимірювальних машин

Види наконечників	Приклади використання	Види наконечників	Приклади використання
Конічний 		Сферичний	
Обернений конічний 		Обернений призматичний 	
Дисковий 		Кубічний 	
Пальцевий 		Голчастий	

В ручних КВМ найбільш широко застосовують конічні, циліндричні (в тому числі з лискою) та сферичні наконечники, а у вимірювальних головках - сферичний наконечник, за допомогою якого визначають положення площин, форму контурів, діаметр і положення осей отворів, циліндрів, сфер.

Для забезпечення доступу наконечника до вимірюваної поверхні застосовують перехідники різної форми та розмірів, зокрема зігнуті стержні, подовжувальні проставки, проміжні муфти, які дозволяють встановити наконечники під заданим кутом, адаптери для одночасного установлення кількох наконечників, наконечники у вигляді «їжака», тощо.

5.4.3 Принцип вимірювання на координатно-вимірювальній машині

Принцип координатних вимірювань. Під час координатних вимірювань визначають координати окремих точок реальних поверхонь деталі. Вимірювання виконуються від єдиної бази - системи координат КВМ. За координатами положення вимірювального наконечника отримують числову модель деталі або окремих поверхонь.

В автоматизованих КВМ за допомогою обчислювальної техніки та відповідного програмного забезпечення ведуться розрахунки:

- замінюючих елементів поверхонь (прилеглих, середніх);
- геометричних параметрів, що є похідними від замінюючих елементів (проекцій, площин симетрій, осей симетрії та ін.);
- перетворення координат точок вимірювання із системи координат машини в систему координат деталі;
- введення корекції в координати точок залежно від радіуса сфери вимірювального наконечника і напрямку нормалі до поверхні деталі в точці дотику;
- визначення відстаней та кутів між елементами;
- визначення відхилень розмірів, форми та розташування поверхонь і ліній, а також сумарних відхилень форми і розташування.

Системи координат. Розрізняють системи координат машини (СКМ) та системи координат деталі (СКД). Найчастіше застосовують декартову прямокутну систему координат. Осі СКМ співпадають з напрямними координатних переміщень КВМ, початок системи вибирається довільно. Застосовується також циліндрична (на площині - полярна) та сферична системи координат (рис.5.40).

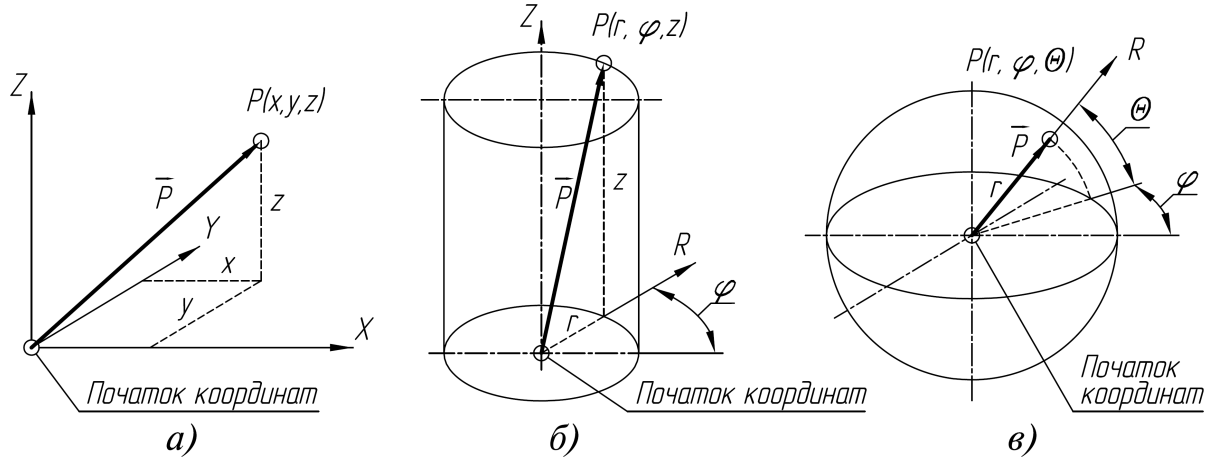


Рис. 5.40 – Системи координат машини (СКМ);

а) прямокутна; б) циліндрична; в) сферична;

φ – кут повороту (азимут) і проекційний кут в площині координат системи;

Θ - кут підйому відносно проекційної площини

Вимірювана деталь встановлюється на КВМ, як правило, без ретельної механічної вивірки. Значення координат точок деталі встановлюються в СКМ, а потім за формулами переходу приводяться до системи координат деталі (рис. 5.41). Кількість СКД не обмежують.

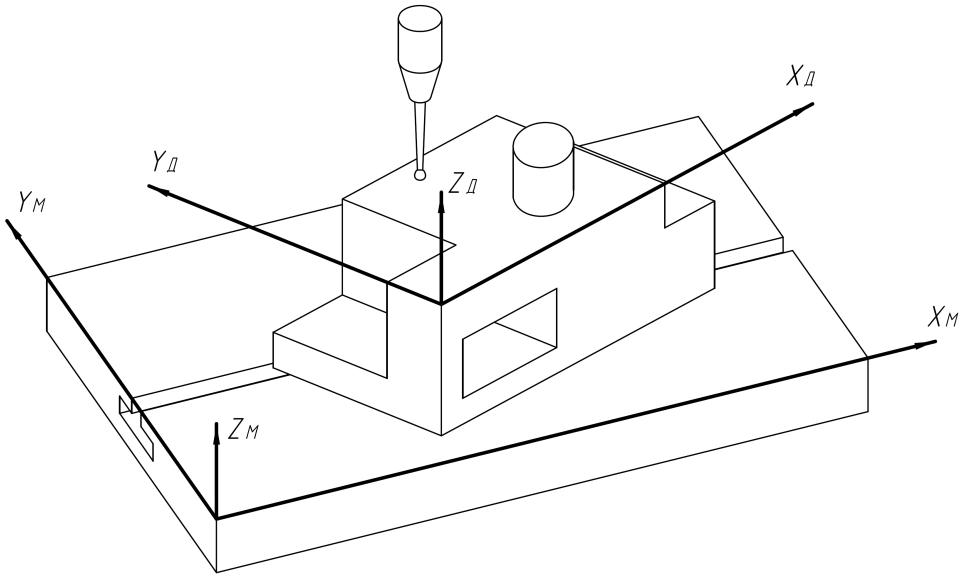


Рисунок 5.41 – Системи координат:
машини (СКМ) – осі $X_М$, $Y_М$, $Z_М$ та деталі (СКД) – осі $X_Д$, $Y_Д$, $Z_Д$

Стратегія вимірювання. Під час координатних вимірювань число точок вимірювань для окремого елемента деталі визначається залежно від виду елемента, його форми, допустимої похибки вимірювань та ін. Мінімальне число точок, за якими можуть бути визначені параметри деталі номінальної та реальної форми, наведено в табл. 5.25.

Таблиця 5.25

Мінімальна кількість точок вимірювання

Вид елемента	Номінальна форма	Відношення допуску форми до допуску розміру елемента			Вимірювання відхилення форми
		до 10	понад 10 до 50	понад 50	
Пряма	2	3	10	30 … 50	30 … 50
Коло	3	4	15	30 … 50	30 … 50
Площина	3	4	15	50 … 100	50 … 100
Сфера	4	6	18	40 … 70	40 … 70
Циліндр	5	8	25	40 … 80	40 … 80
Конус	6	12	36	50 … 100	50 … 100
Тор	7	10	30	50 … 100	50 … 100

Математичні залежності для визначення геометричних параметрів деталі.

Відстань між двома точками A (x_1, y_1) і B (x_2, y_2) на площині (рис. 5.42,а) визначається виразом:

$$a = |AB| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \tag{5.10}$$

Кут між сторонами трикутника ABC (рис. 5.42,б):

$$\cos\alpha = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2 \cdot b \cdot c} \tag{5.11}$$

Перехід від прямокутних координат до полярних (рис. 5.42,в):

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}\ ; \qquad tg\varphi = \frac{x}{y} \tag{5.12}$$

Перехід від полярних координат до прямокутних (рис. 5.42,в):

$$x = r \cdot \cos\varphi\ ; \qquad y = r \cdot \sin\varphi \tag{5.13}$$

Центр кола, описаного навколо вершин трикутника, є точка перетину серединних перпендикулярів до його сторін і має координати (рис. 5.42,г):

$$x_0 = \frac{\begin{vmatrix} x_1^2 + y_1^2 & y_1 & 1 \\ x_2^2 + y_2^2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 + y_3^2 & y_3 & 1 \end{vmatrix}}{2 \cdot \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}}; \qquad y_0 = \frac{\begin{vmatrix} x_1 & x_1^2 + y_1^2 & 1 \\ x_2 & x_2^2 + y_2^2 & 1 \\ x_3 & x_3^2 + y_3^2 & 1 \end{vmatrix}}{2 \cdot \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}} \tag{5.14}$$

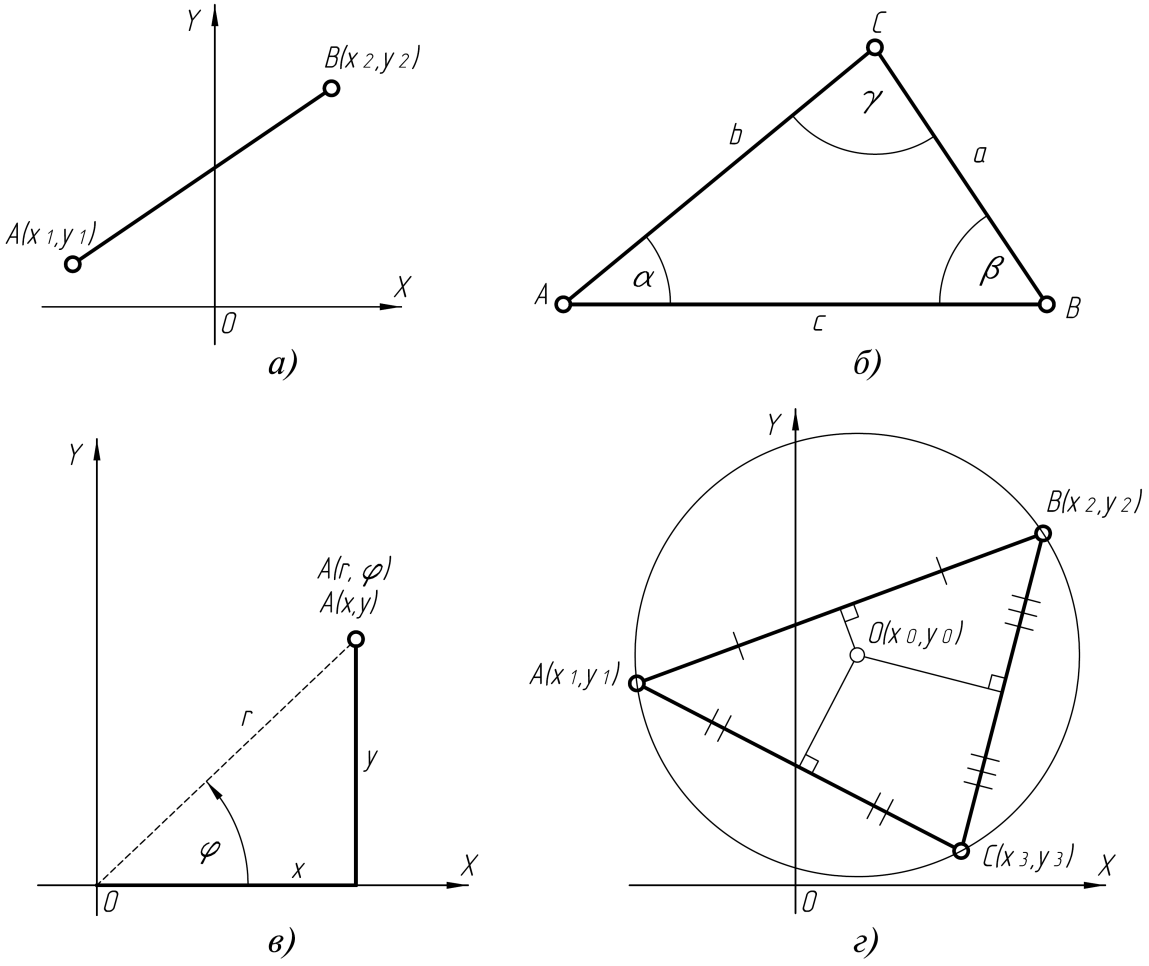


Рис. 5.42 – Схеми для визначення математичних залежностей:

а) відстань між двома точками; б) кут між сторонами трикутника;

в) перехід від прямокутних координат до полярних та навпаки;

г) координати центра кола, описаного навколо вершин трикутника

5.4.4 Визначення відхилень розташування отворів

Координатно-вимірювальна машина «MYTUTOYO» мод. TypeA-1 (рис. 5.43) є універсальною КВМ для розмірного контролю деталей та може використовуватися для вимірювання геометричних розмірів деталей; профілю деталей; відхилень від технічних вимог креслеників.

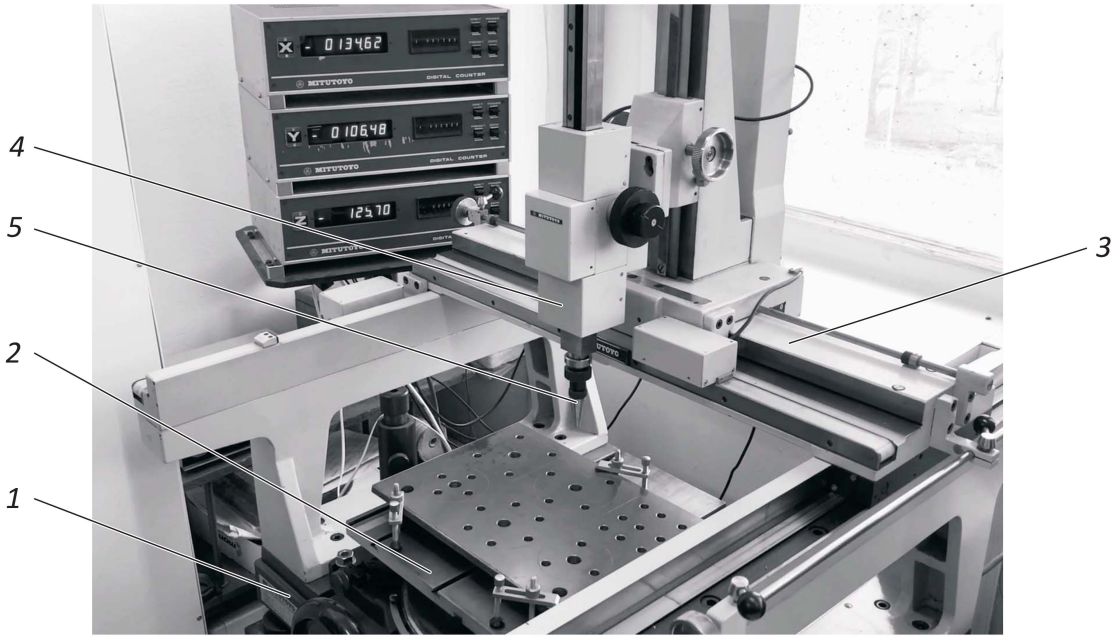


Рис. 5.43 - Конструктивні елементи координатно-вимірювальної машини «MYTUTOYO» мод. TypeA-1:

1 - основа; 2 – вимірювальний стіл; 3 – портал з механічною системою;
4 - піноль; 5 – вимірювальний щуп

КВМ є машиною портального типу з ручним керуванням, оснащена контактними датчиками торкання з комплектом наконечників (табл. 5.24) та забезпечує переміщення вздовж трьох осей: поперечне переміщення – вісь *X*; поздовжнє переміщення – вісь *Y*; вертикальне переміщення – вісь *Z*.

Осі розташовані перпендикулярно одна одній та утворюють типову тривимірну прямокутну систему координат.

Метрологічні характеристики координатно-вимірювальної машини наведені в табл. 5.26.

Таблиця 5.26

Метрологічні характеристики координатно-вимірювальної машини «MYTUTOYO мод. TypeA-1

№	Параметр	Значення
1.	Розміри робочої зони: (*X Y Z*), мм	400 x 400 x 215
2.	Максимальна висота деталі, мм	200
3.	Максимальне навантаження на стіл, кг	100
4.	Роздільна здатність вимірювальних лінійок, мм	0,01 мм
5.	Похибка вимірювань, мкм	3,5+*L*/300 *L* – вимірювана довжина, мм

Вимірювання відхилень розташування осей отворів під кріпильні елементи проводять наступним чином:

1. Для заданої деталі розробляють стратегію вимірювання залежно від виду розташування отворів (табл. 5.20, 5.22), маркуючи відповідні номера отворів, початок системи координат деталі знаходиться на осі отвору з цифрою *0.*
2. Вимірювану деталь встановлюють та закріплюють на столі КВМ і центрують відносно системи координат машини.
3. З комплекту наконечників вибирають жорсткий конічний наконечник та вставляють в піноль КВМ. Розмір наконечника вибирають таким чином, щоб діаметр його малої основи був меншим за діаметр отвору вимірюваної деталі, а діаметр великої основи – більшим.
4. Вимірювальний наконечник плавно вводять в отвір з номером 0, на електронному блоці встановлюють нульові покази цифрової індикації осей XY. Вісь Z в роботі не використовується, тому на електронному блоці покази цифрової індикації осі Z вимикають.
5. Послідовно, відповідно до прийнятої стратегії, вимірюють координати положення осей усіх отворів деталі. Вимірювання проводять шляхом плавного введення вимірювального наконечника в кожний отвір, до його фіксації, реєструючи координати положення наконечника (осі X, Y).
6. Впевнитись у правильності налаштування КВМ шляхом перевірки координат осі точки *0*. Координати точки *0* не повинні відрізнятися від початкових (0, 0).
7. Вимірювання положення осей отворів осей отворів під кріпильні елементи виконують тричі. Результати заносять до протоколу (табл. 5.27).

Таблиця 5.27

Протокол вимірювань відхилень розташування осей отворів під кріпильні елементи

№ отвору	Номінальне розташування	Дійсний розмір				Дійсне відхилення	Позиційне відхилення	Висновок про придатність
		1	*2*	*3*	Середнє значення			
	x=	*x=*	*x=*	*x=*		*δLx=*	*EPP=*	
	y=	*y=*	*y=*	*y=*		*δLy=*		
	x=	*x=*	*x=*	*x=*		*δLx=*	*EPP=*	
	y=	*y=*	*y=*	*y=*		*δLy=*		

Визначення відхилень розташування осей отворів під кріпильні елементи проводять наступним чином:

1. У прийнятій системі координат визначають координати номінального положення осей кожного отвору та середні значення координат осей виміряних отворів.
2. Для кожного отвору визначити позиційні відхилення їх осей EPP, за залежністю (5.10).

3. В залежності від виду розташування отворів, відповідно до табл. 5.20, 5.22, визначають нормовані відхилення розмірів, що координують осі отворів, за залежностями (5.10) – (5.12). Результати заносять до протоколу (табл. 5.28).

Таблиця 5.28

Протокол оцінка придатності розташування осей отворів під кріпильні елементи за допусками на відхилення розмірів, що координують осі отворів

№ отвору	Розмір (параметр) за табл. 1.2, 1.4	Номінальний розмір	Дійсний розмір	Дійсне відхилення	Допустиме відхилення	Висновки про придатність

Оцінки придатності деталі за результатами вимірювань

Приклад. Виконати оцінку придатності деталі за результатами вимірювань.

Для деталі (рис. 5.44) позиційний допуск осі отвору відносно поверхонь А і Б за кресленником складає: *TPP* = 0,05 мм.

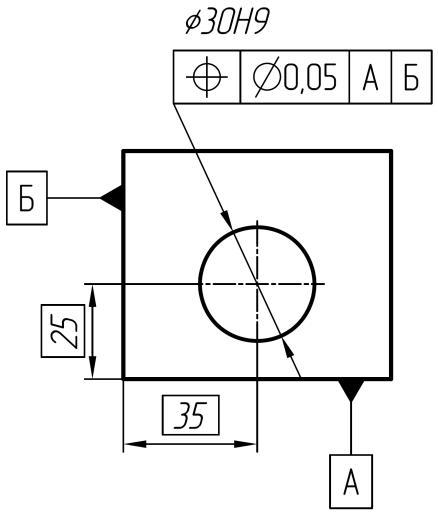


Рис. 5.44 – Ескіз деталі

Номінальні розміри положення осі отвору

$$L_x^H = 35 \text{ мм}, \quad L_y^H = 25 \text{ мм}.$$

Замість вимірювань позиційного допуску виконують вимірювання розмірів

$$L_x^H \text{ та } L_y^H L_y.$$

Дійсні розміри становлять:

$$L_x^\partial = 35{,}01 \text{ мм}, \; L_y^\partial = 24{,}98 \text{ мм}.$$

1. ***Оцінка придатності деталі за позиційним допуском*** (комплексний характер оцінки).

1.1 Визначаються відхилення розмірів:

$$\Delta L_x = L_x^\partial - L_x^H = 35{,}01 - 35 = 0{,}01 \text{ мм};$$

$$\Delta L_y = L_y^\partial - L_y^H = 24{,}98 - 25 = -0{,}02 \text{ мм},$$

де L_x^∂, L_y^∂ - дійсні розміри;

L_x^H, L_y^H - номінальні розміри за координатами *x, y*.

1.2 Визначається позиційне відхилення:

$$EPP = \sqrt{(\Delta L_x)^2 + (\Delta L_y)^2} = \sqrt{(0{,}01)^2 + (-0{,}02)^2} = 0{,}0223 \text{ мм}.$$

1.3 Виконується порівняння позиційного відхилення з позиційним допуском.

Оскільки позиційний допуск *TPP*=0,05 мм на кресленику заданий у діаметральному вираженні, то порівнювати з допуском треба подвоєне значення відхилення *EPP*, тобто:

$$2EPP = 2 \cdot 0{,}0223 = 0{,}0446 \text{ мм}$$

Перевіряється виконання умови

$$2EPP \le TPP$$

$$0{,}0446 \le 0{,}05$$

Оскільки умова виконується, відповідно *деталь є придатною*.

2. Оцінка придатності деталі за допусками на відхилення розмірів, що координують розташування осей (диференційний характер оцінки).

2.1 Встановлюють вид розташування отворів (табл. 5.19) ***V***.

Для виду розташування отворів ***V*** нормуються (табл. 5.19) граничні відхилення $\pm\delta L$ розмірів L_x і L_y.

Для позиційного допуску в діаметральному вираженні 0,05 мм, за (табл. 5.20), визначається величина граничних відхилень $\pm\delta L$ =0,018 мм.

2.2. Перевіряється виконання умов:

$|\Delta L_x| \le \delta L$ $\quad$ $|\Delta L_x| = 0{,}01 < 0{,}018$ $\quad$ *умова виконується*

$|\Delta L_y| \le \delta L$ $\quad$ $|\Delta L_y| = |-0{,}02| > 0{,}018$ $\quad$ *умова не виконується*

Оскільки перша умова виконується, а друга – ні (значення $|\Delta L_y| > 0{,}018$ мм). Деталь має бути забракованою.

Але, якщо в технологічній документації допускається оцінювання придатності деталі за позиційним допуском, то деталь вважають придатною, бо виконується умова: $2EPP \le TPP$ (див. приклад п. 1.3).

5.4.5 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо точності форми та розташування циліндричних поверхонь (п. 5.1).
2. Вивчити будову та принцип дії координатно-вимірювальної машини
3. Виконати ескіз вимірюваної деталі, позначити осі координат та призначити стратегію вимірювання в залежності від виду розташування отворів (табл. 5.20, 5.22), маркуючи відповідні номери отворів, початок системи координат деталі знаходиться на осі отвору з цифрою *0* (п. 5.4.4).
4. За допомогою учбового майстра провести вимірювання координат розташування осей отворів під кріпильні елементи (п. 5.4.4).
5. Для кожного отвору визначити позиційні відхилення їх осей *EPP* (п. 5.4.4). Порівняти їх з допуском *TPP* та зробити висновок щодо придатності розташування осей отворів.
6. В залежності від виду розташування отворів, відповідно до табл. 5.20, 5.22, визначають нормовані відхилення розмірів, що координують осі отворів (п. 5.4.4). Порівняти їх з гранично допустимими значеннями (табл. 5.21, 5.23) та зробити висновок щодо придатності розташування осей отворів під кріпильні елементи.
7. Зробити висновок про придатність деталі.

5.5 Лабораторна робота №15. Вимірювання радіального, повного радіального, торцевого та повного торцевого биття

Мета роботи

Вивчення методики та техніки вимірювання сумарних відхилень форми та розташування циліндричних поверхонь.

Зміст роботи

Виміряти сумарні відхилення форми та розташування (радіальне та торцеве биття) ступінчастого валика та встановити чи відповідає виміряна деталь заданому полю допуску.

Технічне забезпечення

1. Електронна вимірювальна система з індуктивним перетворювачем моделі 214 – 1 шт.
2. Стійка з центрами – 1 шт.
3. Валик ступінчастий – 1 шт.
4. Штангенциркуль – 1 шт.

5.5.1 Будова та принцип дії вимірювальної системи з індуктивним перетворювачем

Для вимірювання сумарних допусків форми та розташування поверхонь обертання дозволяється використовувати будь-які методи та засоби вимірювання, що забезпечують надійний контроль допусків деталей, заданих кресленіком.

Для вимірювання сумарних відхилень форми та розташування циліндричних поверхонь (радіального та торцевого биття) в лабораторній роботі використовується електронна вимірювальна система з індуктивним перетворювачем моделі 214. Вимірювання здійснюються **методом безпосередньої оцінки**, коли значення вимірюваної величини визначають безпосередньо за відліковим пристроєм вимірювального засобу.

Метрологічні характеристики електронної вимірювальної системи з індуктивним перетворювачем моделі 214 наведена в табл. 5.29

Таблиця 5.29

Метрологічні характеристики електронної вимірювальної системи моделі 214, мкм

Параметри	Числові значення				
Діапазон вимірювань, мкм	-3 … +3	-30 … +30	-150 … +150	-300 … +300	-1500 … +1500
Ціна поділки, мкм	0,1	1,0	5	10	50
Границі допустимої похибки, мкм	0,1	1,0	5	10	50
Вимірювальне зусилля перетворювача не більше 60 сН.					

Стенд для вимірювання радіального та торцевого биття наведено на рис. 5.45. Вимірювання здійснюють за допомогою електронної вимірювальної системи моделі 214 з індуктивним перетворювачем, яка складається з електронного блока *1* та індуктивного перетворювача *2* моделі 223 (рис. 5.45).

Деталь 7 закріплена в центрах 10, які установлені на рухомій каретці 11. Положення каретки фіксується гвинтом 12 (рис. 5.45,а). Індуктивний перетворювач закріплений в кронштейні 3 на стійці 4, що забезпечує плавну подачу вимірювального наконечника 5. Кронштейн з наконечником можна повертати на певний кут (рис. 5.45,б). Це положення кронштейна фіксується гвинтом 9, а положення кронштейна на стійці - стопорним гвинтом 8.

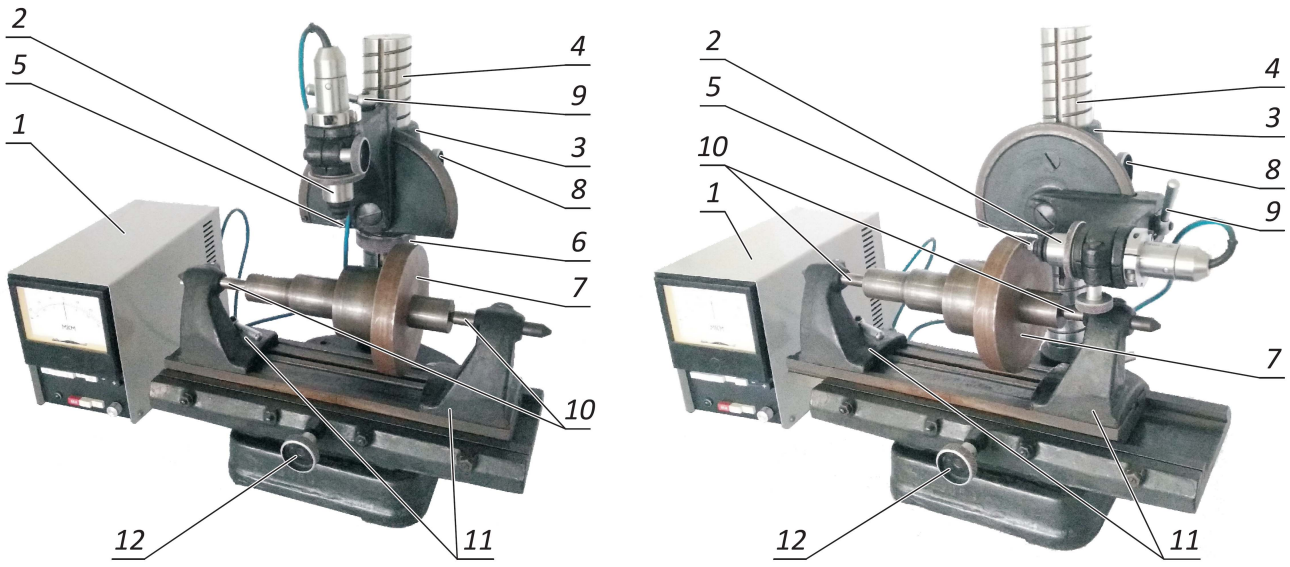
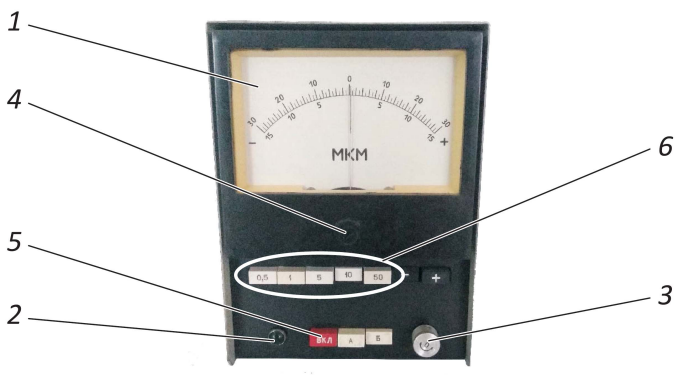


Рис. 5.45 – Стенд для вимірювання биття: радіального (а), торцевого (б)

1 – електронний блок; 2 – індуктивний перетворювач; 3 – кронштейн; 4 – стійка; 5 – наконечник; 6 – підтримуюча гайка; 7 – вимірювана деталь; 8 – стопорний гвинт; 9 – гвинт для установки положення кронштейна; 10 – центри; 11 – каретка з центрами; 12 – гвинт для фіксування каретки

Перетворювач з електронним блоком з`єднаний електричним проводом. Органи управління системи розташовані на передній панелі електронного блоку (рис. 5.46): кнопкою *5* вмикається система; кнопками 6 виставляється ціна поділки. Також на передній панелі розташовані показувальний пристрій *1*, сигнальна лампа *2* ("прилад увімкнений"), отвір *4* для механічної установки стрілки показувального пристрою на нуль при увімкненому приладі та ручка *3* електричної установки нуля.



1 – показувальний пристрій
2 – сигнальна лампа;
3 – ручка електричної установки нуля;
4 – отвір для механічної установки стрілки показувального пристрою на нуль при увімкненому приладі;
5 – кнопка вмикання приладу;
6 – кнопки, за допомогою яких виставляється ціна поділки

Рис. 5.46 – Передня панель електронного блоку

5.5.2 Вимірювання сумарних відхилень форми та розташування циліндричних поверхонь

Схема вимірювання радіального та торцевого биття наведена на рис. 5.47.

Оскільки радіальне биття є різницею найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі в перерізі площиною, перпендикулярної до базової осі, а торцеве биття є різницею найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю торцевої поверхні до площини, перпендикулярної до базової осі, слід визначитися з базовою віссю.

Для ступінчастого валика, в лабораторній роботі, базовою віссю є спільна вісь центрових отворів, відповідно, деталь встановлюється в центрах *4* (рис. 5.47), а вимірювальний індикатор 5 встановлюють перпендикулярно вимірюваній поверхні, тобто:

– для радіального биття – перпендикулярно до осі деталі (рис. 5.47, а);

– для торцевого биття – паралельно до осі деталі (рис. 5.47, б).

Радіальне та торцеве биття вимірюється на ділянках ступінчастого валика, для яких нормується задане кресленіком відхилення.

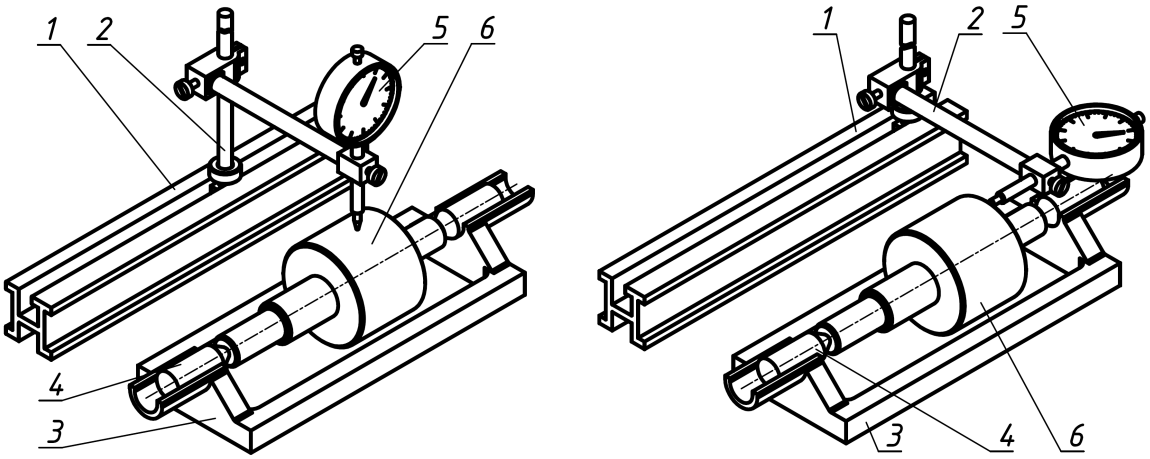


Рис. 5.47 – Схема вимірювання радіального (а) та торцевого (б) биття

1 – опора, 2 – стійка, 3 – каретка, 4 – центри, 5 – індикатор, 6 – деталь

Вимірювання радіального биття. Перед початком роботи на електронному блоці необхідно встановити потрібну ціну поділки (наприклад, 0,1 мкм) і увімкнути прилад. Потім рукою надати переміщення вимірювальному наконечнику перетворювача, щоб упевнитись у плавності руху стрілки на всьому діапазоні вимірювань.

Після 30-хвилинного прогріву з моменту вмикання приладу в електромережу можна проводити вимірювання.

Перетворювач закріплений у кронштейні 3, як показано на рис. 5.45, тобто перпендикулярно осі вала.

Плавна подача наконечника перетворювача здійснюється за допомогою підтримуючої гайки *6* на стійці, попередньо відкрутивши гвинт 8. Поступовим обертанням гайки *6*, опускають кронштейн разом із перетворювачем до тих пір, поки вимірювальний наконечник доторкнеться до поверхні валу і стрілка показувального пристрою 1

суміститься з нульовою поділкою шкали. Фіксують це положення кронштейна стопорним гвинтом 8. Якщо після фіксування стрілка все ж таки відхилилася від нуля на декілька поділок, то остаточну установку на нуль можна виконати за допомогою рукоятки 3 на передній панелі приладу (рис. 5.46).

Після цього вимірюваний вал поступово обертають навколо осі на 360°, спостерігаючи за рухом стрілки, відмічаючи найбільші відхилення стрілки по обидва боки від нуля. Визначають, в межах повного оберту валу, найбільший і найменший покази за шкалою (з урахуванням знаків), які заносять в протокол вимірювань (табл. 5.30). Потім повторюють аналогічні дії на інших ступенях вала. Якщо, під час обертання вала, стрілка відхиляється за межі шкали, необхідно натиснути на передній панелі електронного блоку кнопку з ціною поділки 0,2 і т.д.

Таблиця 5.30

Протокол вимірювання радіального биття

Діаметр ділянки, мм	Покази приладу, мкм		Радіальне биття *ECR*, мкм	Допуск радіального биття, *TCR*, мкм	Ступінь точності
	min	*max*			

Вимірювання торцевого биття. Відкрутити стопорний гвинт 8 і підняти кронштейн до найвищого положення на стійці. Відкрутити гвинт 9 і повернути перетворювач з кронштейном, як показано на рис. 5.47,б. Зафіксувати це положення гвинтом 9. Опустити, за допомогою підтримуючої гайки 6, кронштейн до тих пір поки вимірювальний наконечник не стане напроти вимірювальної торцевої поверхні. Зафіксувати це положення гвинтом 8. Підвести каретку з центрами до наконечника поки вимірювальний наконечник доторкнеться до поверхні торцевої поверхні і стрілка показувального пристрою 1 суміститься з нульовою поділкою шкали. Зафіксувати це положення гвинтом 12. Якщо після фіксування стрілка все ж таки відхилилася від нуля на декілька поділок, то остаточну установку на нуль можна виконати за допомогою рукоятки 3 на передній панелі приладу (рис. 5.46).

Після цього вимірюваний вал поступово обертають навколо осі на 360°, спостерігаючи за рухом стрілки, відмічаючи найбільші відхилення стрілки по обидва боки від нуля. Визначають, в межах повного оберту валу, найбільший і найменший покази за шкалою (з урахуванням знаків), які заносять в протокол вимірювань (табл. 5.31). Потім повторюють аналогічні дії на інших заданих торцевих поверхнях валу.

5.5.3 Обробка результатів вимірювань

Радіальне биття *ECR* визначається, як різниця найбільшого та найменшого показів приладу (з урахуванням знаків) на кожному діаметрі вала. Результати розрахунків заносять в протокол вимірювань (табл. 5.30).

Таблиця 5.31

Протокол вимірювання торцевого биття

Номінальний розмір вала _____ мм

Торцева поверхня ділянки	Покази приладу, мкм		Торцеве биття *ECA*, мкм	Допуск торцевого биття, *TCA*, мкм	Ступінь точності
	min	*max*			
ліва					
права					

Торцеве биття *ECA* визначається, як різниця найбільшого та найменшого показів приладу (з урахуванням знаків) на кожній заданій торцевій поверхні вала. Результати розрахунків заносять в протокол вимірювань (табл. 5.31).

Допуск радіального биття призначається за величиною радіального биття та номінальним розміром вимірюваної циліндричної поверхні *d* за табл. 5.5, виходячи з умови, що допуск радіального биття *TCR* повинен бути більшим за радіальне биття *ECR*:

$$ECR \le TCR$$

Ступінь точності ділянки вала, який відповідає призначеному допуску радіального биття *TCR*, визначається за табл. 5.5. Результати розрахунків заносять в протокол вимірювань (табл. 5.30).

Допуск торцевого биття призначається за величиною торцевого биття та номінальним розміром циліндричної поверхні *d*, на торцевій поверхню якої вимірювалось торцеве биття, за табл. 5.6, виходячи з умови, що допуск торцевого биття *TCA* повинен бути більшим за торцеве биття *ECA*:

$$ECA \le TCA$$

Ступінь точності торцевої поверхні вала, який відповідає призначеному допуску торцевого биття *TCA*, визначається за табл. 5.6. Результати розрахунків заносять в протокол вимірювань (табл. 5.31).

Після цього в протоколі виконується ескіз валу, на якому вказуються розміри вимірюваних циліндричних поверхонь, бази та призначені допуски радіального та торцевого биття.

5.5.4. Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо точності форми та розташування циліндричних поверхонь (п. 5.1).
2. Вивчити будову приладу для вимірювання биття.
3. Виміряти діаметри та довжину ділянок ступінчастого валика за допомогою штангенциркуля (п. 2.4.2), дані занести в протокол вимірювань (табл. 5.30, 5.31).
4. Виміряти радіальне биття відповідно до п. 5.5.2, дані занести в протокол вимірювань (табл. 5. 30).
5. Виміряти торцеве биття відповідно до п. 5.5.2, дані занести в протокол вимірювань (табл. 5.31).
6. За даними вимірювання обчислити радіальне та торцеве биття (п. 5.5.3), дані занес-

ти в протокол результатів вимірювань (табл. 5.30, 5.31).

7. Призначити допуски радіального та торцевого биття виміряної поверхні та ступінь точності (п. 5.5.3), занести в протокол результатів вимірювань (табл. 5.30, 5.31).
8. Побудувати ескіз вала, на якому вказати його розміри та призначені допуски радіального та торцевого биття.

5.6 Контрольні запитання

- ***до теоретичної, частини***

1. Дайте визначення термінів, які використовуються для нормування точності форми циліндричних поверхонь.
2. Дайте визначення термінів: відхилення від круглості; поле допуску круглості; овальність; огранювання; відхилення профілю поздовжнього перерізу; відхилення від циліндричності; поле допуску циліндричності.
3. Як кількісно оцінюються відхилення форми?
4. Які є комплексні відхилення форми циліндричних поверхонь і як визначається комплексне відхилення форми ?
5. Які є окремі відхилення форми циліндричних поверхонь?
6. Як позначаються позиційні допуски та відхилення на кресленикаx деталей?

- ***до лабораторної роботи №12***

7. За яким методом виконуються вимірювання на вертикальному оптиметрі?
8. Як налаштовується оптиметр на нуль?
9. Як виконується вимірювання овальності та відхилення профілю поздовжнього перерізу?
10. Як виконується вимірювання огранювання?
11. Як визначається відхилення від циліндричності?

- ***до лабораторної роботи №13***

12. За яким методом виконуються вимірювання на кругломірі?
13. Поясніть принцип дії кругломіра моделі «Таліронд».
14. Що відображено на круглограмі?
15. Як за круглограмою визначається відхилення від круглості?
16. Як за круглоірамами визначається відхилення від циліндричності?

- ***до лабораторної роботи №14***

17. Які типи з’єднань передбачені стандартом для деталей, що мають отвори з паралельними осями під кріпильні деталі (болти, гвинти, шпильки та ін.)?
18. Способи призначення допусків розташування осей отворів під кріпильні деталі. Особливості їх застосування.
19. За якими формулами визначаються параметри деталі в прямокутній та полярній системах координат?
20. Які умови повинні бути виконані, щоб деталь визнати придатною?

21. Стратегія вимірювання поверхні деталі.
22. Компоновки координатно-вимірювальних машин.
23. Пристрої взаємодії координатно-вимірювальних машин з поверхнею деталі.

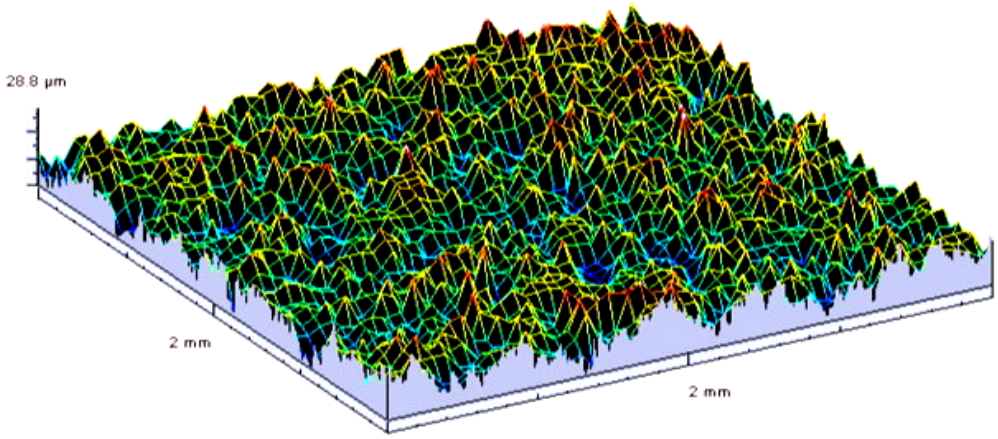
- ***до лабораторної роботи №15***

24. За яким методом виконуються вимірювання радіального та торцевого биття?
25. Як вимірюють радіальне та торцеве биття?
26. Що є вимірювальною базою під час вимірювання радіального та торцевого биття?

5.7 Рекомендована література до розділу 5

1. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 1 [Текст]: навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – С. 29-56.
3. Якимчук Г. К., Кирилюк Ю. Є., Саранча Г. А.. Взаємозамінність, стандартизація, метрологія та технічні вимірювання: Підручник / За ред. Г.К. Якимчука. – К.: «Основа», 2006. -560 с.
4. ДСТУ ISO 1101 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Геометричні допуски. Допуски форми, орієнтації, розташуввання і биття.
5. ДСТУ 2498 Основні норми взаємозамінності. Допуски форми та розташування поверхонь. Терміни та визначення.
6. ДСТУ ГОСТ 2.308 Єдина система конструкторської документації. Зазначення допусків форми та розміщення поверхонь.
7. ГОСТ 2.308 Единая система конструкторської документации. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей.
8. Оптиметр вертикальный ОВО - 1. Модель ИКВ - 1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Л. : Ленинградское оптико-механическое объединение им. В. И. Ленина. –1991, 32 с.
9. Модель 2.Талиронд. Руководство по эксплуатации. Лестер, Англия : Организация РЭНК РЭНК Тейлор Гобсон. –1991, 52 с.
10. MYTUTOYO Type A-1. Manual coordinate measuring machine. Japan : Mytutoyo. – 1994.
11 Проибор показывающий с индуктивным преобразователем. Модель 214. Паспорт. Московский инструментальный завод «Калибр». –1981, 16 с.
12. Гапшис В.А. Координатные измерительные машины и их применение / В. А. Гапшис, А. Ю. Каспарайтис, М. Б. Модестов и др. – М.: Машиностроение, 1988. –328 с.

РОЗДІЛ 6
ВИМІРЮВАННЯ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ



6.1. Параметри шорсткості поверхні

У процесі виготовлення деталей, на їх поверхнях утворюються сліди оброблення, нерівності, залишені інструментом, які формують **шорсткість поверхні** деталі.

Шорсткість поверхні

> сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділена, наприклад, за допомогою базової довжини.

Шорсткість поверхні визначає більшість функціональних властивостей поверхні та впливає на експлуатаційні показники, такі як: щільність прилягання поверхонь з'єднань, зносостійкість, контактна міцність, світловідбивна здатність, теплопередача, утримання мастила, адгезія, тощо.

Напрямок нерівностей

> умовний малюнок, утворений нормальними проекціями екстремальних точок нерівностей поверхні на середню поверхню.

Напрямок нерівностей визначається напрямком переважного малюнка поверхні та, зазвичай, залежить від прийнятого технологічного процесу утворення поверхні.

Нормування шорсткості поверхонь базується на системі середньої лінії – системі відліку, що використовується для оцінювання параметрів шорсткості поверхні, в якій за базову лінію вибрана середня лінія профілю.

Середня лінія профілю *m*

> базова лінія, яка має форму номінального профілю та ділить реальний профіль так, що в межах базової довжини сума квадратів відхилень профілю від цієї лінії є мінімальна.

Збільшене зображення реального профілю, отримане під час вимірювання шорсткості, називають профілограмою (рис. 6.1). Профілограму розглядають на базовій довжині l.

Рис. 6.1 - Профілограма профілю поверхні

Базова лінія профілю

> лінія заданої геометричної форми, певним чином проведена відносно профілю та служить для оцінки його геометричних параметрів.

Базова довжина l

довжина базової лінії, що використовується для відокремлення нерівностей, які характеризують шорсткість поверхні.

Довжина оцінки l_n

довжина, що використовується для оцінки досліджуваного профілю.

Довжина оцінки l_n може містити одну або декілька значень базової довжини l (рис. 6.2). ДСТУ ISO 4288 рекомендує використовувати п'ять базових довжин, як основу оцінки шорсткості поверхні.

Повна довжина трасування *L*

повна довжина трасування *L* включає довжину оцінки l_n, а також довжину розгону щупа на початку вимірювання та довжину гальмування наприкінці вимірювання.

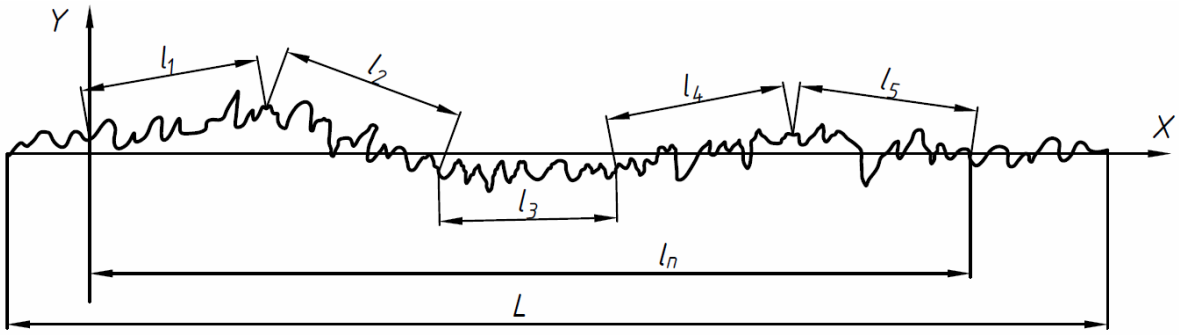


Рис. 6.2 – Схема визначення базової довжини l, довжини оцінки l_n та повної довжини трасування L

6.1.1. Геометричні параметри шорсткості поверхні

Відхилення профілю *y*

відстань між точкою реального профілю та базовою, середньою лінією. (рис. 6.3)

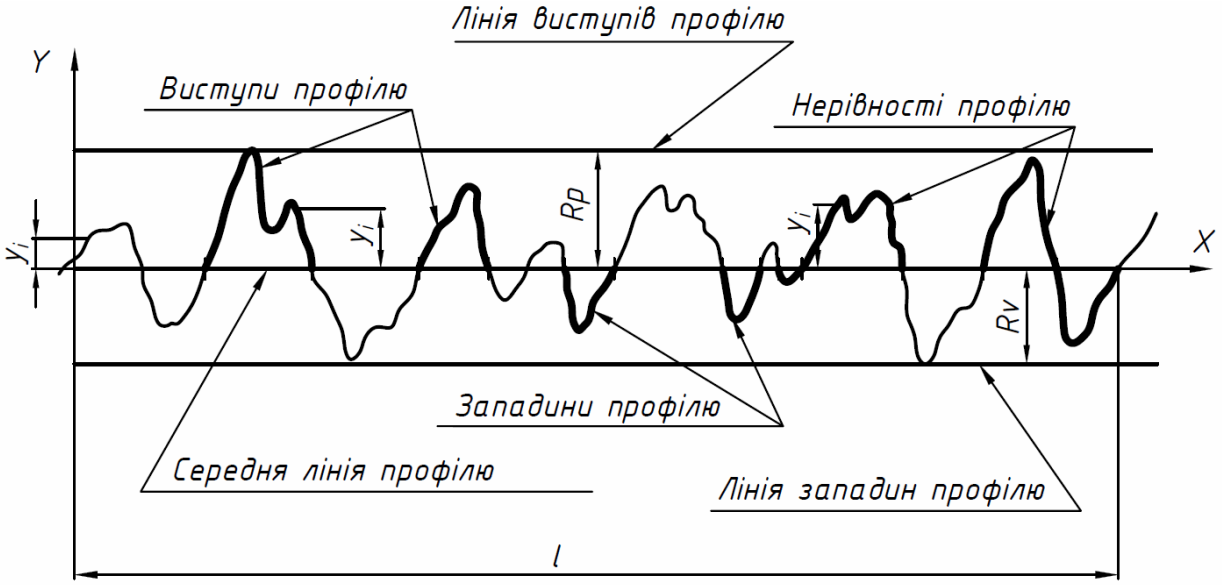


Рис. 6.3 – Відхилення профілю y_i, виступи та западини профілю

Виступ профілю

частина реального профілю, що з'єднує дві сусідні точки перерізу його з середньою лінією профілю і направлена із тіла (рис. 6.3).

Западина профілю

частина реального профілю, що з'єднує дві сусідні точки перерізу його з середньою лінією профілю та направлення в тіло (рис. 6.3).

Нерівність профілю

виступ профілю і сполучена з ним западина профілю.

Лінія виступів профілю

лінія, що еквідистантна середній лінії та проходить через найвищу точку профілю в межах базової довжини (рис. 6.3).

Лінія западин профілю

лінія, що еквідистантна середній лінії та проходить через нижчу точку профілю в межах базової довжини (рис. 6.3).

Місцевий виступ профілю

частина реального профілю, розташована між двома сусідніми мінімумами профілю (рис. 6.4).

Місцева западина профілю

частина реального профілю, розташована між двома сусідніми максимумами профілю(рис. 6.4).

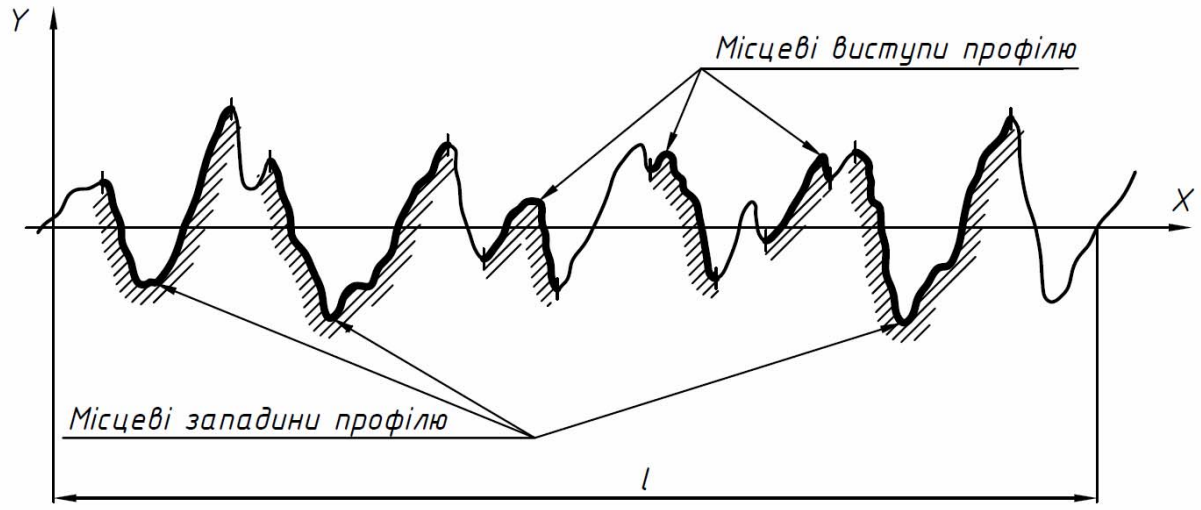


Рис. 6.4 – Місцеві виступи та западини профілюі

6.1.2. Параметри висоти нерівностей профілю

Середнє арифметичне відхилення профілю *Ra*

середнє арифметичне абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини.

$$Ra = \frac{1}{l} \cdot \int_0^l |y(x)| \cdot dx, \tag{6.1}$$

де $y(x)$ - відхилення профілю;

l - базова довжина.

або за дискретного способу оцінювання

$$Ra \approx \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} |y_i|, \tag{6.2}$$

де y_i - відхилення профілю у вибраних (дискретних) точках;

n - кількість дискретних точок профілю.

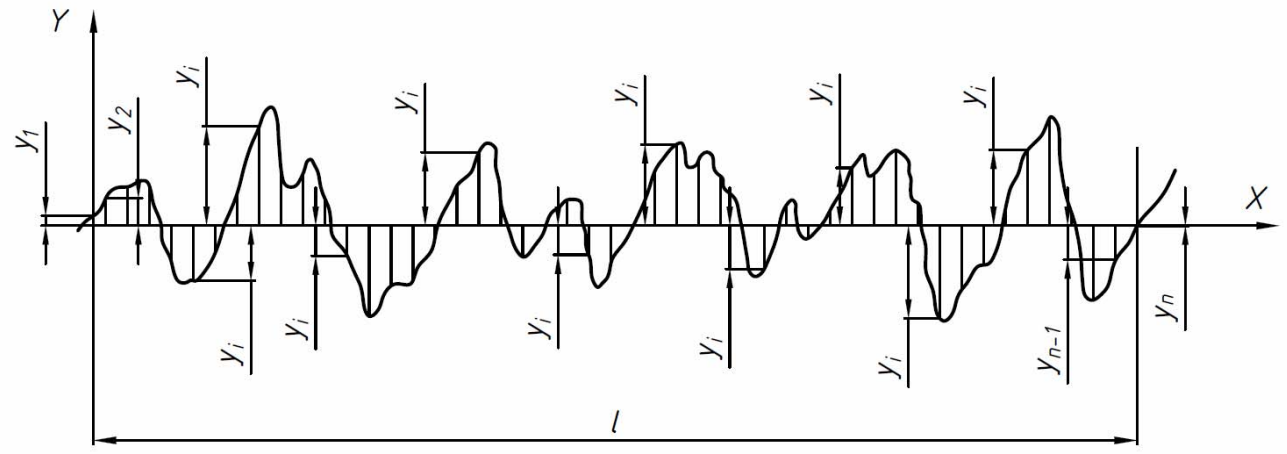


Рис. 6.5 – Схема визначення середнього арифметичного відхилення профілю Ra

Значення *Ra*, визначене на базовій довжині, характеризує середню амплітуду профілю шорсткості, тому одиничний нетиповий виступ або западина незначно впливають на значення *Ra*.

Практично, середнє значення *Ra* визначається в межах декількох послідовних базових довжин, відповідно рекомендацій стандарту ДСТУ ISO 4288, в межах 5-ти базових довжин. Це гарантує, що *Ra* є представницьким параметром для виміряної поверхні, проте, не містить ніякої інформації про форму нерівностей профілю.

Висота нерівностей профілю по десяти точках *Rz (ДСТУ 2413)*

сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю та глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини.

$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^{5} |y_{pm_i}| + \sum_{i=1}^{5} |y_{vm_i}|}{5}, \tag{6.3}$$

де y_{pm_i} - висота i-го найбільшого виступу профілю;

y_{vm_i} - глибина i-ї найбільшої западини профілю.

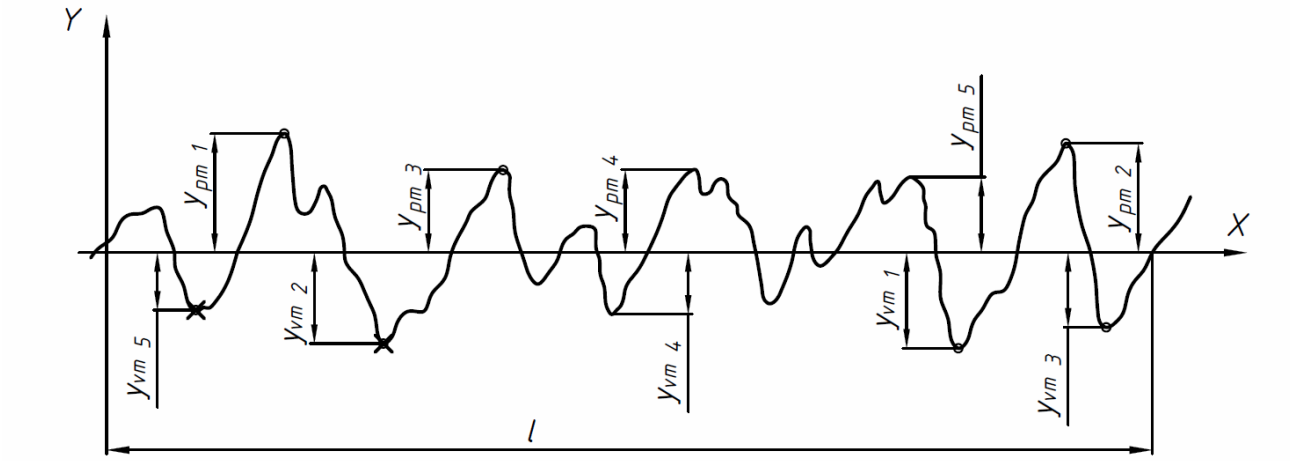


Рис. 6.6 - Схема визначення висоти нерівностей профілю по десяти точках Rz

Найбільша висота нерівностей профілю *Rmax*

відстань між лінією виступів і лінією западин профілю в межах базової довжини.

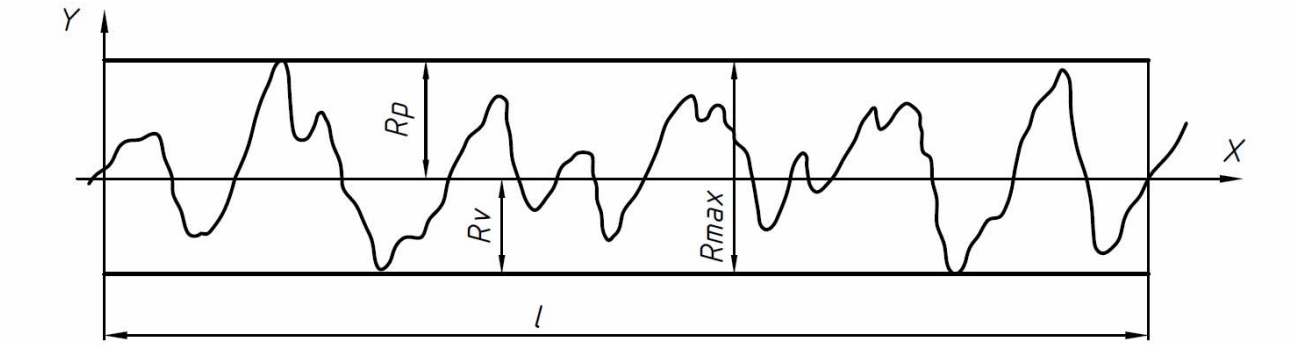


Рис. 6.7 - Схема визначення найбільшої висоти нерівностей профілю Rmax

6.1.3. Параметри кроку нерівностей профілю

Крок місцевих виступів профілю

довжина відрізка середньої лінії між проекціями на неї двох найвищих точок сусідніх місцевих виступів профілю.

Крок нерівностей профілю

відрізок середньої лінії профілю, що обмежує нерівність профілю.

Середній крок місцевих виступів профілю *S*

середнє значення кроку місцевих виступів профілю в межах базової довжини.

$$S = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} S_i , \qquad (6.4)$$

де S_i - крок i-го місцевого виступу профілю;

n - кількість місцевих виступів профілю.

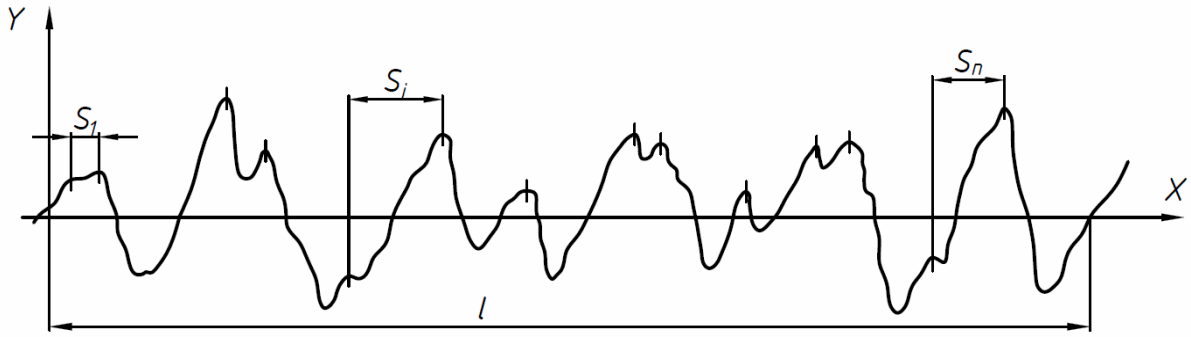


Рис. 6.8 - Схема визначення середнього кроку місцевих виступів профілю S

Середній крок нерівностей профілю *Sm*

середнє значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини.

$$Sm = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} Sm_i \,, \tag{6.5}$$

де Sm_i - крок i-ї нерівності профілю;

n - кількість кроків нерівностей профілю.

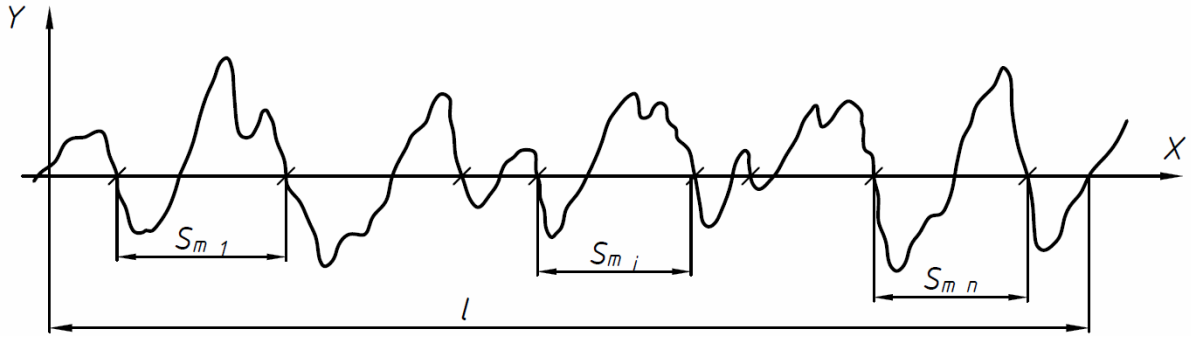


Рис. 6.9 - Схема визначення середнього кроку нерівностей профілю Sm

6.1.4. Параметри форми нерівностей профілю

Рівень перерізу профілю *p*

відстань між лінією виступів профілю та лінією, що перетинає профіль еквідистантно до лінії виступів профілю.

Опорна довжина профілю η_p

сума довжин відрізків, що відсікаються на заданому рівні профілю деталі лінією, еквідистантною до середньої лінії в межах базової довжини.

$$\eta_p = \sum_{i=1}^{n} b_i \,, \tag{6.6}$$

де b_i - довжина i-го відрізку, що відсікаються на заданому рівні профілю деталі лінією, еквідистантною до середньої лінії;

n - кількість відрізків.

Відносна опорна довжина профілю t_p

відношення опорної довжини профілю до базової довжини, у відсотках.

$$t_p = \frac{\eta_p}{\ell} \cdot 100\%, \qquad (6.7)$$

де η_p - опорна довжина профілю;

l - базова довжина.

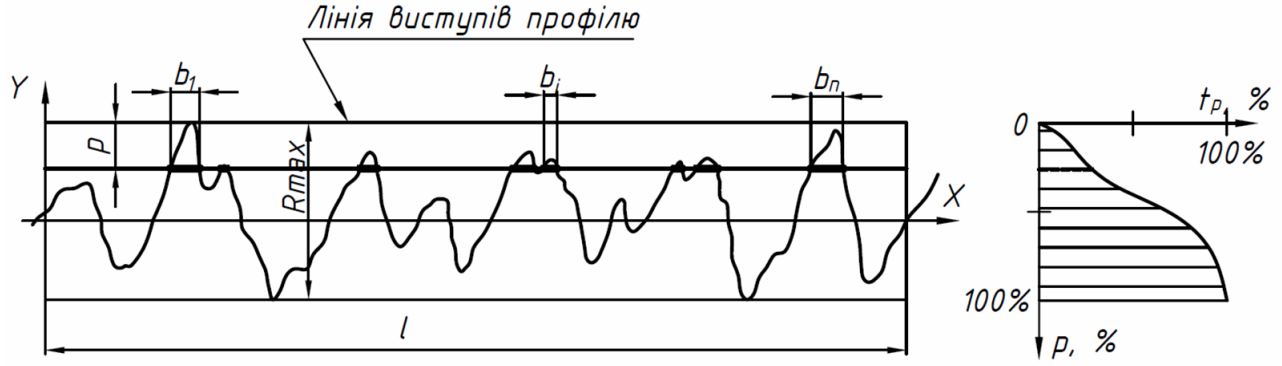


Рис. 6.10 - Схема визначення відносної опорної довжини профілю tp

6.1.5. Позначення шорсткості поверхні на кресленнях

Позначення параметрів і характеристик шорсткості поверхні та їх числові значення наведено в ДСТУ ISO 4288, ГОСТ 2789.

Шорсткість поверхонь позначають на кресленнях для всіх поверхонь виробів, які виконуються за даним кресленником, незалежно від методів їх утворення, окрім поверхонь, шорсткість яких не обумовлена вимогами конструкції.

Структура позначення шорсткості поверхні показана на рис. 6.11.

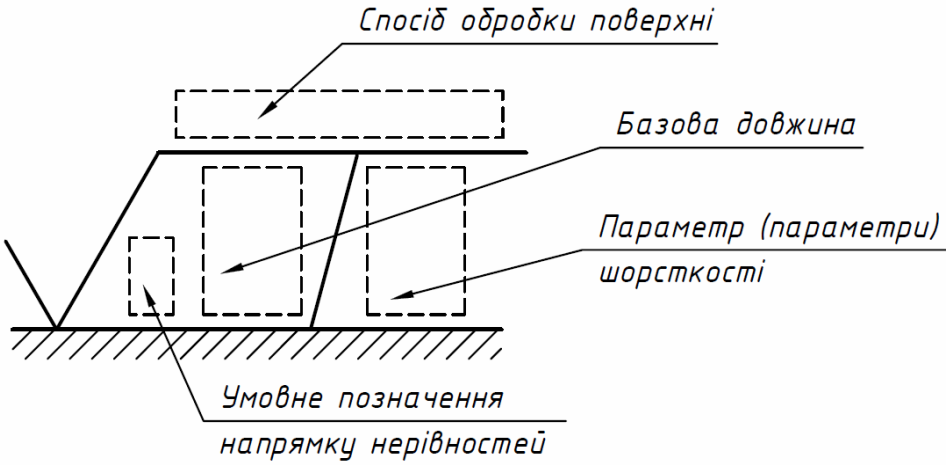


Рис. 6.11 – Умовне позначення шорсткості поверхні

У позначенні шорсткості поверхні, залежно від виду обробки, застосовують один зі знаків, наведених в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Умовне позначення шорсткості поверхні за видом обробки

Умовне позначення	Опис виду оброблення
	поверхня, спосіб обробки якої конструктором не встановлений
	поверхня, що повинна бути отримана тільки видаленням шару матеріалу, наприклад, точінням, шліфуванням, травленням, тощо
	поверхня, що повинна бути отримана без видалення шару матеріалу, наприклад, литвом, прокатом, тощо

Числові значення всіх параметрів шорсткості вказується після відповідного символу, вказаного в табл. 6.1.

У випадку призначення двох та більше параметрів шорсткості в позначенні шорсткості значення параметрів записують зверху донизу в наступному порядку:

- параметр висоти нерівностей профілю;
- параметр кроку нерівностей профілю;
- відносна опорна довжина профілю.

При нормуванні параметрів *Ra*, *Rz* та *R*max базову довжину l в позначенні шорсткості не вказують, якщо вона відповідає стандартним значенням, відповідно до ГОСТ 2789 (табл. 6.2).

Таблиця 6.2.

Базова довжина l (ГОСТ 2789)

Ra, мкм	*Rz*, *R*max, мкм	Базова довжина *l*, мм
До 0,025	До 0,10	0,08
понад 0,025 до 0,4	понад 0,1 до 1,6	0,25
понад 0,4 до 3,2	понад 1,6 до 12,5	0,8
понад 3,2 до 12,5	понад 12,5 до 50	2,5
понад 12,5 до 100	понад 50 до 400	8

Числові значення величин параметрів шорсткості (найбільші, номінальні або діапазони значень) призначаються відповідно до ГОСТ 2789 (табл. 6.3 – 6.6).

Таблиця 6.3.

Середнє арифметичне відхилення профілю *Ra*, мкм

100	80	63	**50**	40	32	**25**	20	16	**12,5**
10	8	**6,3**	5	4	**3,2**	2,5	2	**1,6**	1,25
1	**0,8**	0,63	0,5	**0,4**	0,32	0,25	0,2	0,16	0,125
0,1	0,08	0,063	**0,05**	0,04	0,032	**0,025**	0,02	0,016	**0,012**
0,01	0,008	–	–	–	–	–	–	–	–

Примітка: Переважні значення параметрів виділено жирним.

Таблиця 6.4.

Висота нерівностей профілю по десяти точках *Rz* **та повна висота профілю** *R*max, мкм

–	–	–	–	–	–	–	–	1600	1250
1000	800	630	500	**400**	320	250	**200**	160	125
100	80	63	**50**	40	32	**25**	20	16	**12,5**
10	8,0	**6,3**	5,0	4,0	**3,2**	2,5	2,0	**1,6**	1,25
1	**0,8**	0,63	0,5	**0,4**	0,32	0,25	**0,2**	0,16	0,125
0,1	0,08	0,063	**0,05**	0,04	0,032	**0,025**	–	–	–

Примітка: Переважні значення параметрів виділено жирним.

Таблиця 6.5.

Середній крок нерівностей *Sm* **та середній крок місцевих виступів профілю** *S*, мм

–	–	–	–	–	–	–	–	–	12,5
10	8	6,3	5	4	3,2	2,5	2	1	1,25
1	0,8	0,63	0,5	0,4	0,32	0,25	0,2	0,16	0,125
0,1	0,08	0,063	0,05	0,04	0,032	0,025	0.020	0,016	0,0125
0,01	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002	–	–	–

Таблиця 6.6.

Відносна опорна довжина профілю t_p **та базова довжина профілю** l

Назва параметра	Числові значення
Відносна опорна довжина профілю t_p, %	10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90
Рівні перерізу профілю *p*, % від *R*max	5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90
Базова довжина профілю l, мм	0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25

За необхідності, додатково до кількісних параметрів шорсткості поверхні, нормуються вимоги до:

- напрямку нерівностей поверхні;
- способу або послідовності способів отримання (оброблення) поверхні, якщо вони є єдиними для забезпечення її заданої якості.

Види напрямків нерівностей поверхні та їх позначення призначаються відповідно до ГОСТ 2789 (табл. 6.7).

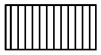
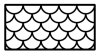
Числові значення параметрів шорсткості призначаються за одним із способів:

- найбільшим допустимим значенням параметра: $\sqrt{Ra\ 0{,}4}$; $\sqrt{Rz\ 50}$
- найменшим допустимим значенням параметра: $\sqrt{Ra\ 3{,}2min}$, $\sqrt{Rz\ 50max}$.
- найбільшим і найменшим граничними значеннями параметра: $Ra^{0,8}_{0,4}$, $t_{40}{}^{50}_{70}$.
- номінальним значенням параметра з граничними відхиленнями у відсотках: $Ra1 + 20\%$, $Rz70 - 20\%$, $t_{40}70 \pm 20\%$.

Спосіб обробки в позначенні шорсткості поверхні (рис. 6.11) вказується тільки у випадку, якщо він єдиний для отримання потрібної якості поверхні. Також, за необхідності, під знаком шорсткості, відповідно до табл. 6.7, ставиться умовне позначення напрямку нерівностей.

Таблиця 6.7

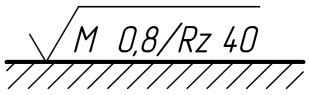
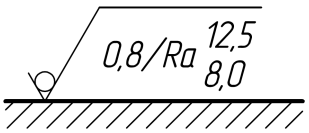
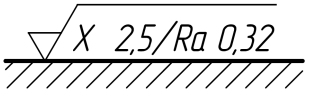
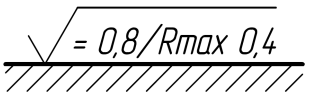
Види напрямків нерівностей поверхні

Вид напрямку нерівностей	Умовне зображення	Позначення	Пояснення
Паралельний			Паралельно до лінії, що зображує на кресленику поверхню
Перпендикулярний			Перпендикулярно до лінії, що зображує на кресленику поверхню
Перехресний			Перехрещується у двох напрямках, з нахилом до лінії, що зображує на кресленику поверхню
Довільний			Різні за напрямком по відношенню до лінії, що зображує на кресленику поверхню
Колоподібний			Приблизно колоподібно по відношенню до центра поверхні
Радіальний			Приблизно радіально по відношенню до центру поверхні
Точковий			Напрямок точковий, ненаправлений або опуклий

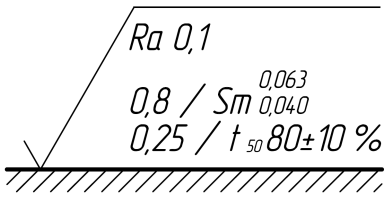
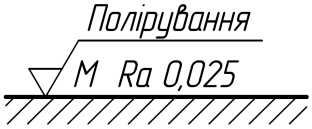
Приклади умовного позначення шорсткості наведено в табл. 6.8.

Таблиця 6.8

Приклади позначення шорсткості

Позначення	Пояснення
	- спосіб оброблення поверхні конструктором не встановлений; - висота нерівностей профілю по десяти точках *Rz* не більше 40 мкм на базовій довжині l = *0,8* мм; - напрямок нерівностей: *M* довільний.
	- поверхня має бути отримана без видалення шару матеріалу; - середнє арифметичне відхилення профілю *Ra* не більше 12,5 мкм та не менше 8,0 мкм на базовій довжині l = *0,8* мм.
	- поверхня повинна бути отримана тільки видаленням шару матеріалу; - напрямок нерівностей: X перехресний; - середнє арифметичне відхилення профілю *Ra* не більше 0,32 мкм на базовій довжині l = 2,5 мм
	- спосіб оброблення поверхні конструктором не встановлений; - напрямок нерівностей: = паралельний; - найбільша висота нерівностей профілю *Rmax* не більше 0,4 мкм на базовій довжині l = 0,8 мм.
	- спосіб оброблення поверхні конструктором не встановлений; - напрямок нерівностей: *R* радіальний; - висота нерівностей профілю по десяти точках *Rz* не менше 20 мкм на базовій довжині l = *2,5* мм (в позначенні довжина не вказується, так як відповідає стандартному значенню для даного висотного параметру за табл. 6.2).

Продовження таблиці 6.8

Позначення	Пояснення
	- спосіб оброблення поверхні конструктором не встановлений; - середнє арифметичне відхилення профілю *Ra* не більше 0,1 мкм на базовій довжині *l*=0,25 мм (в позначенні довжина не вказується, оскільки відповідає стандартному значенню для даного висотного параметру за табл. 6.2); - середній крок нерівностей профілю *Sm* повинен знаходитись у межах від 0,063 мм до 0,04 мм на базовій довжині l =0,8 мм; - відносна опорна довжина профілю на 50%-му рівні перерізу має номінальне значення 80% з граничними відхиленнями ±10% на базовій довжині l =0,25 мм.
	- поверхня повинна бути отримана тільки видаленням шару матеріалу; - спосіб обробки: полірування; - напрямок нерівностей *M* довільний; - середнє арифметичне відхилення профілю *Ra* не більше 0,025 мкм на базовій довжині l =0,08 мм (в позначенні довжина не вказується, бо відповідає стандартному значенню для даного висотного параметра за табл. 6.2).

6.2. Методи контролю шорсткості поверхні

Оцінка шорсткості поверхні може здійснюватися одним з **методів:**

- візуальної оцінки;
- вимірювання за допомогою приладів.

Метод візуальної оцінки

заснований на порівнянні обробленої поверхні зі зразком шорсткості поверхні.

Метод вимірювання за допомогою приладів

заснований на вимірюванні мікронерівностей поверхні за допомогою приладів.

Метод візуальної оцінки. У цехових умовах якісна оцінка шорсткості обробленої поверхні найчастіше проводиться шляхом порівняння зі зразками шорсткості поверхні.

Контроль шорсткості поверхні за допомогою зразків шорсткості проводиться візуально неозброєним оком або з використанням візуально-оптичних приладів (лупи чи мікроскопа) та полягає у порівняння поверхні, що контролюється, з поверхнею зразків шорсткості.

Метод порівняння, неозброєним оком або за допомогою лупи, забезпечує надійну оцінку шорсткості поверхні до *Ra*0,63 мкм. Менші значення шорсткості поверхні, до *Ra*0,1 мкм, порівнюють за допомогою спеціальних мікроскопів порівняння, що дозволяють одночасно бачити контрольовану поверхню та поверхню зразка зі збільшенням.

Контроль шорсткості поверхонь, від *Ra*0,63 мкм, рекомендується проводити порівняння в декількох точках і на різних її ділянках.

При порівнянні поверхні деталі, що контролюється, зі зразками шорсткості слід мати на увазі наступне:

- зразки повинні бути виготовлені з тих самих матеріалів, з яких виготовлені деталі, що контролюються;
- поверхні зразків повинні бути оброблені тими ж методами, що і поверхні, які контролюються;
- геометрична форма зразків має відповідати геометричній формі деталі, що контролюється.

Переваги візуального методу контролю: наочність, простота та швидкість перевірки, **недоліки** – суб'єктивність оцінки, потреба великої кількості еталонів, швидка зміна поверхні еталонів. Окрім того, при візуальному контролі необхідне постійне освітлення, інакше відображення світла від поверхні деталі та зразка може призвести до неправильної оцінки шорсткості.

Оскільки порівняльний аналіз шорсткості поверхні за допомогою зразків є приблизним і, значною мірою, суб'єктивним, тому він не може повністю замінити перевірку шорсткості за допомогою приладів.

Тому поруч із візуальним контролем рекомендується проводити періодичні вибіркові перевірки шорсткості оброблених деталей відповідними приладами.

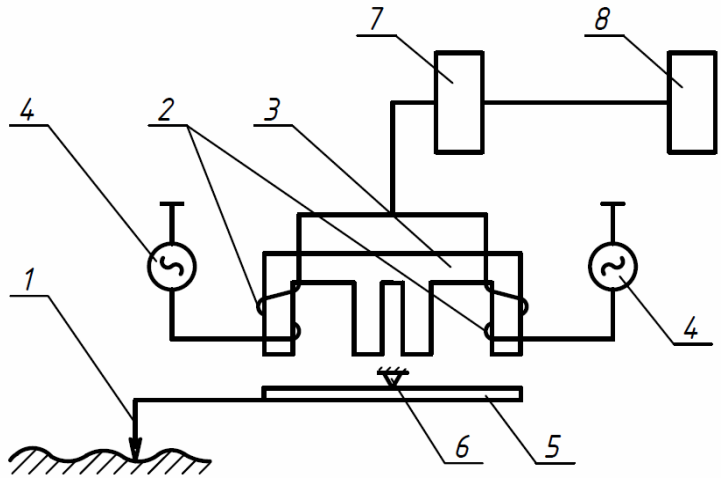
Методи вимірювання за допомогою приладів поділяються на:

- безконтактні (оптичні):
  - методом світлового та тіньового світіння;
  - мікроінтерференційним методом – за допомогою мікроскопа та інтерферометра;
  - растровим – з використанням растрової сітки та променя світла
- контактний – щуповий метод вимірювання шорсткості поверхні з використанням спеціальних вимірювачів шорсткості – профілометрів та профілографів.

Щуповий метод вимірювання шорсткості поверхні - це контактний метод вимірювання за допомогою профілометра або профілографа.

Принцип дії профілометра. Дія профілометра заснована на принципі ощупування нерівностей досліджуваної поверхні алмазною голкою 1. В якості датчика в профілометрі використовується індуктивний перетворювач (рис. 6.12), що складається з сердечника *3* та двох котушок *2*, а також електронного вимірювального блоку *7*, лічильного блоку *8*. Живлення індуктивного перетворювача проводиться від генератора *4*.

В процесі вимірювання вершина алмазної голки *1* датчика знаходиться в механічному контакті з вимірюваною поверхнею. Алмазна голка *1* притискається та переміщується із заданою швидкістю на заданій довжині паралельно до вимірюваної поверхні.



1 – алмазна голка
2 – котушки
3 – сердечник
4 – генератор
5 – коромисло
6 – опора
7 – вимірювальний блок
8 – лічильний блок

Рис. 6.12 - Принципова схема профілометра

Оскільки поверхня не є ідеальною та гладкою, а має виступи та западини, то вершина голки, ковзаючи по них, отримує від досліджуваної поверхні переміщення, перпендикулярні до площини вимірювальної поверхні в напрямку висоти нерівностей та приводить в коливальний рух коромисло *5* відносно нерухомої опори *6.* При цьому міняються повітряні зазори між якорем та сердечником, отже, змінюється і напруга на виході трансформатора. Вона посилюється електронним блоком *7*, на виході якого підключено лічильний блок *8*. Параметри шорсткості виводиться на індикатор приладу.

6.3 Лабораторна робота № 16. Контроль шорсткості поверхні візуальними методом та за допомогою профілометра

Мета роботи

Вивчення методики та техніки контролю шорсткості поверхонь візуальними методом та за допомогою профілометра.

Зміст роботи

Провести контроль шорсткості поверхні деталі візуальним методом і профілометром та зробити висновок щодо придатності поверхні деталі.

Технічне забезпечення

1. Комплект зразків шорсткості поверхні – 3 шт.
2. Мобільний профілометр MarSurf PS1 – 1 шт.
3. Валик ступінчастий – 1 шт.
4. Кресленик валика ступінчастого – 1 шт.

6.3.1 Зразки шорсткості поверхні

Контроль шорсткості поверхні методом візуальної оцінки передбачає порівняння шорсткості поверхні, що контролюється, із шорсткістю зразків шорсткості поверхні.

Зразки шорсткості поверхні (зразки порівняння)

зразки поверхні з відомими параметрами шорсткості, одержаної певним способом оброблення.

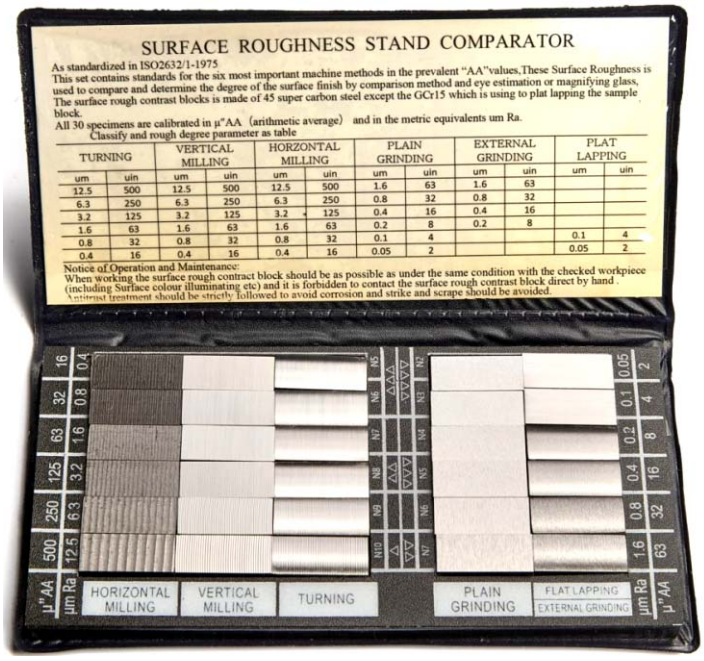


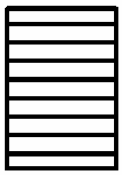
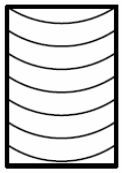
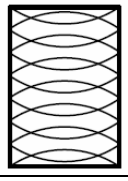
Рис. 6.13 – Зразки шорсткості поверхні (зразки порівняння)

Зразки шорсткості застосовують для контролю шорсткості поверхні деталей тієї ж форми, виготовлених з того ж матеріалу та оброблених тим самим методом.

Способи оброблення, відтворювані зразками, форма зразка, напрямок нерівностей поверхні зразка наведено в табл. 6.9., а номінальні значення параметрів шорсткості зразків – в табл. 6.10.

Таблиця 6.9

Способи оброблення, форма та напрямки нерівностей поверхонь зразків шорсткості

Спосіб оброблення	Форма зразка	Розташування нерівностей
Точіння	циліндрична опукла	прямолінійне 
Розточування	циліндрична увігнута	
Фрезерування циліндричне	плоска	
Стругання	плоска	
Шліфування периферією круга	плоска, циліндрична опукла, циліндрична увігнута	
Точіння торцеве	плоска	дугоподібне 
Фрезерування торцеве	плоска	
Фрезерування торцеве	плоска	перехресне 
Шліфування торцеве	плоска	
Шліфування чашкоподібним кругом	плоска	
Електроерозійне оброблення	плоска	без певного напрямку штриха
Дробоструминне, піскоструминне оброблення	плоска	
Полірування	плоска, циліндрична опукла	плутаний штрих

Таблиця 6.10

Номінальні значення параметрів шорсткості зразків

Спосіб обробки	Шорсткість поверхні зразка *Ra*, мкм
Стругання	0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25,0
Дробоструминне, піскоструминне	0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25,0
Електроерозійне	0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5
Точіння	
Розточування	
Фрезерування	
Шліфування	0,05; 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2
Полірування	0,006; 0,0125; 0,025; 0,05; 0,1; 0,2

Примітка: Малі значення параметра *Ra* (до 0,1 мкм) наведені для того, щоб дати уявлення користувачу про відмінності між цими значеннями (наприклад, 0,006, 0,0125, 0,025; 0,05 та 0,1 мкм), які можуть бути визначені візуально.

6.3.2 Контроль шорсткості поверхні порівнянням зі зразками шорсткості

Контроль починається з вивчення кресленика деталі для визначення поверхонь деталі, які підлягають контролю та встановлення параметрів шорсткості, за якими необхідно виконати контроль шорсткості поверхні.

Відповідно до форми поверхонь, що підлягають контролю, способів їх виготовлення, параметрів шорсткості та їх кількісних характеристик, підбираються зразки шорсткості поверхні.

Проводиться візуальний огляд поверхонь деталі, з метою виявлення дефектів та оцінки шорсткості поверхонь на наявність ділянок з шорсткістю, що різко відрізняється. Контроль шорсткості поверхонь проводиться наступним чином:

– якщо задана верхня межа параметра шорсткості, то вимірювання виконують на ділянках поверхні з найбільшою шорсткістю;
– якщо задана нижня межа параметра шорсткості, то вимірювання виконують на ділянках поверхні з найменшою шорсткістю.

Під час контролю, деталь та зразок шорсткості повинні розташовуватися між контролером та джерелом світла, щоб їх поверхні були рівномірно освітлені розсіяним світлом. Освітленість деталей та зразків шорсткості має бути достатньою, мінімальне освітлення повинно бути не менше 350 Лк.

Порівняння шорсткості поверхні деталі та зразка здійснюють так, щоб кут між напрямом візування та перпендикуляром до поверхні був не менше 60°.

Контроль здійснюють шляхом візуального порівняння шорсткості поверхні деталі, на визначених ділянках, з шорсткістю поверхні зразка шорсткості (рис. 6.14).

Для прийняття рішення про придатність поверхні деталі використовується середнє значення параметра шорсткості знайдене із сукупності одиничних значень параметра шорсткості поверхні.

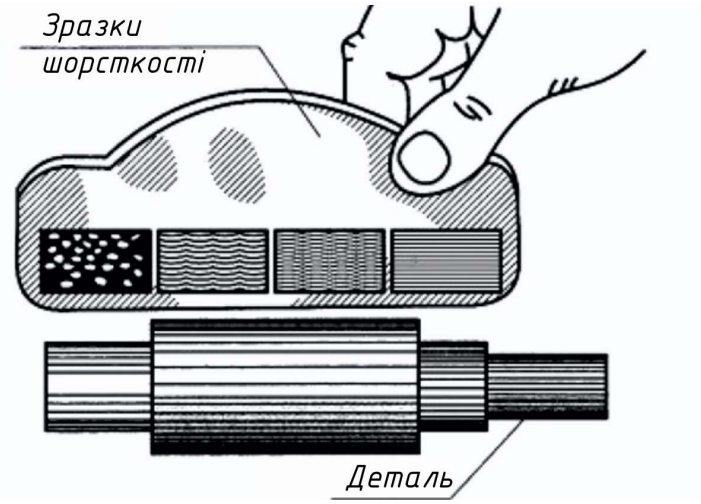


Рис. 6.14 – Контроль шорсткості поверхні вала порівнянням зі зразком шорсткості.

6.3.3 Принцип дії та будова мобільного профілометра MarSurf PS1

MarSurf PS1 – мобільний профілометр, призначений для вимірювання шорсткості поверхонь в умовах виробництва. Прилад відповідає вимогам згідно з DIN EN ISO 3274.

За допомогою інтегрованого механізму подачі можливі вимірювання з максимальною довжиною ділянки ощупування 17,5 мм.

При вимірюваннях відповідно до ISO (DIN), JIS та ANSI/ASME проводиться фільтрація вимірювань за допомогою фазокоректуючого профільного фільтра (фільтра Гауса) згідно DIN EN ISO 11 562. Для проведення особливо точних вимірюваньта для подальшої перевірки є функція автоматичного динамічного калібрування.

Будова профілометра MarSurf PS1. Корпус 1 профілометра (рис. 6.15) виконано таким чином, що зверху корпус виступає як триточкова опора для вимірювань у стельовому положенні, знизу – призма для циліндричних об'єктів вимірювання та чотири внутрішніх різьби для кріплення приладдя, а всередині розташовано еталон шорсткості. На корпусі розташовується клавіатура 2 та цифровий індикатор 3, на якому відображається інформація про налаштування та виводяться значення виміряних параметрів.

Клавіатура 2 складається з клавіш:

- **Ra**, **Rz** – клавіші для індикації параметрів Ra та Rz (при JIS: RZJ);
- **F1** – клавіша для індикації вільно програмованого параметра;
- **Lt/Lc** – клавіша для встановлення величини відсічення кроку Cutoff та ділянки ощупування або автоматичний вибір величини відсічення кроку Cutoff та ділянки ощупування згідно ISO, JIS, ANSI або відповідно ділянки ощупування згідно MOTIF;
- ▼ ▲ ◄ ► – клавіші зі стрілками для зміни установок.

На торцях корпусу, ліворуч та праворуч, розташовуються клавіші 4 **Start** зеленого кольору, які виконують наступні функції: вмикають пристрій, підтверджують щуп, запускають вимірювання та переривають поточне вимірювання. Комбінація клавіш **Start + Rz**

– вимикає пристрій. Установки приладу, з якими було здійснено останнє безпомилкове вимірювання, зберігаються.

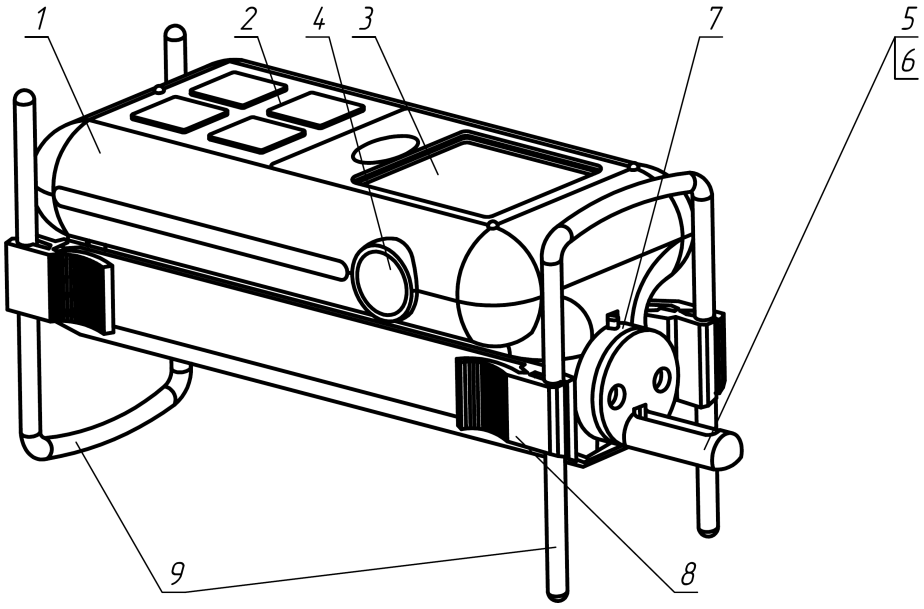


Рис. 6.15 – Мобільний профілометр MarSurf PS1

Всередині корпусу також розташовуються вимірювальний щуп 5 у пристрої захисту 6 та пристрій подачі 7. Пристрій захисту щупа 6 у з'єднанні з дугою для встановлення висоти або вимірювальною стійкою можна використовувати як другу опорну точку. Пристрій подачі 7 виконано поворотним та пересувним вздовж, з різними положеннями упору.

В комплект пристрою також входить опора 8 для кріплення приладдя та дві дуги (ніжки) 9 для встановлення висоти. Сконструйовані у формі дуги ніжки 9 пристрою установки висоти уможливлюють різні форми опор (стабільна триточкова опора, чотириточкова опора, наприклад, для циліндричних об'єктів вимірювання, комбінації з пристроєм захисту щупа, тощо) і їх дуже просто встановлювати на певну висоту.

В задній торцевій частині приладу розташовуються роз’єми для підключення живлення пристрою та з’єднання із зовнішніми периферійними пристроями.

Налаштування профілометра MarSurf PS1

Вибір стандарта. Для вибору ділянки ощупування, а також розподілу значень клавіш **Rz** та **F1** можна перемикати між стандартами ISO, JIS, ANSI/ASME та MOTIF.

Вибраний стандарт відображається на індикаторі зверху праворуч.

При перемиканні стандарту нестандартні умови вимірювань автоматично повертаються у вихідне становище. За потреби слід знову вибрати ділянку обмацування та параметр для **F1**.

Якщо вибрано стандарт ISO, JIS або ANSI/ASME , оцінюється R-профіль.

Значення клавіші **Rz** залежить від вибраного стандарту:

- при виборі стандарта ISO, ANSI/ASME та MOTIF за допомогою **Rz** показується результат *Rz* (ISO);
- при виборі стандарта JIS – за допомогою **Rz** показується результат *RzJ* (JIS);
- при виборі стандарта ANSI/ASME, у розпорядженні є параметри *Rp* (ASME) та Rpm (ASME), у стандартах ISO, JIS та MOTIF – параметр *Rp* (ISO);
- при виборі стандарту MOTIF – оцінюється P-профіль. Оцінка MOTIF-параметрів відбувається згідно ISO 12085.

Кількість окремих вимірювальних ділянок та величину відсічення кроку Cutoff (відповідно до ISO/JIS) не можна змінити.

Вибір ділянки ощупування згідно ISO, JIS або ANSI/ASME. У текстовому полі індикатора відображаються довжина ділянки ощупування *Lt*, величина відсічення кроку Cutoff *Lc* та кількість *n* окремих вимірювальних ділянок, наприклад,

" Lt Lc n
5.600 мм 0.800 * 5".

Кілька разів натиснути клавішу **Lt/Lc**, поки не буде показано бажану величину відсічки кроку Cutoff та витікаючий з цього стандартна ділянка ощупування.

Якщо для *Lt* та *Lc* замість параметра показано "*****" і над ним з'являється символ "AUTO", то встановлена автоматична установка величини відсічки кроку Cutoff та ділянки ощупування.

Довжина ділянки ощупування згідно з ISO, JIS або ANSI/ASME випливає з величини відсічки кроку Cutoff, яку слід вибирати згідно табл. 6.11.

MarSurf PS1 має в розпорядженні три величини відсічки кроку (табл. 6.12). Величина відсічки кроку встановлює, які ознаки виміряного профілю приписуються до шорсткості.

Таблиця 6.11

Величини відсічки кроку, згідно *ISO, JIS, ANSI/ASME*

Lt	*Lc* * *n*	*In*
1,750 мм	(0,250 * 5)	1,250 мм
5,600 мм	(0,800 * 5)	4,000 мм
17,500 мм	(2,500 * 5)	1,500 мм

Ділянка ощупування складається, як правило, із ділянки розгону, п'яти окремих вимірювальних ділянок *lr* та ділянки гальмування (табл. 6.11).

Вибір кількості окремих вимірювальних ділянок, відповідно до ISO, JIS, ANSI/ASME. Якщо об'єкт вимірювання не допускає використання довжини ділянки ощупування, яка виходить із стандарту, можна згідно стандарту зменшити кількість *n* окремих вимірювальних ділянок. Якщо *n* менше 5, на індикаторі з'являється символ " **!** ".

Шляхом вибору стандартної ділянки ощупування за допомогою **Lt/Lc** встановлюється кількість *n* окремих вимірювальних ділянок знову на 5.

Вибір величини відсічки кроку (відповідно до ISO, JIS, ANSI/ASME). При оцінці згідно з ISO, JIS або ANSI/ASME із виміряного профілю шляхом цифрового фільтрування створюється профіль шорсткості.

Застосовується фазокоректний профільний фільтр (фільтр Гауса). Оцінюючи параметрів згідно DIN EN ISO 13565-2 застосовується метод спеціального фільтрування із заглушенням слідів обробки згідно з DIN EN ISO 13565.

Фільтр характеризується величиною відсічки кроку. Величина відсічки кроку *Cutoff* є довжиною хвилі *Lc* синусоїдального профілю, амплітуда якого переноситься від фазо коректного фільтра на 50%. За допомогою величини відсічки кроку *Cutoff* встановлюється, які ознаки виміряного профілю відповідають шорсткості.

Величина відсічки кроку *Cutoff* та ділянка ощупування вибираються разом перед проведенням вимірювання за допомогою **Lt/Lc**.

Відповідно до DIN EN ISO 4288 слід обирати величину відсічки кроку *Cutoff* для стандартних вимірювань (табл. 6.13):

- при періодичних профілях відповідно із середньою шириною *RSm* елементів профілю;
- при аперіодичних профілях залежно від *Ra* або *Rz*.

В особливих випадках можна застосовувати замість стандартної величини відсічки кроку *Cutoff* згідно з ISO 4288 наступний більш коротку величину відсічки кроку *Cutoff*. Ці установки можна робити також після проведення вимірювання.

Після встановлення величина відсічки кроку *Cutoff* відображається у текстовому полі. Якщо включено коротку величину відсічки кроку *Cutoff*, на індикаторі з'являється символ " **!** ".

Шляхом вибору стандартної ділянки ощупування за допомогою **Lt/Lc** знову вимикається коротка величина відсічки кроку *Cutoff*.

Таблиця 6.12

Величина відсічки кроку *Cutoff*, згідно DIN EN ISO 4288

Періодичні профілі *RSm,* мм	Аперіодичні профілі		Величина відсічки кроку *Cutoff Lc,* мм	Окрема вимірювальна ділянка / Вся вимірювальна ділянка *lr* / *ln,* мм (при *n* = 5)
	Rz, мкм	*Ra,* мкм		
RSm < 0,13	*Rz* < 0,5	*Ra* < 0,1	0,25	0,25 / 1,25
0,13 < *RSm* < 0.4	0,5< *Rz* <10,0	0,1 < *Ra* < 2,0	0,8	0,8 / 4,0
0,4 < *RSm*	10 < *Rz*	2 < *Ra*	2,5	2,5 / 12,5

Метрологічні характеристики профілометра MarSurf PS1 наведено в табл. 6.13

Робота з профілометром MarSurf PS1

Увімкнення приладу. Для увімкнення профілометра MarSurf PS1 необхідно натиснути на одну із зелених клавіш **Start**. Всі установки приладу ті що і при останньому безпомилковому вимірюванні перед вимкненням. На індикаторі відображаються результати останнього вимірюванні.

Таблиця 6.13

Метрологічні характеристики профілометра MarSurf PS1

Параметр	Значення
Одиниці вимірювання	метрична / дюймова
Принцип вимірювання	метод ощупування
Щуп	індуктивний опорний щуп, радіус голки наконечника 2 мкм, зусилля вимірювання, приблизно, 0,7 мН
Вимірювані параметри	Ra, Rq, Rz (співвідношення Ry (JIS)), Rz (JIS), Rmax, Rp, Rp (ASME), Rpm (ASME), Rpk, Rk, Rvk, Mr1, Mr2, A1, A2, Vo, Rt, R3z, RPc, Rmr (відповід. tp (JIS, ASME)), RSm, R, Ar, Rx
Діапазон вимірювання	350 мкм, 180 мкм, 90 мкм (автоматичне перемикання)
Роздільна здатність профілю	32 нм, 16 нм, 8 нм (автоматичне перемикання)
Фільтри*	фазокоригуючий фільтр (фільтр Гауса) за DIN EN ISO 11562, спеціальний фільтр DIN EN ISO 13565-1, *ls*-фільтр DIN EN ISO 3274 (може бути вимкнений)
Відсічка кроку *lc**	0,25 мм, 0,8 мм, 2,5 мм; автомат.
Довжина траси ощупування *Lt**	1,75 мм, 5,6 мм, 17,5 мм; автомат.
Довжина траси ощупування (MOTIF)	1 мм, 2 мм, 4 мм, 8 мм, 12 мм, 16 мм
Довжина оцінки *ln**	1,25 мм, 4,0 мм, 12,50 мм
Кількість базових довжин*	на вибір: від 1 до 5
Функція калібрування	динамічна

Примітка: * відповідно до ISO/JIS

Перевести механізм подачі із позиції стоянки у позицію вимірюванні. Після увімкнення з'являється, при натисканні на зелену клавішу **Start**, вказівка "**Щуп? Старт?**" в індикації.

Перевірити, чи встановлений у механізм подачі відповідний тип щупа (напис на щупі) та у MarSurf PS1. При можливій заміні щупа слід також перевірити правильність значення корекції щупа. За допомогою повторного натискання на зелену клавішу **Start** можна запустити процес вимірювання.

Вимірювання приладом. Після увімкнення MarSurf PS1 можна відразу ж проводити вимірювання, якщо правильно встановлені стандарт та умови вимірювання.

Встановити щуп у позицію вимірювання. Важіль щупа повинен бути паралельний до вимірюваної поверхні. Вимірювання проводяться, як правило, перпендикулярно до напрямку слідів обробки вимірюваної поверхні. Якщо не видно сліди обробки, слід зробити два зміщені на 90° або три зміщені кожне на 60° вимірювання.

Запустити процес вимірювання за допомогою однієї із зелених клавіш **Start**. Під час вимірювання на індикаторі стоїть "Вимірювання". Число за ним позначає відрізок ділянки ощупування, через який зараз проходить щуп. Якщо увімкнено автоматичне встановлення величини відсічення кроку Cutoff та ділянки ощупування або якщо вимірювання здійснюється згідно MOTIF, на індикаторі стоїть "Вимірювання -- A -- ". Діапазон

вимірювання автоматично внутрішньо перемикається, так що вимірювання відбувається завжди з кращою роздільною здатністю профілю.

Після вимірювання на індикаторі показується "*Кінець вимірювання*", поки щуп знову не повернеться до своєї вихідної позиції. Як тільки на індикаторі буде знову показана довжина ділянки ощупування, можна за допомогою однієї із зелених клавіш **Start** запускати нове вимірювання.

Вимірювання можна в будь-який час перервати за допомогою **Start**. Механізм подачі тоді негайно зупиняється і щуп повертається у свою вихідну позицію. Після цього можна за допомогою клавіші **Start** запустити нове вимірювання.

Під час вимірювання контролюється відхилення щупа. При виході за межі діапазону вимірювання механізм подачі негайно зупиняється і щуп повертається у свою вихідну позицію. На індикаторі з'являється символ ▲ або ▼ та повідомлення про помилку.

Оцінка отриманих результатів. Після вимірювання можна відразу зробити оцінку отриманих результатів, оскільки відразу після вимірювання на індикаторі показується перший вибраний вимірюваний параметр. Для індикації інших результатів вимірювання:

- за допомогою клавіш **Ra** і **Rz** показуються параметри *Ra* та *Rz* (при ISO, ANSI/ASME та MOTIF) і відповідно *RzJ* (При JIS);
- клавіша **F1** показує результати вимірювання параметра, який був встановлений для неї.
- щоб послідовно показати на індикаторі вибрані параметри, слід тримати натиснутою одну із зелених клавіш **Start** та натиснути на клавішу **Ra**.

За допомогою клавіш ▼ або ▲ можна показати послідовно на індикаторі вибрані параметри. Клавіша ◄ служить для виходу з режиму "Параметри".

Якщо замість результату вимірювання показано "----", то результат не можна розрахувати з причин:

- немає дійсного вимірювання (наприклад, тому що останнє вимірювання було перервано або тому що були змінені умови вимірювання);
- умови для розрахунку результату цього параметра не були виконані.

Якщо змінюються умови вимірювання, то результати останнього вимірювання більше недоступні.

Вимкнення приладу. Щоб вимкнути MarSurf PS1 необхідно тримати натиснутою одну із зелених клавіш **Start** та одночасно натиснути на **Rz** та встановити механізм подачі та щупу у зручну позицію стоянки для транспортування, для чого витягнути механізм подачі 7 вперед з корпусу 1, повернути праворуч на 180° (головка щупа 5 вказуватиме вгору) і знову встановити в корпус (напрямний штифт входить в направляючу канавку), доки не буде досягнуто заднє положення упору.

6.3.4 Контроль шорсткості поверхні профілометром MarSurf PS1

Контроль починається з вивчення кресленика деталі для визначення поверхонь деталі, які підлягають контролю та встановлення параметрів шорсткості, за якими необ-

хідно виконати контроль шорсткості поверхні.

Проводиться візуальний огляд поверхонь деталі, з метою виявлення дефектів та оцінки шорсткості поверхонь на наявність ділянок з шорсткістю, що різко відрізняється. Контроль шорсткості поверхонь проводиться відповідно до рекомендацій п. 6.2.2.

Проводиться контроль шорсткості поверхні профілометром MarSurf PS1, відповідно до рекомендацій по роботі з приладом (п. 6.3.3) та рекомендацій стосовно розташування вимірюваних поверхонь (п.6.2.2).

Оскільки для прийняття рішення про придатність поверхні деталі використовується середнє значення параметра шорсткості знайдене із сукупності одиничних значень параметра шорсткості поверхні, відповідно, кожна поверхня вимірюється декілька разів, після чого визначається середнє значення вимірюваних параметрів шорсткості.

6.3.5 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо шорсткості поверхонь, параметрів шорсткості та методів їх контролю (п. 6.1 ... 6.2).
2. За кресленником деталі встановити поверхні деталі, що підлягають контролю, параметри шорсткості, за якими необхідно виконати контроль шорсткості поверхні та їх кількісні показники.
3. Вивчити методику контролю шорсткості поверхонь порівнянням зі зразками шорсткості.
4. Вивчити будову та принцип дії профілометра.
5. Провести контроль шорсткості поверхонь деталі методом порівняння зі зразками шорсткості.
6. Провести контроль шорсткості поверхонь деталі профілометром.
7. Зіставляючи дані контролю шорсткості поверхонь деталі порівнянням зі зразками шорсткості та профілометра зробити висновки щодо придатності деталі.

6.4. Лабораторна робота № 17. Визначення параметрів шорсткості поверхні за профілограмою.

Мета роботи

Вивчити методику та техніку вимірювання шорсткості поверхні за допомогою профілометра та методику визначення параметрів шорсткості за профілогамою.

Завдання

Виміряти шорсткість поверхні за допомогою профілометра, за профілограмою поверхні визначити параметри шорсткості та проставити на кресленику.

Технічне забезпечення

1. Профілометр – 1 шт.
2. Деталь – 1 шт.
3. Кресленик деталі – 1 шт.

6.4.1 Будова та принцип дії профілометра

Профілометр з цифровим відліком із індуктивним перетворювачем **моделі 296** призначений для вимірювання в цехових контрольних пунктах шорсткості поверхні виробів, перетин яких, в площині вимірювання, становить пряму лінію.

Загальний вигляд профілометра показано на рис. 6.16. Профілометр оснащено виходом для підключення пристрою для запису профілограм або комп'ютера для запису та обробки профілограм.

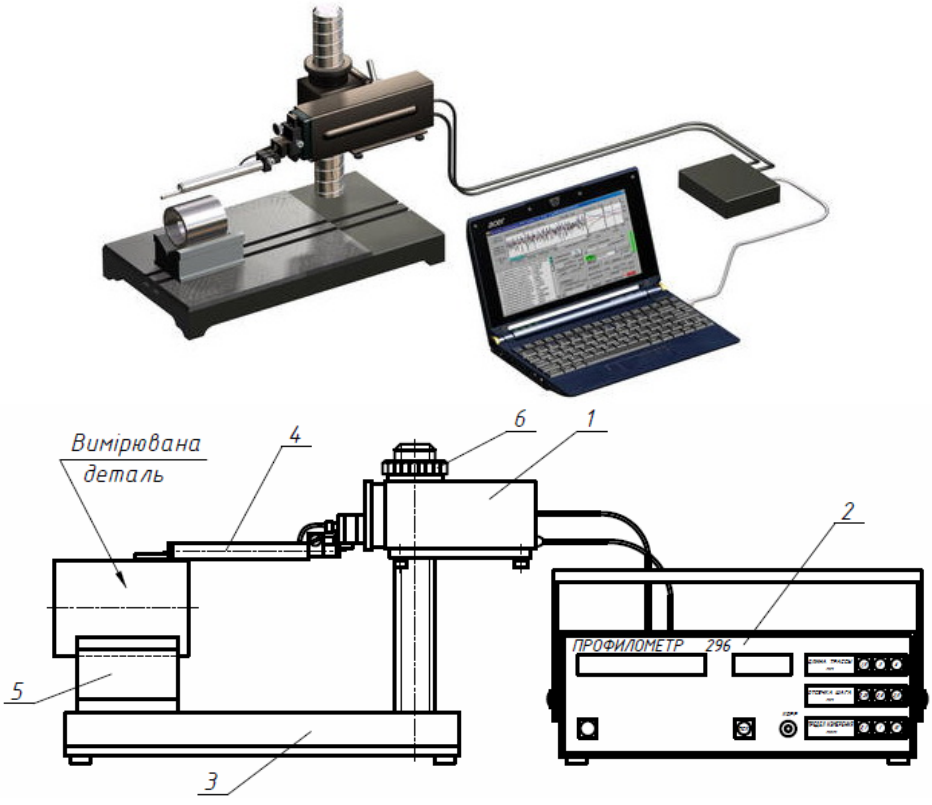
Вимірювання параметрів шорсткості поверхні на профілометрі моделі 296 проводиться в системі середньої лінії відповідно до номенклатури та діапазонів значень, передбачених ГОСТ 2789.

Будова профілометра. До складу профілографа входять (рис. 6.16): стійка *3* для встановлення деталей, датчик *4* з алмазною вимірювальною голкою, привід *1* для переміщення датчика вздовж вимірюваної поверхні та електронний блок *2*, для керування та обчислення шорсткості поверхонь.

Вимірювана деталь встановлюється на плиті стійки *3* або в призму *5*, яка встановлюється на стійку. Деталь встановлюють таким чином, щоб вимірювана поверхня була перпендикулярна площині вимірювання.

Гайка *6* призначена для переміщення датчика *4* з приводом *1* по направляючій стійки *3* та встановлення алмазної голки датчика *4* на вимірювану поверхню деталі.

Блок електронний *2* виконаний в настільному варіанті. На лицьовій панелі блоку розташовані: цифрове табло для відліку виміряного значення *Ra*; індикатор робочої зони; кнопка включення мережі.



1 – привід
2 – блок електронний
3 – стійка
4 – датчик
5 – призма
6 – гайка

Рис. 6.16 – Загальний вигляд профілометра мод. 296

Принцип дії профілометра засновано на ощупуванні нерівностей досліджуваної поверхні алмазною голкою (п. 6.2.1.) (рис. 6.12).

Метрологічні характеристики профілометра моделі 296 наведено в табл. 6.14.

Таблиця 6.14

Метрологічні характеристики профілометра моделі 296

№	Параметр	Значення
1.	Вимірюваний параметр шорсткості поверхні за ГОСТ 2789	*Ra*
2.	Діапазон вимірювання *Ra*, мкм	0,02 –10
3.	Межа допустимої систематичної похибки:	10%
4.	Відсічка кроку (базова довжина), мм	0,25 / 0,8 / 2,5
5.	Швидкість трасування датчика, мм/с	1 ± 0,04
6.	Довжина траси ощупування при вимірюванні, мм	1,5 / 3 / 6
7.	Мінімальний діаметр отвору вимірюваної деталі, мм:	6
8.	Радіус кривизни вершини щупа (алмазної голки), мкм	10 ± 2,5
9.	Найменша дискретність відліку, мкм	0,0001

Підготовка профілометра до роботи. Перед вимірюванням деталей перевірити справність та настроювання приладу за установчими зразками з регулярним профілем (рис. 6.17), що входять до комплекту оснащення профілометра. Вимірювання шорсткості зразка проводиться аналогічно вимірюванню деталі.

Якщо виміряне значення *Ra* зразка відрізняється більш ніж на 5% від зазначеного на зразку, слід зробити калібрування за допомогою осі потенціометра, виведеного на передній панелі приладу.

Рис. 6.17 – Зразки установчі з регулярним профілем

Встановлення деталей на профілометрі. Профілометр дозволяє проводити вимірювання шорсткості поверхонь деталей, в залежності від їх висоти:

- до 300 мм – зі стійкою;
- понад 300 мм – без стійки.

Вимірюванні зі стійкою. Деталі призматичної форми встановлюються або безпосередньо на плиту стійки *3*, а циліндричної форми – в призму *5* (рис. 6.16).

Вимірюванні без стійки. Привід *1* (рис. 6.16) встановлюється безпосередньо на вимірювану деталь або на іншу деталь, жорстко пов'язану з вимірюваною. Залежно від форми поверхні деталі, на привід, до нього слід прикрутити змінні опори: якщо привід встановлюється на площину, він оснащений опорами, якщо він встановлюється на циліндричну поверхню, то призмами.

Встановлення вимірюваних поверхонь та визначення напрямку вимірювання здійснюється відповідно до рекомендацій п. 6.2.2.

Порядок роботи на профілометрі

– Увімкнути профілометр.

– Встановити межу вимірювання. Межа вимірювання вибирається мінімальною з перевищуючих очікуване значення параметра шорсткості *Ra* та встановлюється з наступного ряду: 0,1 / 1 / 10.

– Встановити необхідну відсічку кроку. Відсічка кроку (базова довжина *l*), зазначається у вимогах до шорсткості контрольованої поверхні.

У випадках, коли вимоги до базової довжини не вказані в технічній документації або на кресленику деталі, величина базової довжини встановлюється виходячи з рекомендацій ГОСТ 2789, залежно від очікуваного значення *Ra* (табл 6.15).

– Встановити необхідну довжину траси. Довжина траси (довжина ділянки вимірювання *L*) для профілометра встановлюється відповідно до ГОСТ 19300, в залежності від відсічки кроку (табл. 6.15)

Слід зазначити, що повна довжина траси становить 5/3 довжини траси *L*, зазначеної на кнопках пульта, оскільки вона складається з попереднього ходу та траси інтегрування (вимірювання).

Таблиця 6.15.

Відсічка кроку та довжина траси, мм

Ra, мкм	Відсічка кроку (ГОСТ 2789) (базова довжина *l*)	Довжина траси (ГОСТ 19300) (довжина ділянки вимірювання *L*)
До 0,4	0,25	1,5 3,0
Понад 0,4 до 3,2	0,8	3,0 6,0
Понад 3,2	2,5	6,0

– Увімкнути прилад за допомогою кнопки **« ↓ »**. За допомогою гайки 6 підійняти датчик 4 з приводом 1 на висоту, що перевищує висоту вимірюваної деталі.

– Встановити вимірювану деталь, відповідно до рекомендацій по роботі з профілометром та рекомендацій (п.6.2.2).

– Встановити датчик на поверхню деталі.

За допомогою гайки *6* на стійці *3* опустити датчик *4* до контакту опори датчика з вимірюваною поверхнею деталі та застопорити стопорним гвинтом (на рису. 6.16 не показано). Далі, за допомогою гайки *7* на приводі *1* опустити датчик *4* до положення, при

якому стрілка індикатора на пульті управління займе середнє положення. При роботі зі стійкою *3* рекомендується користуватися гайкою *6* з фіксацією гвинтом.

– Провести вимірювання, натиснувши кнопку **"ПУСК"**. Датчик повинен переміщатися по вимірюваної поверхні у напрямку до приводу. Після робочого ходу автоматично включиться швидке повернення у вихідне положення, а на табло загориться виміряне значення *Ra*. Якщо отримане значення може вкластися в менші межі вимірювання, слід перемкнути межі вимірювання та повторити вимірювання для більш точного результату.

Якщо на табло загориться сигнал перевантаження **" Р "**, слід перемкнути межі вимірювання на більші та повторити вимірювання.

6.4.2 Вимірювання шорсткості поверхні профілометром

Перед вимірюванням вивчається кресленик деталі для визначення поверхонь деталі що підлягають контролю та встановлення параметрів шорсткості, за якими необхідно виконати контроль шорсткості поверхні.

Проводиться візуальний огляд поверхонь деталі, з метою виявлення дефектів та оцінки шорсткості поверхонь на наявність ділянок з шорсткістю, що різко відрізняється. Контроль шорсткості поверхонь проводиться відповідно до рекомендацій п. 6.2.2, стосовно ділянок вимірювання.

Проводиться вимірювання шорсткості поверхні профілометром, відповідно до рекомендацій по роботі з профілометром (п. 6.4.1) та рекомендацій (п.6.2.2).

Записати профілограму виміряної поверхні.

Оскільки для прийняття рішення про придатність поверхні деталі використовується середнє значення параметра шорсткості знайдене із сукупності одиничних значень параметра шорсткості поверхні, відповідно, кожна поверхня вимірюється декілька разів, після чого визначається середнє значення вимірюваних параметрів шорсткості.

6.4.3. Визначення параметрів шорсткості за профілограмою

Проведення середньої лінії. Для визначення параметрів шорсткості при ручній обробці профілограм допускається наближене визначення напрямку середньої лінії. При цьому похибка кута нахилу середньої лінії не повинна перевищувати 2° при довжині профілограми 250-300 мм.

Для номінально прямолінійного профілю на профілограмі на ділянці, що визначається базовою довжиною, допускається візуальне проведення середньої лінії паралельно до загального напрямку профілю так, щоб площі по обидва боки від цієї лінії до профілограми були приблизно рівні між собою.

При використанні профілометра моделі 296 середня лінія визначається візуально в межах базової ділянки.

Визначення параметрів шорсткості. Для знаходження значення параметрів при дискретному способі обробки профілограм, крок дискретизації вибирають якомога меншим та визначають за формулою:

$$\Delta x = \frac{\ell}{N-1}, \tag{6.8}$$

де l - базова довжина;

N - кількість ординат на профілограмі.

Середнє арифметичне відхилення профілю *Ra*. В точках, що відповідають кроку дискретизації, вимірюють відхилення профілю y_i (рис. 6.5). Значення параметра *Ra* знаходять за залежністю (6.2).

Висота нерівностей профілю по десяти точках *Rz*. Позначити на профілограмі п'ять найбільших максимумів профілю y_{pi} та п'ять найбільших мінімумів профілю y_{vi}. Від середньої лінії вимірюють відповідні відхилення (рис. 6.6). Значення параметра *Rz* знаходять за залежністю (6.3).

Найбільша висота нерівностей профілю *R*max. Через найвищу та найнижчою точки профілю проводять лінію виступів *Rp* профілю та лінію западин *Rv* профілю та вимірюються відповідні значення (рис. 6.7). Параметр *R*max визначають за залежністю:

$$R\max = Rp - Rv, \tag{6.9}$$

Середній крок місцевих виступів профілю *S*.

Середній крок місцевих виступів профілю *S* знаходять декількома методами:

- вимірюють кроки нерівностей профілю по вершинах S_i (рис. 6.8). Значення параметра *S* знаходять за залежністю (6.4).
- визначають кількість максимумів профілю M на довжині ℓ_0, що лежить між першим і останнім максимумом ($\ell_0 \le \ell$). Значення параметра *S* знаходять за залежністю:

$$S = \frac{\ell_0}{M-1}, \tag{6.10}$$

де ℓ_0 - довжина між першим та останнім місцевим виступами профілю;

M - кількість максимумів профілю.

Середній крок нерівностей профілю *Sm*. Середній крок нерівностей профілю *Sm* знаходять декількома методами:

- вимірюють кроки нерівностей профілю Sm_i (рис. 6.9). Значення параметра *Sm* знаходять за залежністю (6.5)
- визначають кількість перетинань профілю з середньою лінією *k*. Вимірюють довжину відрізка середньої лінії ℓm_0, обмежену першим і останнім непарним перетинаннями профілю з середньою лінією ($\ell m_0 \le \ell$). Значення параметра *Sm* знаходять за залежністю:

$$Sm = \frac{2 \cdot \ell m_0}{k-1}, \qquad (6.11)$$

де ℓm_0 - довжина між першим та останнім місцевим виступами профілю;

k - кількість перетинань профілю з середньою лінією.

Відносна опорна довжина профілю *tp* на заданому рівні *p*. На заданому рівні *p*, який відкладається від лінії виступів, проводять лінію, що перетинає профіль еквідистантно до лінії виступів профілю та вимірюють відрізки, що відсікаються на рівні *p* в матеріалі виступів профілю проведеною лінією b_i (рис. 6.10). Значення параметра *tp* знаходять за залежностями (6.6, 6.7)

Приклад 1. За профілограмою (рис. 6.18) визначити параметр шорсткості поверхні – середнє арифметичне відхилення профілю *Ra*.

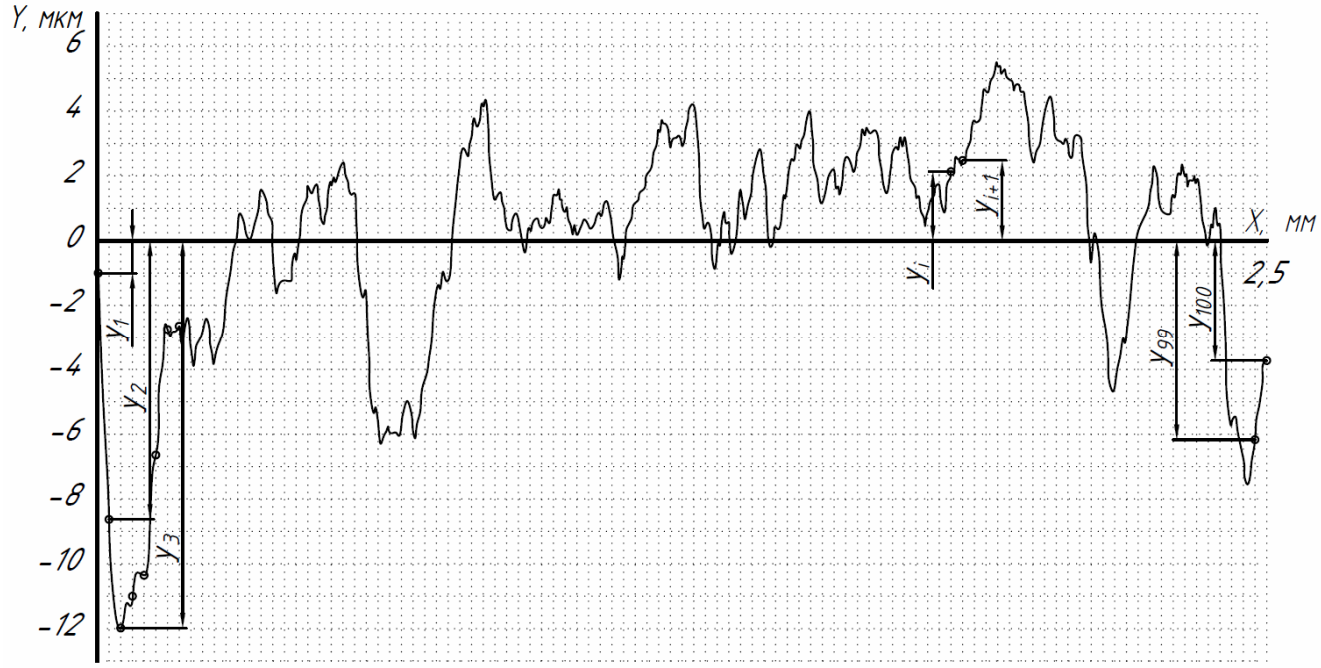


Рис. 6.18 – Визначення середнього арифметичного відхилення профілю Ra

1) За профілограмою (рис. 6.18) визначаємо кількість ординат *N*=100.

2) Визначаємо середнє арифметичне відхилення профілю *Ra.*

Для визначення середнього арифметичного відхилення профілю *Ra*, на профілограмі (рис. 6.18) в точках, що відповідають кроку дискретизації *Δx*, від середньої лінії визначаємо відхилення профілю y_i з точністю $\frac{1}{2}$ поділки, дані заносимо в табл. 6.16.

Визначаємо середнє арифметичне відхилення профілю *Ra* за залежністю (6.2) як середнє арифметичне абсолютних значень усіх відхилень профілю.

Таким чином, отримаємо *Ra* = 3,29 мкм, дані заносимо в табл. 6.16.

3) Проставляємо умовне позначення шорсткості поверхні.

В позначенні проставляються не розраховані величини параметрів шорсткості, а стандартні (за табл. 6.3 – 6.6).

Таблиця 6.16

Середнє арифметичне відхилення профілю *Ra* , мкм

№ точки	y_i	№ точки	y_i	№ точки	y_i	№ точки	y_i	№ точки	y_i
1	-1,0	21	+2,0	41	+0,5	61	+3,5	81	+3,5
2	-8,5	22	+2,0	42	+0,5	62	+1,5	82	+3,5
3	-12	23	0,0	43	+0,5	63	+2,0	83	+3,0
4	-10,5	24	-4,0	44	+1,0	64	+1,5	84	+3,5
5	-10,5	25	-6,5	45	-0,5	65	+2,0	85	-5,0
6	-6,0	26	-6,0	46	+0,5	66	+3,5	86	-2,0
7	-2,5	27	-5,0	47	+1,5	67	+3,0	87	-4,5
8	-3,0	28	-6,0	48	+2,5	68	+2,0	88	-3,0
9	-3,5	29	-3,5	49	+3,5	69	+3,0	89	0,0
10	-2,5	30	-1,5	50	+3,0	70	+2,0	90	+1,5
11	-35,0	31	0,0	51	+35,0	71	+0,5	91	+1,0
12	-1,5	32	+3,0	52	+2,0	72	+2,0	92	+1,0
13	+1,0	33	+3,5	53	0,0	73	+2,0	93	+2,0
14	0,0	34	+3,0	54	+0,5	74	+2,5	94	+2,0
15	+1,5	35	+1,5	55	0,0	75	+3,0	95	0,0
16	-1,5	36	+0,5	56	+1,0	76	+4,5	96	-0,5
17	-1,0	37	0,0	57	+3,0	77	+5,5	97	-5,5
18	0,0	38	+0,5	58	0,0	78	+5,0	98	-7,0
19	+1,5	39	+0,5	59	+1,0	79	+5,0	99	-6,0
20	+0,5	40	+1,5	60	+3,0	80	+3,0	100	-4,0
		Ra	3,29						

За розрахунками отримали: *Ra* = 3,29 мкм.

Приймаємо стандартне значення параметра, за табл. 6.3. Його величина повинна дорівнювати розрахованій або бути найближче більшою. Приймаємо: *Ra* = 4 мкм.

Позначення шорсткості поверхні на кресленику: $\sqrt{Ra\ 4}$

Приклад 2. За профілограмою (рис. 6.19) визначити параметр шорсткості поверхні – висоту нерівностей профілю по десяти точках *Rz*.

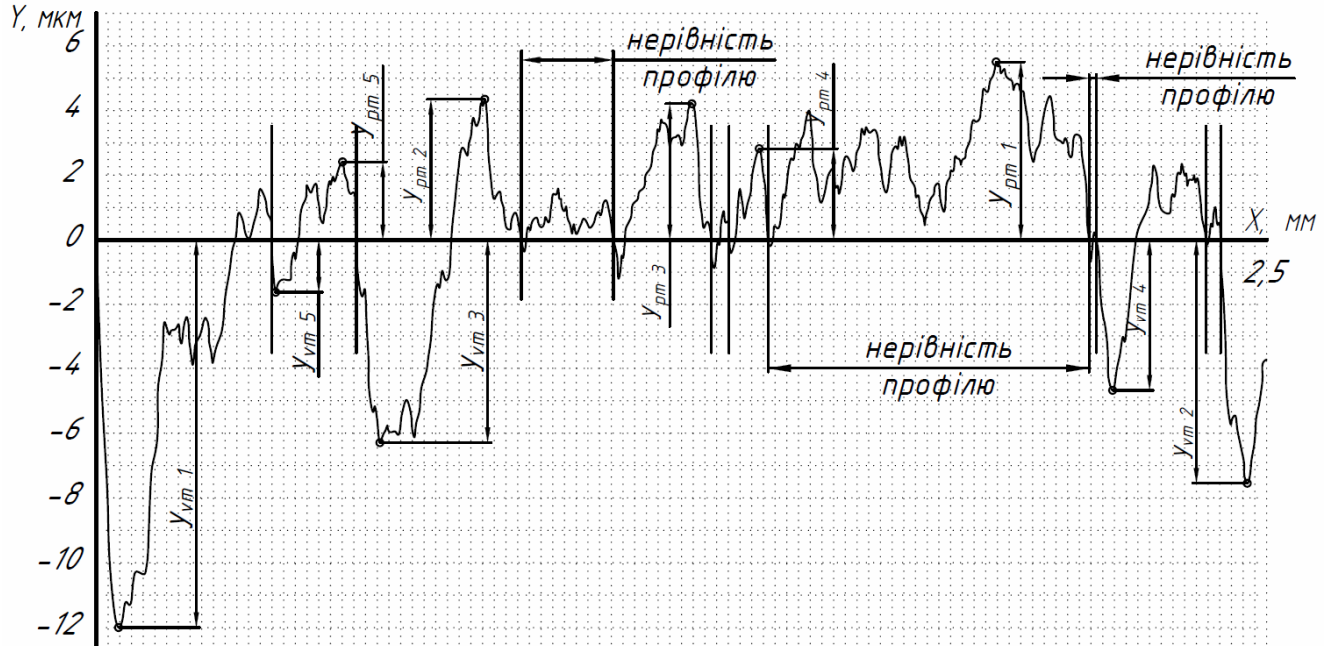


Рис. 6.19 – Визначення висоти нерівностей профілю по десяти точках Rz

1) Визначаємо висоту нерівностей профілю по десяти точках *Rz.*

Оскільки середнє арифметичне відхилення профілю *Rz* – сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю та глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини (п. 6.1.3).

Розбиваємо профілографу на окремі нерівності профілю, кожна з яких складається з виступу профілю та сполученої з ним западини профілю (п. 6.1.2) (рис. 6.19).

На кожній нерівності профілю знаходимо виступ та западину профілю, позначаємо на профілограмі (рис. 6.19) п'ять найбільших виступів профілю y_{pm_i} та п'ять найглибших западин профілю y_{vm_i}, визначаємо їх величини з точністю $\frac{1}{2}$ поділки, дані заносимо в табл. 6.17.

Таблиця 6.17

Висота нерівностей профілю по десяти точках *Rz*, мкм

№ точки	y_{pm_i}	y_{vm_i}	*Rz*
1	5,5	-1,0	8,0
2	4,5	-7,5	
3	3,5	-6,5	
4	3,0	-4,5	
5	2,5	-1,5	

Висоту нерівностей профілю по десяти точках *Rz* визначають за залежністю (6.3):

$$Rz = \frac{(5{,}5+4{,}5+3{,}5+3{,}0+2{,}5)+(|-1{,}0|+|-7{,}5|+|-6{,}5|+|-4{,}5|+|-1{,}5|)}{5} = 8\text{мкм}$$

Дані заносимо в табл. 6.17.

2) Проставляємо умовне позначення шорсткості поверхні.

В позначенні проставляються не розраховані параметри шорсткості, а стандартні (за табл. 6.4).

За розрахунками отримали: *Rz* = 8 мкм.

Приймаємо стандартне значення параметра, за табл. 6.4. Його величина повинна дорівнювати розрахованій або бути найближче більшою. Приймаємо: *Rz* = 8 мкм.

Позначення шорсткості поверхні на кресленику: $\sqrt{Rz\ 8}$

Приклад 3. За профілограмою (рис. 6.20) визначити параметр шорсткості поверхні – найбільшу висота нерівностей профілю *R*max.

1) Визначаємо найбільшу висоту нерівностей профілю *R*max.

Оскільки середнє арифметичне відхилення профілю *Rz* – відстань між лінією виступів і лінією западин профілю в межах базової довжини (п. 6.1.3), відповідно, через найвищу точку профілографи проводять лінію виступів *Rp* профілю, а через найнижчу –

лінію западин *Rv* профілю, від середньої лінії визначають їх величину, з точністю $\frac{1}{2}$ поділки (рис. 6.20). дані заносимо в табл. 6.18.

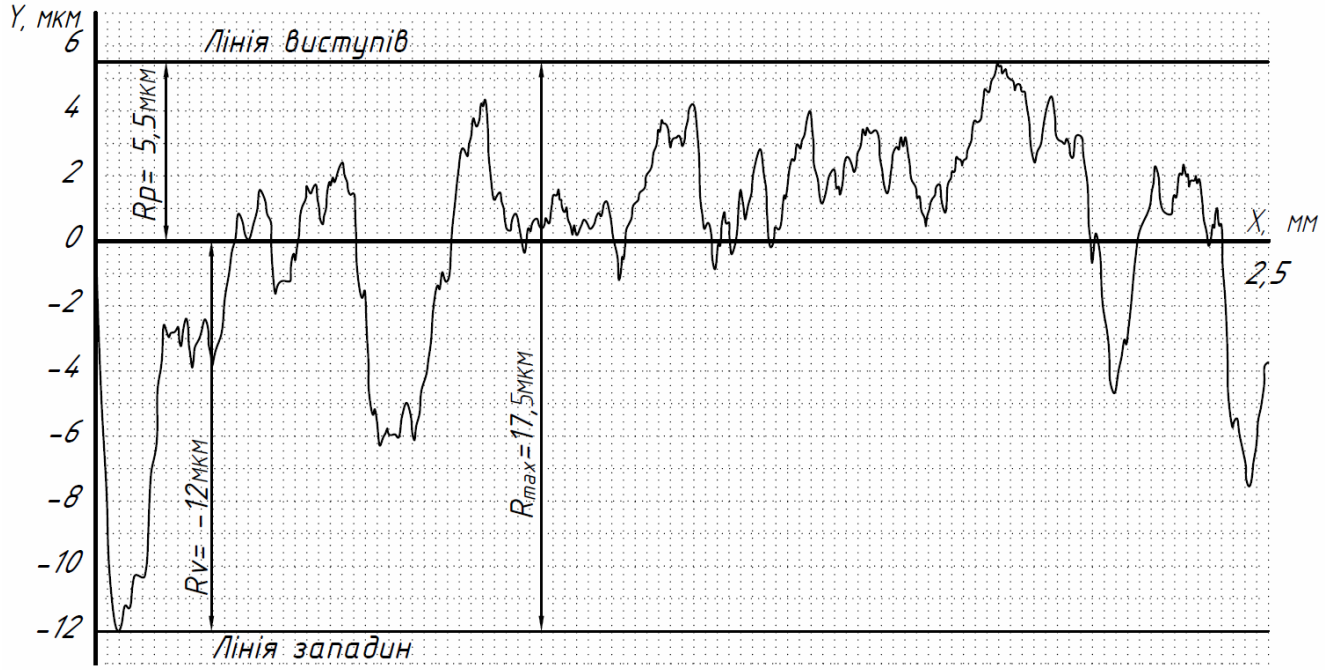


Рис. 6.20 – Визначення найбільшої висоти нерівностей профілю Rmax

Таблиця 6.18

Найбільша висота нерівностей профілю *Rmax*, мкм

Rp	*Rv*	*Rmax*
5,5	-12,0	17,5

Найбільша висота нерівностей профілю *R*max визначається за залежністю (6.9), дані заносять в табл. 6.18.

$$Rmax = 5,5 - (-12,0) = 17,5 \text{ мкм}.$$

Дані заносимо в табл. 6.18.

2) Проставляємо умовне позначення шорсткості поверхні.

В позначенні проставляються не розраховані параметри шорсткості, а стандартні (за табл. 6.4).

За розрахунками отримали: *Rmax* = 17,5 мкм.

Приймаємо стандартне значення параметра, за табл. 6.4. Його величина повинна дорівнювати розрахованій або бути найближче більшою. Приймаємо: *Rmax* = 20 мкм.

Позначення шорсткості поверхні на кресленику: $\sqrt{Rmax\ 20}$

Приклад 4. За профілограмою (рис. 6.21) визначити параметр шорсткості поверхні – середній крок нерівностей профілю *Sm*.

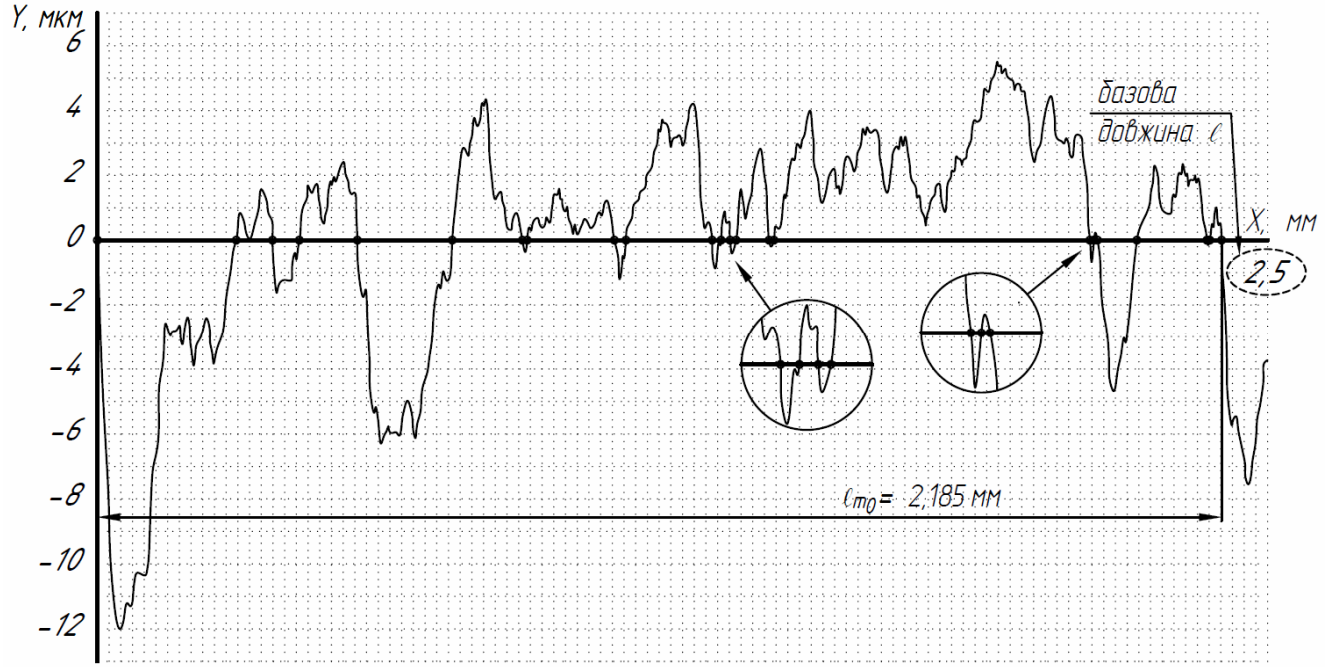


Рис. 6.21 – Визначення середнього кроку нерівностей профілю Sm

1) Визначаємо за профілограмою (рис. 6.21):

- базова довжина l=2,5мм;
- кількість ординат N=100;
- крок дискретизації Δx визначаємо за залежністю (6.8):

$$\Delta x = \frac{2,5}{100-1} = 0,0253\text{мм}.$$

2) Визначаємо середній крок нерівностей профілю *Sm*.

Оскільки середній крок нерівностей профілю *Sm* – середнє значення кроку нерівностей профілю в межах базової довжини (п. 6.1.4), відповідно, його величину будемо визначати за методикою п. 6.4.3.

Знаходимо та позначаємо на профілограмі (рис. 6.21) всі перетинання профілю з середньою лінією та підраховуємо їх кількість K=23. Визначаємо номер останнього непарного перетинання профілю з середньою лінією: оскільки кількість перетинань K є непарним числом, відповідно, номер останнього непарного перетинання становитиме: k=21.

Визначаємо довжину відрізка середньої лінії ℓm_0, обмежену першим і останнім непарним перетинаннями профілю з середньою лінією. Для цього знаходимо положення, з точністю $\frac{1}{2}$ поділки, першого та останнього непарного перетинання профілю з середньою лінією:

$$\ell m_{01} = 0\text{под.}, \qquad \ell m_{021} = 95\text{под.}$$

Визначаємо довжину відрізка середньої лінії ℓm_0, обмежену першим і останнім непарним перетинаннями профілю з середньою лінією:

$$\ell m_0 = (\ell m_{021} - \ell m_{01}) \cdot \Delta x = (95-0) \cdot 0,0253 = 2,185\text{мм}.$$

Середній крок нерівностей профілю *Sm* визначаємо за залежністю (6.11):

$$S_m = \frac{2 \cdot 2{,}185}{23-1} = 0{,}199\text{мм}.$$

Дані заносимо в табл. 6.19.

Таблиця 6.19

Середній крок нерівностей профілю *Sm*

K кількість перетинань з середньою лінією	***k*** номер останнього непарного перетинання	Положення непарних перетинань, поділки		lm_0, мм	*Sm*, мм
		першого	останнього		
23	23	0	95	2,185	0,199

2) Проставляємо умовне позначення шорсткості поверхні.

В позначенні проставляються не розраховані параметри шорсткості, а стандартні (за табл. 6.5).

За розрахунками отримали: *Sm* = 0,199 мм.

Приймаємо стандартне значення параметра, за табл. 6.5. Його величина повинна дорівнювати розрахованій або бути найближче більшою. Приймаємо: *Sm*=0,25мм.

Позначення шорсткості поверхні на кресленику: $\sqrt{Sm\ 0{,}25}$

Приклад 5. За профілограмою (рис. 6.22) визначити параметр шорсткості поверхні – середній крок місцевих виступів профілю *S*.

1) Визначаємо за профілограмою (рис. 6.22):

- базова довжина l = 2,5 мм;
- кількість ординат N = 100;
- крок дискретизації Δx = 0,0253 мм (див. приклад 4).

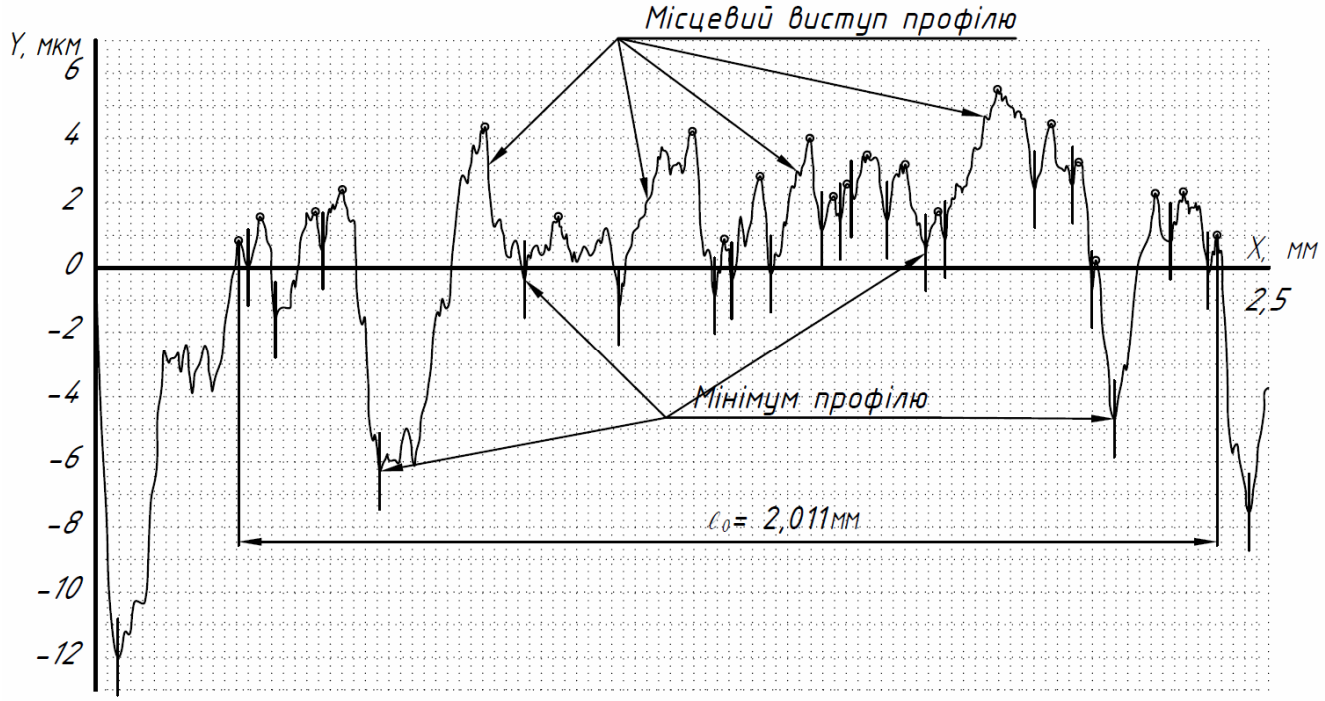


Рис. 6.22 – Визначення середнього кроку місцевих виступів профілю S

2) Визначаємо середній крок місцевих виступів профілю *S*.

Оскільки середній крок місцевих виступів профілю *S* – середнє значення кроку місцевих виступів профілю в межах базової довжини (п. 6.1.4), відповідно, його величину будемо визначати за методикою п. 6.4.3.

Розбиваємо профілографу на окремі місцеві виступи профілю, які являють собою частину реального профілю, розташовану між двома сусідніми мінімумами профілю (п. 6.1.2), на кожному з них позначаємо його максимум на профілограмі (рис. 6.22) та підраховуємо їх кількість $M = 22$.

Визначаємо довжину відрізка середньої лінії ℓ_0, обмежену першим і останнім максимумами місцевих виступів профілю. Для цього знаходимо положення, з точністю $\frac{1}{2}$ поділки, першого та останнього максимуму місцевих виступів профілю:

$$\ell_{01} = 12 \text{ под.}, \qquad \ell_{010} = 94{,}5 \text{ под.}$$

Визначаємо довжину відрізка середньої лінії ℓ_0, обмежену першим і останнім максимумами місцевих виступів профілю:

$$\ell_0 = (\ell_{022} - \ell_{01}) \cdot \Delta x = (94{,}5 - 12) \cdot 0{,}0253 = 2{,}087 \text{ мм},$$

Середній крок місцевих виступів профілю *S* визначаємо за залежністю (6.10):

$$S = \frac{2{,}087}{22 - 1} = 0{,}099 \text{ мм}.$$

Дані заносимо в протокол (табл. 6.20).

Таблиця 6.20

Середній крок місцевих виступів профілю *S*

M кількість місцевих виступів	Положення місцевих виступів, поділки		ℓ_0, мм	*S*, мм
	першого	останнього		
22	12	94,5	2,087	0,099

3) Проставляємо умовне позначення шорсткості поверхні.

В позначенні проставляються не розраховані параметри шорсткості, а стандартні (за табл. 6.5).

За розрахунками отримали: $S = 0{,}099$ мм.

Приймаємо стандартне значення параметра, за табл. 6.5. Його величина повинна дорівнювати розрахованій або бути найближче більшою. Приймаємо: $S = 0{,}1$ мм.

Позначення шорсткості поверхні на кресленику: $\sqrt{S\ 0.1}$

Приклад 6. За профілограмою (рис. 6.23) визначити параметр шорсткості поверхні – відносну опорну довжину профілю t_p на рівні p=25%.

1) Визначаємо за профілограмою (рис. 6.23):

- базова довжина $l = 2{,}5$ мм;
- кількість ординат $N = 100$;
- крок дискретизації $\Delta x = 0{,}0253$ мм (див. приклад 4).

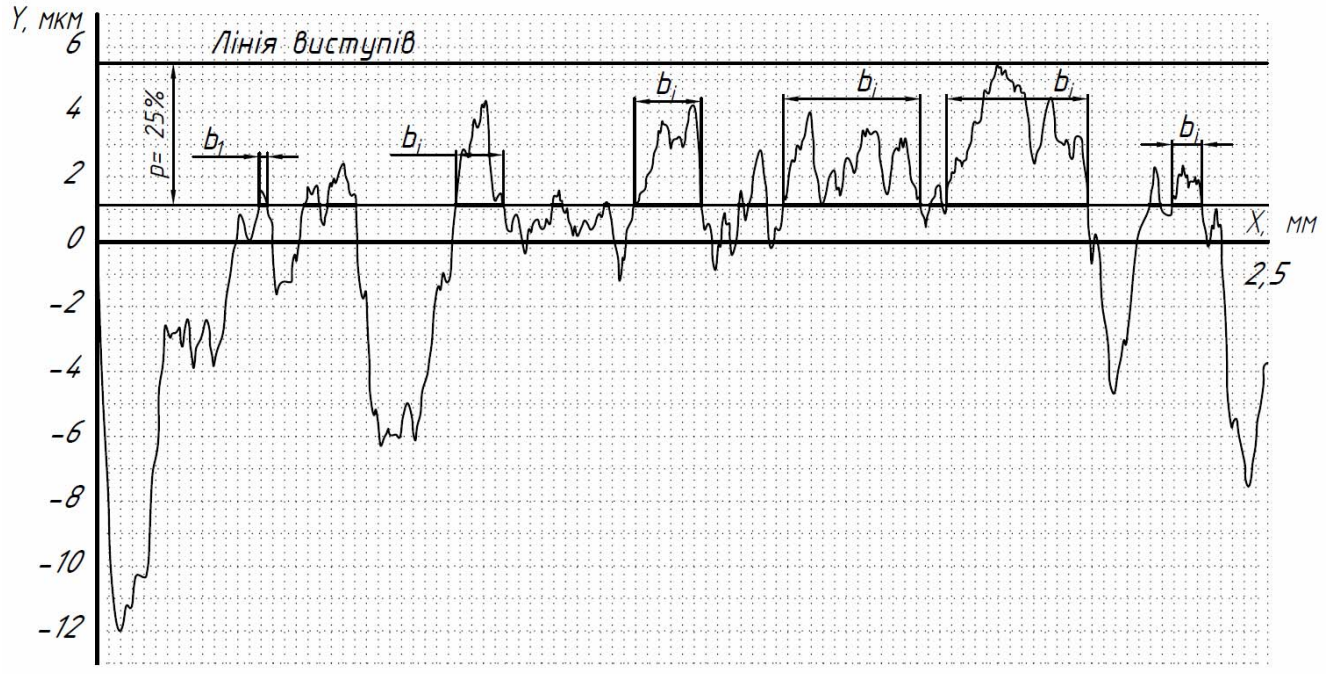


Рис. 6.23 – Визначення відносної опорної довжини профілю t_p

2) Визначаємо відносну опорну довжину профілю t_p

Величину опорної довжини профілю t_p на рівні p = 25% визначаємо за п. 6.4.3.

Для цього визначаємо величину рівня, на якому потрібно визначити опорну довжину, в мікрометрах *p (*мкм*)* за залежністю:

$$p\ \text{(мкм)} = \frac{p}{100} \cdot R_{\max},$$

де *Rmax* – найбільша висота нерівностей профілю, яка визначається за п. 6.4.3.

Найбільша висота нерівностей профілю *Rmax* становить *Rmax* = 17,5 мкм (див. приклад 3). Таким чином, величина рівня, на якому потрібно визначити опорну довжину, в мікрометрах *p (*мкм*)* становить:

$$p\ \text{(мкм)} = \frac{25}{100} \cdot 17{,}5 = 4{,}4\ \text{ мкм}.$$

Від лінії виступів на відстані *p(*мкм*)*, проводимо лінію рівня, що перетинає профіль еквідистантно лінії виступів профілю. Відмічаємо відрізки, що відсікаються лінією рівня *p* в матеріалі виступів профілю (рис. 6.23) та визначаємо їх довжини b_i , з точністю $\frac{1}{2}$ поділки. Дані заносимо в табл. 6.21.

Знаходимо опорну довжину профілю η_p:

$$\eta_p = \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot \Delta x =$$

$$= (1+1{,}5+3+4+1{,}5+1+6+1+1{,}5+11{,}5+1{,}5+12+1+2{,}5) \cdot 0{,}0253 = 0{,}9876\ \text{ мм}$$

Відносну опорну довжину профілю t_p визначаємо за залежністю (6.7):

$$t_{25} = \frac{0{,}9876}{2{,}5} \cdot 100\% = 39{,}5\%$$

Дані заносимо в табл. 6.21.

Таблиця 6.21

Відносна опорна довжина профілю t_p

Рівень p = 25 %																
№ відрізка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$\sum b_i$	t_p, %
b_i, кількість поділок	1	1,5	3	4	1,5	1	6	1	1,5	11,5	1,5	12	1	2,5	49	39,5

3) Проставляємо умовне позначення шорсткості поверхні.

В позначенні проставляються не розраховані параметри шорсткості, а стандартні (за табл. 6.6).

За розрахунками отримали: t_{25}=39,5%.

Приймаємо стандартне значення параметра, за табл. 6.6. Його величина повинна дорівнювати розрахованій або бути найближче більшою. Приймаємо: t_{25}=40%.

Позначення шорсткості поверхні на кресленику: $\sqrt{t_{25}40}$.

6.4.4 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо шорсткості поверхонь, параметрів шорсткості та методів їх контролю (п. 6.1 ... 6.3).
2. За кресленником деталі встановити поверхні деталі, які підлягають контролю, параметри шорсткості, за якими необхідно виконати контроль шорсткості поверхні та їх кількісні показники.
3. Вивчити будову та принцип дії профілометра.
4. Вивчити методику вимірювання шорсткості поверхонь профілометром.
5. Вивчити методику визначення шорсткості поверхонь за профілограмою.
6. Провести вимірювання шорсткості поверхонь деталі профілометром.
7. Визначити параметри шорсткості, встановлені для поверхні деталі за профілограмою. Дані занести в протокол вимірювання:
   – дані для визначення параметра *Ra* занести в протокол (табл. 6.22);
   – дані для визначення параметра *Rz* занести в протокол (табл. 6.23);
   – дані для визначення параметра *Rmax* занести в протокол (табл. 6.24);
   – дані для визначення параметра *Sm* занести в протокол (табл. 6.25);
   – дані для визначення параметра *S* занести в протокол (табл. 6.26);
   – дані для визначення параметра t_p занести в протокол (табл. 6.27).
8. Нанести позначення шорсткості на ескіз дедалі.

Таблиця 6.22

Середнє арифметичне відхилення профілю *Ra* , мкм

№ точки	y_i	№ точки	y_i	№ точки	y_i	№ точки	y_i	№ точки	y_i
1		21		41		61		81	
2		22		42		62		82	
3		23		43		63		83	
4		24		44		64		84	
5		25		45		65		85	
6		26		46		66		86	
7		27		47		67		87	
8		28		48		68		88	
9		29		49		69		89	
10		30		50		70		90	
11		31		51		71		91	
12		32		52		72		92	
13		33		53		73		93	
14		34		54		74		94	
15		35		55		75		95	
16		36		56		76		96	
17		37		57		77		97	
18		38		58		78		98	
19		39		59		79		99	
20		40		60		80		100	
Ra									

Таблиця 6.23

Висота нерівностей профілю по десяти точках *Rz*, мкм

№ точки	y_{pm_i}	y_{vm_i}	*Rz*

Таблиця 6.24

Найбільша висота нерівностей профілю *Rmax*, мкм

Rp	*Rv*	*Rmax*

Таблиця 6.25

Середній крок нерівностей профілю *Sm*

K кількість перетинань з середньою лінією	***k*** номер останнього непарного перетинання	Положення непарних перетинань, поділки		lm_0, мм	*Sm*, мм
		першого	останнього		

Таблиця 6.26

Середній крок місцевих виступів профілю *S*

M кількість місцевих виступів	Положення місцевих виступів, поділки		ℓ_0, мм	*S*, мм
	першого	останнього		

Таблиця 6.27

Відносна опорна довжина профілю t_p

Рівень *p* =_____%																
№ відрізка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	$\sum b_i$	t_p, %
b_i, кількість поділок																

6.5 Контрольні запитання

- ***до теоретичної, частини***

1. Що називається шорсткістю поверхні?
2. Як визначається шорсткість?
3. Від чого залежить шорсткість поверхні?
4. Якими основними параметрами характеризується шорсткість?
5. Дайте поняття базової довжини профілю.
6. Що Ви розумієте під середнім арифметичним відхиленням профілю?
7. Чим відрізняється параметр *Ra* від параметра *Rz*?
8. Яким символом позначається параметр шорсткості поверхні?
9. Правила позначення технічних вимог до шорсткості на кресленнях.

- ***до лабораторної роботи №16***

10. Що таке зразки шорсткості?
11. Як виконується контроль за допомогою зразків шорсткості?
12. Як вимірюється шорсткість поверхні профілометром?
13. З яких основних блоків складається профілометр?
14. Поясніть принцип дії профілометра.
15. Як відбувається контроль шорсткості поверхні профілометром MarSurf PS1
16. Як оцінити придатність шорсткості поверхні деталі?

- ***до лабораторної роботи №17***

17. З яких основних блоків складається профілометр?
18. Поясніть принцип дії профілометра.
19. Як обробляється профілограма?
20. Як визначається середня лінія профілю на профілограмі?
21. Поясніть методику визначення середньоарифметичного відхилення профілю *Ra*.
22. Як визначається найбільша висота нерівностей профілю *Rmax*?

23. Як визначається відносна опорна довжина профілю t_p?
24. Яким символом позначається параметр шорсткості поверхні?

6.6 Рекомендована література до розділу 6

1. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 2 [Текст]: навч. посібн. / Ю. І. Адаменко, О. М. Герасимчук, С. В. Майданюк, Н. В. Мініцька, В. А. Пасічник, О. А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – С. 57-65.
2. Якимчук Г.К., Кирилюк Ю.Є., Саранча Г.А. Взаємозамінність, стандартизація, метрологія та технічні вимірювання: підручник [Текст]; за ред. Г.К. Якимчука, К.: Основа, 2006.- 560 с.
3. ДСТУ ISO 4287 Технические требования к геометрии изделий (GPS). Структура поверхности. Профильный метод. Термины, определения понятий и параметры структуры
4. ДСТУ ISO 4288 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Правила і процедури оцінення структури ГОСТ 2789
5. ДСТУ ISO 12085 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Структура поверхні. Профільний метод. Параметри структури елементів
6. ДСТУ EN ISO 1302:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстури в технічній документації на продукцію
7. ДСТУ 2409 Вимірювання параметрів шорсткості. Терміни та визначення
8. ДСТУ 2413 Основні норми взаємозамінності. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення
9. DIN EN ISO 4288 Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Rules and procedures for the assessment of surface texture; German version EN ISO 4288
10. MarSurf PS1. Инструкция по эксплуатации. Mahr GmbH. Göttingen. – 2007, 306 с.
11. Профилометр цеховой с цифровым отсчетом и индуктивным преобразователем. Модель 296. Паспорт. Московский инструментальный завод «Калибр». –1982, 32 с.
12. ГОСТ 2789 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики
13. ГОСТ 9378 Образцы шероховатости поверхности (сравнения). Общие технические условия
14. ГОСТ 19300 Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом. Профилографы-профилометры контактные. Типы и основные параметры.
15. Дунин-Барковский И.В. Взаимозаменяемость, стандартизация и технический измерения: Учебник. – [Текст]; М.: Издательство стандартов, 1987, 352 с.

РОЗДІЛ 7
ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

7.1 Параметри точності зубчастих коліс та передач

Зубчасті передачі широко застосовують у машинах, приладах, верстатах. Залежно від форми коліс і взаємного розташування осей зубчасті передачі поділяють на циліндричні (осі паралельні), конічні (осі перетинаються), гвинтові, гіпоїдні і черв'ячні (осі мимобіжні). За експлуатаційним призначенням зубчасті передачі можна розділити на три основні групи: відлікові, швидкісні та силові.

Відлікові передачі повинні забезпечувати високу кінематичну точність, тобто точну узгодженість кутів повороту ведучого та веденого коліс. До цієї групи відносяться зубчасті передачі ділильних механізмів верстатів, приладів. Передачі характеризуються невеликим модулем коліс, передачею незначних навантажень і порівняно невеликими швидкостями обертання.

Швидкісні передачі повинні забезпечувати плавну передачу заданого крутного моменту, тобто працювати без шуму і вібрації. До цієї групи відносять зубчасті передачі редукторних вузлів, коробок швидкостей верстатів, автомобілів, центрифуг та ін. Передачі мають середні модулі коліс, значну довжину зуба та працюють з високими швидкостями обертання.

Силові передачі повинні забезпечувати передачу значних крутних моментів за невисокої швидкості обертання. Такі передачі застосовують у підйомно-транспортних механізмах (редуктори кранів, ліфтів, конвеєрів). Основна вимога до таких передач – це забезпечення найбільшої плями контакту зубів. Силові передачі мають великі модулі і велику довжину зуба.

Відповідно до цих експлуатаційних вимог усі параметри точності зубчастої передачі у відповідних стандартах розділені на три групи:

- параметри, що забезпечують кінематичну точність;
- параметри, що забезпечують плавність роботи;
- параметри, що забезпечують контакт зубів.

ГОСТ 1643 встановлює допуски на циліндричні евольвентні прямозубі, косозубі та шевронні зубчасті колеса та передачі з модулем m = 1 ... 55 мм, ділильним діаметром до 6300 мм; шириною вінця до 1250 мм. ГОСТ 9178 поширюється на колеса та передачі з модулем m = 0,1 ... 1,0 мм і ділильним діаметром до 400 мм.

У наведених вище стандартах за точністю виготовлення всі зубчасті колеса та передачі розділені на 12 ступенів точності, які позначаються у порядку зниження точності цифрами 1, 2, 3 ,4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. Для ступенів точності 1 і 2 числові значення допусків і відхилень поки не передбачені, ці ступені залишені для майбутнього розвитку. Для кожного ступеню точності встановлено окремо норми кінематичної точності, плавності роботи і контакту зубів коліс і передач. Усі ці три види норм можна комбінувати і призначати з різних ступенів точності з урахуванням обмежень, наведених у стандартах.

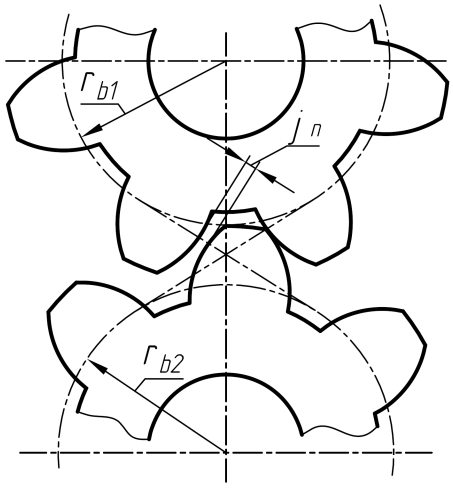
Незалежно від ступеню точності зубчастих коліс і передач стандартами встановлено різні види спряжень зубів у передачі. За основу поділу за видами спряжень прийнятий гарантований (найменший) бічний зазор $j_{n\min}$.

Бічний зазор j_n

> зазор між непрацюючими профілями зубів спряжених коліс. Він визначається у перерізі, перпендикулярному до напрямку зубів у площині, дотичній до основного кола (рис. 7.1).

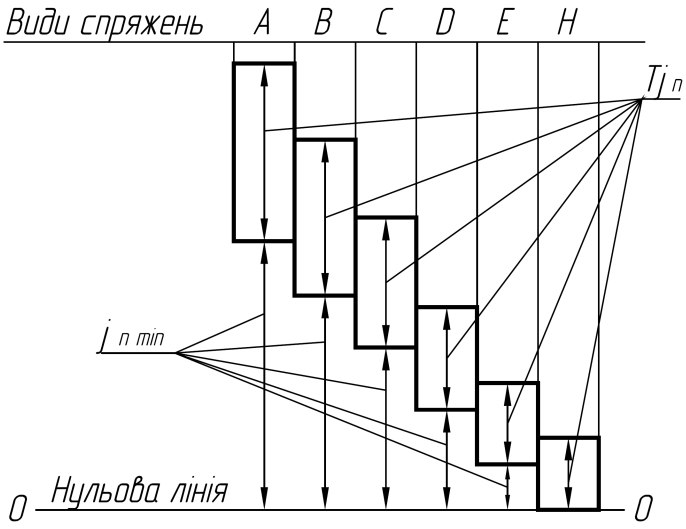
Бічний зазор призначений для створення необхідних умов змащення зубів, компенсації температурних деформацій у передачі, виключення заклинювання.

Види спряжень та види допуску зубчастих коліс. Встановлено шість видів спряжень зубчастих коліс у передачі *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, H та вісім видів допуску T_{jn} на бічний зазор *x*, *y*, *z*, *a*, *b*, *c*, *d*, *h* (рис. 7.2).



r_1 , r_2 – радіуси основних кіл
j_n – бічний зазор

Рис. 7.1 – Визначення бічного зазору у передачі



$j_{n\min}$ – гарантовані бічні зазори
T_{jn} – допуски на бічні зазори

Рис. 7.2 – Схема розташування полів допусків на бічний зазор

Позначення наведено у порядку зменшення величини бічного зазору та допуску на нього. Вид спряження *H* має нульовий бічний зазор, *E* – вельми малий зазор, *D* – малий зазор, *C* – зменшений зазор, *B* – нормальний зазор, *A* – збільшений зазор.

Як правило, спряженню *A* відповідає вид допуску бічного зазору *a*, спряженню *B* – вид допуску *b*, спряженню *C* – вид допуску *c*, спряженню *D* – вид допуску *d*, а спряженням *H*, *E* - вид допуску *h*.

Класи точності відхилення міжосьової відстані. Для циліндричних зубчастих коліс встановлено шість класів точності відхилення міжосьової відстані, які позначають у порядку зниження точності римськими цифрами I, II, III, IV, V, VI. Їх переважно застосовують для спряжень

H і *E* – II клас
D – III клас
C – IV клас
B – V клас
A – VI клас

Проте допускається змінювати відповідність між видом спряження і класом точності відхилення міжосьової відстані.

Позначення точності зубчастих коліс на кресленнях. Точність виготовлення зубчастих коліс і передач задається ступенем точності за нормами кінематичної точності, плавності роботи і контакту зубів у передачі, а вимоги до бічного зазору – видом спряження і видом допуску бічного зазору.

Приклад. Розшифрувати умовне позначення 9-8-7-*Ba* ГОСТ 1643

9 – ступінь точності за нормами кінематичної точності
8 – ступінь точності за нормами плавності
7 – ступінь точності за нормами контакту зубів
B – вид спряження
a – вид допуску на бічний зазор

Якщо на всі норми точності призначено однакові ступені точності, допуск бічного зазору відповідає прийнятому виду спряження, то в позначенні ступінь точності вказують лише один раз, а допуск бічного зазору окремо не позначають.

Приклад. Розшифрувати умовне позначення 8-*D* ГОСТ 1643

8 – ступінь точності за нормами кінематичної точності,
8 – ступінь точності за нормами плавності
8 – ступінь точності за нормами контакту зубів
D – вид спряження
d – вид допуску на бічний зазор

Якщо ступінь точності за якоюсь із норм не встановлюється, то замість цифри – ступеню точності – ставиться літера *N*.

Приклад. Запис 8-*N*-6-Ba ГОСТ 1643 означає, що вимоги до норм плавності не встановлено.

7.1.1 Вибір показників чи комплексів точності

Для кожної з трьох норм точності (кінематичної, плавності та контакту зубів) передбачено окремі показники точності чи комплекси з кількох показників, які застосовують для контролю зубчастих коліс.

Згідно з ГОСТ 1643 у табл. 7.1 наведено окремі показники та комплекси контролю зубчастих коліс за різними нормами точності, які вибирають залежно від діаметрів зубчастих коліс та ступенів точності їх виготовлення. Кожний встановлений комплекс показників, що рекомендується при прийманні зубчастих коліс і передач, є рівноправним з

іншими. Показники вибрані таким чином, щоб вони доповнювали один одного, тобто один головним чином характеризує радіальну складову похибки зубчастого колеса, а інший – тангенціальну. Під час вибору показників точності чи комплексів зубчастого колеса варто враховувати конкретні умови виробництва, зокрема наявність на виробництві тих чи інших засобів вимірювання.

Для контролю зубчастих передач бажано застосовувати показники, що визначаються безпосередньо у зібраному механізмі.

Таблиця 7.1

Показники та комплекси контролю точності зубчастих коліс (за ГОСТ1643)

Норми точності	Показник точності чи комплекс		Ступені точності						
	Найменування	Позначення	6	7	8	9	10	11	12
Показники кінематичної точності	Найбільша кінематична похибка	F'_{ir}	×	×	×	-	-	-	-
	Накопичена похибка кроку	F_{Pr}	-	×	×	-	-	-	-
	Похибка обкату Радіальне биття зубчастого вінця	F_{cr} F_{rr}	×	×	×	-	-	-	-
	Коливання довжини спільної нормалі Радіальне биття зубчастого вінця	F_{vWr} F_{rr}	×	×	×	-	-	-	-
	Радіальне биття зубчастого вінця	F_{rr}	-	-	-	×	×	×	×
	Коливання вимірювальної міжосьової відстані за один оберт зубчастого колеса	F''_{ir}	-	-	-	×	×	×	×
Показники плавності роботи	Місцева кінематична похибка	f'_{ir}	×	×	×	-	-	-	-
	Відхилення кроку зачеплення Похибка профілю зубу	f_{Pbr} f_{fr}	×	×	×	-	-	-	-
	Відхилення кроку зачеплення Відхилення кроку	f_{Pbr} f_{Ptr}	×	×	×	-	-	-	-
	Коливання вимірювальної міжосьової відстані на одному зубі	f''_{ir}	×	×	×	×	-	-	-
	Відхилення кроку зачеплення	f_{Pbr}	-	-	-	×	×	×	×
	Відхилення кроку	f_{Ptr}	-	-	-	×	×	×	×
Показники контакту зубів	Сумарна похибка контактної лінії	F_{kr}	×	×	×	×	×	×	×
	Похибка напрямку зубу	F_{br}	×	×	×	×	×	×	×
	Сумарна пляма контакту з зубами вимірювального зубчастого колеса	-	×	×	×	×	×	×	-
	Миттєва пляма контакту з зубами вимірювального зубчастого колеса	-	×	×	×	×	×	×	-

Примітка . 1. Таблицю наведено із скороченнями

2. Пояснення до умовних позначень показників точності:

Основні позначення: *F*, *f* – похибка. Індекси: штрих (‘) відноситься до однопрофільного зачеплення; подвійний штрих (‘‘) – до двопрофільного зачеплення; *b* – зачеплення; *c* – обкат; *f* – профіль зуба; *i* – в зачепленні; *k* – число кроків; *P* – крок; *r* – перший індекс це радіус, останній – дійсне (реальне) відхилення; *t* – торцевий; *W* – середня довжина спільної нормалі; *в* – напрямок зуба.

7.1.2 Кінематична точність передачі

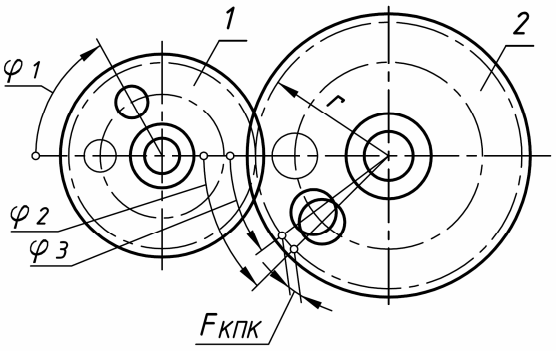
Стандартом передбачені наступні норми, що характеризують кінематичну точність зубчастих коліс:

- кінематична похибка зубчастого колеса $F_{КПК}$;
- найбільша кінематична похибка зубчастого колеса F_{ir}';
- накопичена похибка k кроків F_{Pkr};
- похибка обкату F_{cr};
- радіальне биття зубчастого вінця F_{rr};
- коливання довжини спільної нормалі F_{vWr};
- коливання міжосьової вимірювальної відстані F_{ir}''.

Кінематична похибка зубчастого колеса $F_{КПК}$

різниця між дійсним та номінальним (розрахунковим) кутами повороту зубчастого колеса на його робочій осі, при зачепленні з вимірювальним (ідеальним) колесом (рис. 7.3).

Під робочою віссю розуміють вісь, навколо якої зубчасте колесо обертається у передачі. Похибка визначається у лінійних величинах довжини дуги ділильного кола.



1 – ведуче (ідеальне) колесо
2 – ведене (вимірюване) колесо
φ_1 – дійсний кут повороту ведучого колеса
φ_2 – дійсний кут повороту веденого колеса
φ_3 – номінальний кут повороту веденого колеса
r – радіус ділильного кола веденого колеса

Рис. 7.3 – Кінематична похибка колеса $F_{КПК}$

Кінематична похибка зубчастого колеса $F_{кпк}$ визначається за формулою

$$F_{КПК} = r \cdot (\varphi_2 - \varphi_3),$$

де r – радіус ділильного кола веденого колеса;
φ_2 – дійсний кут повороту веденого колеса;
φ_3 – номінальний кут повороту веденого колеса.

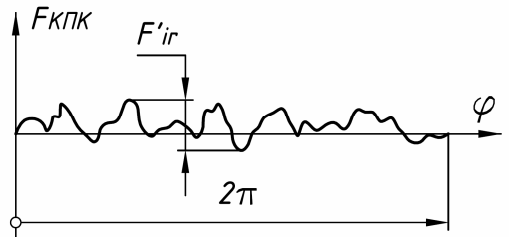
Кут φ_3 визначають за формулою:

$$\varphi_3 = \varphi_1 \, {}^{z_1}\!/_{z_2},$$

де z_1 – кількість зубів ведучого колеса;
z_2 –кількість зубів веденого колеса.

Найбільша кінематична похибка зубчатого колеса F_{ir}'

найбільша алгебраїчна різниця кінематичної похибки зубчастого колеса в межах його повного оберту (рис. 7.4).



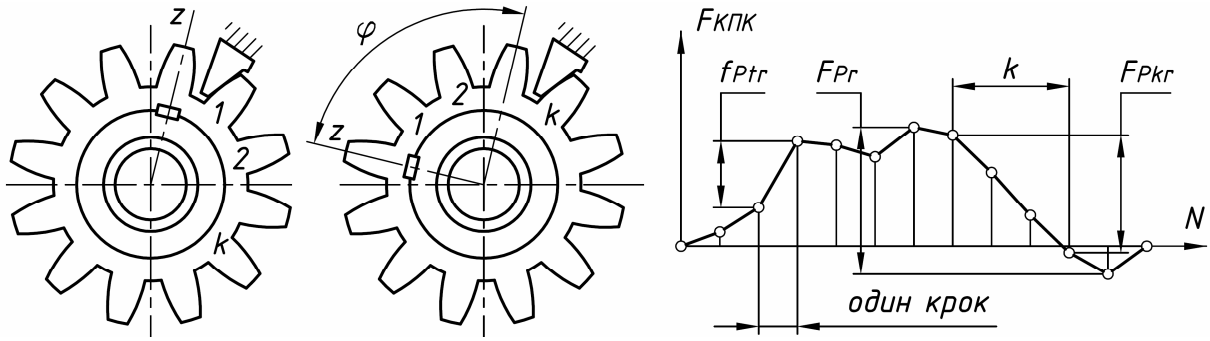
F'_{ir} – найбільша кінематична похибка
$F_{КПК}$ – кінематична похибка колеса
φ – кут повороту зубчастого колеса

Рис. 7.4 – Графік кінематичної похибки колеса

***Накопичена похибка** k **кроків** F_{Pkr}*

найбільша різниця дискретних значень кінематичної похибки зубчастого колеса за його номінального повороту на *k* цілих кутових кроків (рис. 7.5).

Накопичена похибка кроку зубчастого колеса F_{Pr} визначається як найбільша алгебраїчна різниця значень накопичених похибок кроку у межах зубчастого колеса.



F_{Pkr} – накопичена похибка *k* кроків
F_{Pr} – накопичена похибка кроку зубчастого колеса
f_{Ptr} – відхилення кроку
k – число цілих кутових кроків
N – номери кроків
φ – кут повороту зубчастого колеса

Рис. 7.5 – Накопичена похибка k кроків

***Похибка обкату** F_{cr}*

складова кінематичної похибки зубчастого колеса, що визначається під час його обертанні на технологічній осі.

Під технологічною віссю розуміють вісь, навколо якої колесо обертається у процесі остаточної механічної обробки зубів. Тобто похибку обкату можна визначити як похибку кінематичного ланцюга ділення зуборізального верстата.

***Радіальне биття зубчастого вінця** F_{rr}*

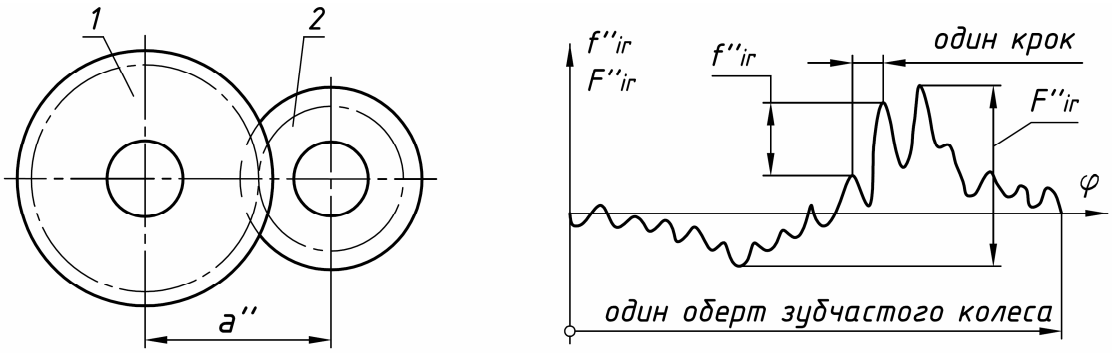
різниця дійсних граничних положень вихідного контуру в межах зубчастого колеса.

***Коливання довжини спільної нормалі** F_{vWr}*

різниця між найбільшою та найменшою дійсними довжинами спільної нормалі в одному і тому ж зубчастому колесі.

***Коливання міжосьової вимірювальної відстані** F''_{ir}*

різниця між найбільшою та найменшою дійсними міжосьовими відстанями при двопрофільному зачепленні вимірювального ідеального зубчастого колеса з зубчастим колесом, що контролюється, при повороті останнього на один оберт (рис. 7.6).



F_{ir}'' – за один оберт зубчастого колеса; f_{ir}'' – на одному зубі; а" – міжосьова відстань;
1 – ведуче (ідеальне) колесо; 2 – ведене (вимірюване) колесо

Рис. 7.6 – Коливання вимірювальної міжосьової відстані

Прилади для вимірювання параметрів зубчастих коліс. Вимірювальні прилади залежно від параметрів зубчастих коліс, які вони контролюють, відповідно до ГОСТ 5368 розділяють на групи:

- прилади для вимірювання кінематичної похибки;
- прилади для вимірювання кроку;
- прилади для вимірювання довжини спільної нормалі;
- прилади для вимірювання радіального биття зубчастого вінця;
- прилади для вимірювання вимірювальної міжосьової відстані;
- прилади для вимірювання профілю зуба тощо (всього 14 типів).

За конструкцією усі прилади розділяють на станкові (*S*) та накладні (*M*).

Залежно від розміру (модуля) вимірюваних зубчастих коліс прилади розділяють на типорозміри:

- *S*0,1; *S*0,2; *S*0,3; *M*0,1; *M*0,2; *M*0,3 – для зубчастих коліс з модулем $m < 1$ мм;
- *S*1; *S*2; *S*3; *M*1; *M*2; *M*3 – для зубчастих коліс з модулем $m \geq 1$ мм.

За точністю прилади розділяють на класи точності:

- *A* – застосовують для контролю коліс, починаючи з 3-го ступеня точності;
- *AB* – застосовують для контролю коліс, починаючи з 5-го ступеня точності;
- *B* – застосовують для контролю коліс, починаючи з 7-го ступеня точності.

Номенклатура приладів для вимірювання зубчастих коліс досить широка. Прилади відрізняються конструкцією, точністю, діапазоном вимірювання.

7.2 *Лабораторна робота № 18.* Вимірювання коливання довжини спільної нормалі за допомогою нормалеміра

Мета роботи

Вивчити методику та техніку вимірювання коливання довжини спільної нормалі за допомогою нормалеміра.

Зміст роботи

Виміряти коливання довжини спільної нормалі та встановити, чи відповідає вимі-ряне зубчасте колесо заданому ступеню точності.

Технічне забезпечення

1. Нормалемір – 1 шт.
2. Набір плоскопаралельних кінцевих мір довжини – 1 шт.
3. Колесо зубчасте прямозубе – 1 шт.

7.2.1 Визначення коливання довжини спільної нормалі

Під довжиною спільної нормалі W розуміють відстань між двома паралельними площинами, дотичними до двох різнойменних активних бічних поверхонь зубів зубчастого колеса. Спільна нормаль до евольвентних поверхонь зубів є дотичною до основного кола колеса і в той же час є сумою декількох кроків зачеплення P_n та товщини зуба S_n по дузі основного кола зубчастого колеса

$$W = P_n\,(z_n - 1) + S_n,$$

де z_n - кількість зубів, що знаходиться на довжині спільної нормалі;
P_n - крок зачеплення;
S_n - товщина зуба.

Довжина спільної нормалі не залежить від положення (нахилу) паралельних площин, а відповідно і вимірювальних губок приладу (рис. 7.7, *а*), тобто

$$N_1N_2 = N_3N_4 = N_5N_6 = const$$

або $W_1 = W_2 = ... = W_n = const$

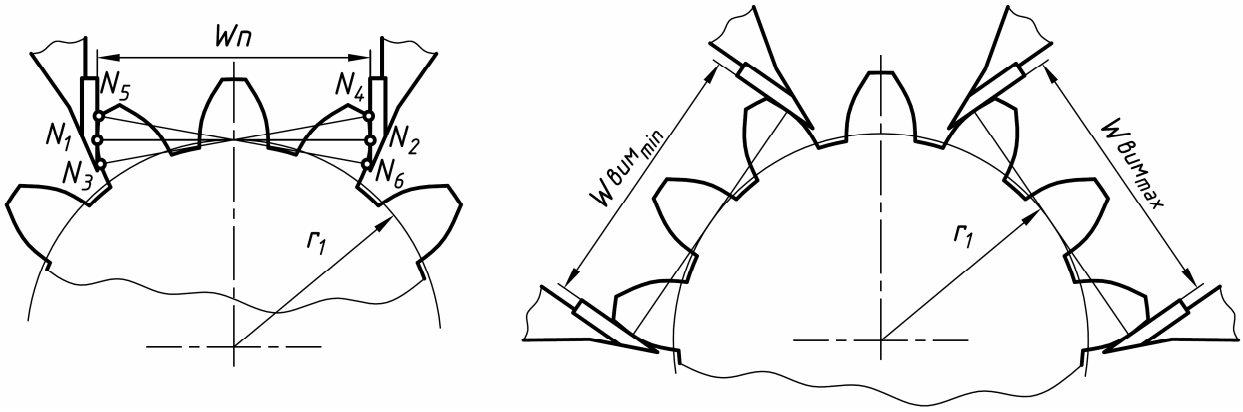
Коливанням довжини спільної нормалі F_{vWr} називають різницю між найбільшою та найменшою дійсними довжинами спільної нормалі в одному і тому ж зубчастому колесі.

$$F_{vWr} = W_{д\max} - W_{д\min}, \qquad (7.1)$$

де $W_{д\max}$ і $W_{д\min}$ - відповідно найбільша та найменша дійсні (виміряні) довжини спільної нормалі зубчастого колеса (рис. 7.7, *б*).

Якщо між губками вимірювального інструменту знаходяться n зубів, то довжина спільної нормалі включає n-1 колових кроків по дузі основного кола.

Оскільки дійсні значення кроків P_n і товщини зуба S_n у зубчастого колеса є змінними, то в результаті і сама довжина спільної нормалі при обкаті зубчастого колеса весь час змінюється – збільшується на одній ділянці зубчастого вінця і зменшується на іншій. Внаслідок цього коливання довжини спільної нормалі може бути показником (тангенціальною складовою) кінематичної похибки колеса. В основному ж на зміну довжини спільної нормалі впливають похибки кроку по основному колу.



а) схема визначення довжини спільної нормалі

б) схема визначення коливання виміряної довжини спільної нормалі

Рис. 7.7 – Коливання довжини спільної нормалі

Коливання довжини спільної нормалі обмежується допуском F_{vWr}. Допуски на коливання довжини спільної нормалі відповідно до ГОСТ 1643 передбачено для зубчастих коліс зі ступенями точності від третього до восьмого і наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2

Допуск на коливання довжини спільної нормалі F_{vWr} (за ГОСТ1643)

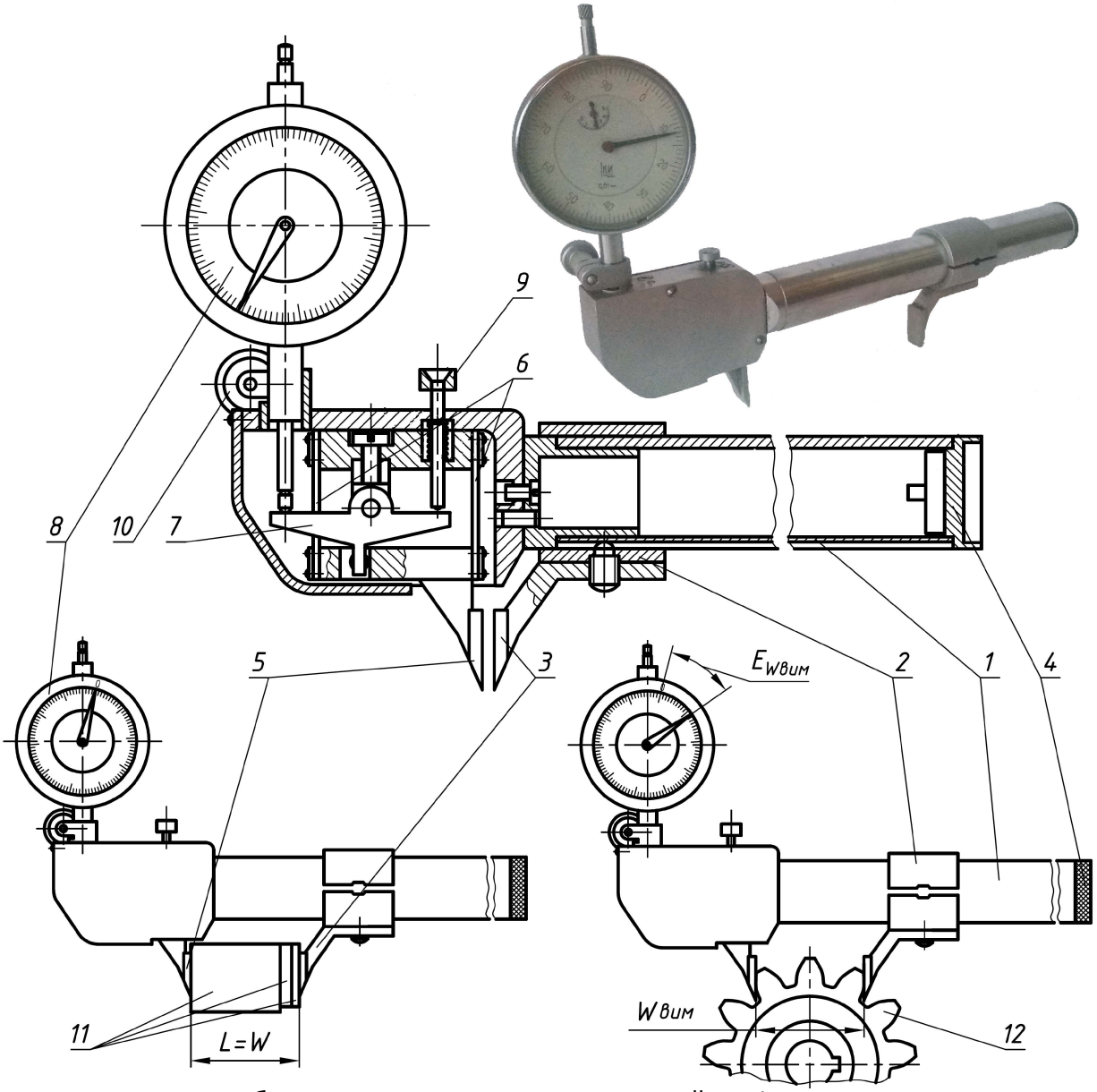
Ступінь точності	Модуль *m*, мм	Ділильний діаметр *d*, мм			
		До 125	Понад 125 до 400	Понад 400 до 800	Понад 800 до 1600
		Допуск, мкм			
3	Від 1 до 10	4	7	12	18
4	Від 1 до 10	6	12	18	28
5	Від 1 до 16	10	18	28	45
6	Від 1 до 16	16	28	45	70
7	Від 1 до 25	22	40	60	100
8	Від 1 до 40	28	50	80	120

Коливання довжини спільної нормалі може бути однією із складових контрольних комплексів для ступенів точності 3 ... 8, що характеризують кінематичну точність зубчастих коліс. Тобто, коливання довжини спільної нормалі є одним з параметрів, за яким визначається придатність виготовленого зубчастого колеса.

7.2.2 Будова та принцип дії нормалеміра

Вимірювання довжини спільної нормалі і відхилення довжини спільної нормалі можна виконувати спеціальними приладами – нормалемірами, зубовимірювальними мікрометрами, а також на універсальних приладах для вимірювання зубчастих коліс. У даній лабораторній роботі розглядається вимірювальний прилад – нормалемір.

Нормалеміри призначені для вимірювання довжини спільної нормалі, а також для визначення коливання довжини спільної нормалі циліндричних зубчастих коліс зовнішнього зачеплення ступенів точності 3 ... 8 за ГОСТ 1643. Нормалемір являє собою зубомірну індикаторну скобу з відліковим пристроєм у вигляді багатообертового індикатора (рис. 7.8).



1 – штанга трубчаста
2 – втулка розрізна
3 – губка вимірювальна нерухома
4 – ключ
5 – губка вимірювальна рухома
6 – пружинний паралелограм
7 – кутовий важіль
8 – індикатор
9 – аретир
10 – гвинт
11 – блок кінцевих мір довжини
12 – вимірюване зубчасте колесо

Рис. 7.8 – Будова нормалеміра та схема вимірювання зубчастого колеса

Нормалемір складається з трубчастої штанги 1, на якій розміщується розрізна втулка 2 з нерухомою (під час вимірювання) вимірювальною губкою 3. Від провертання втулку 2 утримує шпонка, яка переміщується разом з втулкою вздовж паза у штанзі 1. Розрізна втулка 2 виконана таким чином, що у вільному стані вона самозатискається на штанзі (пружно охоплює штангу). Переміщення втулки з губкою можливе тільки за допомогою ключа 4, який своїм виступом вводиться у гніздо розрізної втулки і при повороті розтискає втулку. В цьому положенні і виконується переміщення втулки. Ключ 4 розміщують в отворі штанги, де він утримується пружинним стопором.

Рухома вимірювальна губка 5 підвішена на пружинному паралелограмі 6, вона має можливість поздовжнього переміщення, зберігаючи паралельність вимірювальних

площин обох губок 5 та 3. Переміщення рухомої губки 5 передається через кутовий важіль 7 з відношенням плечей 1:2 на індикатор 8. При ціні поділки індикатора 0,01 мм ціна поділки нормалеміра з урахуванням співвідношення плеч важеля дорівнює 0,005 мм. Відведення рухомої губки здійснюється натисканням на кнопку аретира 9. Основні технічні та метрологічні характеристики нормалеміра НЦ-1 наведено в табл. 7.3.

Таблиця 7.3

Метрологічні характеристики нормалеміра

Параметр	Числове значення параметра
Найбільша довжина нормалі, мм	150
Найменший модуль контрольованих коліс, мм	1
Границя вимірювання довжини загальної нормалі, мм	0-150
Ціна поділки відлікового пристрою, мм	0,005
Границя вимірювання за шкалою, мм	$\pm 0{,}5$
Вимірювальне зусилля, Н	$3 \pm 0{,}5$

Налаштування нормалеміра. З плоскопаралельних кінцевих мір довжини 4-го розряду складають блок кінцевих мір 11, розмір якого дорівнює номінальному значенню довжини спільної нормалі *W* зубчастого колеса 12. Блок розміщують між губками 3 і 5 нормалеміра. За допомогою ключа 4 вимірювальну губку 3 підводять до рухомої вимірювальної губки 5 так, щоб між вимірювальними площинами губок був мінімальний видимий просвіт і встановлюють у цьому положенні. У гнізді приладу розміщують індикатор 8, створюють натяг в один оберт стрілки і закріплюють гвинтом 10. Індикатор 8 встановлюють на нуль, повертаючи за ободок шкалу відносно стрілки.

Натискаючи аретир 9, відводять рухому губку 4, перевіряють нульове положення та дістають блок кінцевих мір 11.

7.2.3 Вимірювання довжини спільної нормалі зубчастого колеса

Спочатку необхідно виконати розрахунки параметрів зубчастого колеса.

Ділильний діаметр *d* контрольованого зубчастого колеса визначається за формулою

$$d = m \cdot z, \tag{7.2}$$

де m - модуль, мм;

z - кількість зубів.

Номінальне значення довжини спільної нормалі *W* для прямозубих циліндричних некорегованих коліс при α=20° визначається за формулою

$$W = m \cdot \left[2{,}952 \cdot (z_n - 0{,}5) + 0{,}014 \cdot z\right], \tag{7.3}$$

де z_n - кількість зубів, що охоплюється губками приладу.

Кількість зубів z_n розраховують за формулою

$$z_n = \frac{z}{9} + 0{,}5 \tag{7.4}$$

Отримане значення округлюють до найближчого цілого числа.

Нормалемір встановлюють на контрольоване колесо з охопленням відповідної групи зубів, як показано на рис. 7.9 (кількість зубів, охоплених губками на рисунку $z_n = 3$) і знімають покази індикатора. Під час вимірювання нормалемір злегка похитують, обкочуючи губки по профілю зубів.

Довжину спільної нормалі вимірюють у межах усього колеса, послідовно зміщуючи прилад на один зуб. Щоб запобігти передчасному зношенню вимірювальних поверхонь, слід під час кожного вимірювання відводити рухому вимірювальну губку 3 за допомогою аретира 9. Покази індикатора в кожній западині відповідають дійсним значенням відхилень довжини спільної нормалі. Найбільший розмір довжини спільної нормалі $W_{\partial\max}$ визначають, як суму розміру блоку мір L, на який був налаштований нормалемір, і найбільшого значення з показів приладу (з урахуванням знаку). Найменший розмір довжини спільної нормалі $W_{\partial\min}$ визначають, як суму розміру блоку мір L, на який був налаштований прилад, і найменшого значення з показів приладу (з урахуванням знаку).

Зубчасте колесо вважають придатним за параметром F_{vW} (коливання довжини спільної нормалі), коли виконується умова

$$F_{vWr} \le F_{vW},$$

де F_{vWr} - дійсне коливання довжини спільної нормалі;

F_{vW} - стандартний (табличний допуск) коливання довжини спільної нормалі.

7.2.4 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо параметрів точності зубчастих коліс та передач (п. 7.1).
2. Вивчити будову нормалеміра (п. 7.2.1).
3. Для зубчастого колеса, виданого викладачем (відомими є модуль, кількість зубів та ступінь точності), розрахувати ділильний діаметр d (формула 7.2) та встановити допустиме значення коливання довжини спільної нормалі F_{vWr} (табл. 7.2). Значення занести в табл. 7.4.
4. Для заданого зубчастого колеса розрахувати:
   - номінальну довжину спільної нормалі W (формула 7.3)
   - кількість зубів, що охоплюється губками нормалеміра z_n (формула 7.4)
5. За розрахованим номінальним значенням W скласти блок мір, у якого розмір блоку L дорівнює або є близьким до W. Приклад складання блоку мір див. п. 2.2.2. Налаштувати нормалемір на нуль.
6. Накладаючи прилад на зубчасте колесо, виміряти відхилення довжини спільної нормалі по всьому зубчастому колесі. Дані занести в протокол (табл. 7.4).
7. Визначити найбільше $W_{\partial\max}$ та найменше $W_{\partial\min}$ виміряні значення довжини спільної нормалі в межах колеса.
8. Розрахувати коливання довжини спільної нормалі (формула 7.1)
9. Порівнявши дійсне значення коливання довжини спільної нормалі з допустимим

стандартним для заданого ступеню точності, зробити висновок щодо придатності зубчастого колеса.

Таблиця 7.4

Результати вимірювання довжини спільної нормалі зубчастого колеса

<table>
<tr><td>1.</td><td colspan="8">Модуль вимірюваного зубчастого колеса m, мм</td><td></td></tr>
<tr><td>2.</td><td colspan="8">Кількість зубів z</td><td></td></tr>
<tr><td>3.</td><td colspan="8">Ступінь точності за ГОСТ 1643</td><td></td></tr>
<tr><td>4.</td><td colspan="8">Ділильний діаметр d, мм</td><td></td></tr>
<tr><td>5.</td><td colspan="8">Допуск на коливання довжини спільної нормалі F_{vWr}</td><td></td></tr>
<tr><td>6.</td><td colspan="8">Номінальна довжина спільної нормалі W, мм</td><td></td></tr>
<tr><td>7.</td><td colspan="8">Кількість зубів, що охоплюється губками нормалеміра z_n</td><td></td></tr>
<tr><td>8.</td><td colspan="8">Розмір блоку мір L, мм</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="7">9.</td><td colspan="9">Виміряне відхилення спільної нормалі $E_{W\partial}$, мкм</td></tr>
<tr><td>номер западини</td><td>покази приладу</td><td>номер западини</td><td>покази приладу</td><td>номер западини</td><td>покази приладу</td><td>номер западини</td><td>покази приладу</td></tr>
<tr><td>1</td><td></td><td>6</td><td></td><td>11</td><td></td><td>16</td><td></td></tr>
<tr><td>2</td><td></td><td>7</td><td></td><td>12</td><td></td><td>17</td><td></td></tr>
<tr><td>3</td><td></td><td>8</td><td></td><td>13</td><td></td><td>18</td><td></td></tr>
<tr><td>4</td><td></td><td>9</td><td></td><td>14</td><td></td><td>...</td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td></td><td>10</td><td></td><td>15</td><td></td><td>n</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="9"></td></tr>
<tr><td>10.</td><td colspan="8">Найменша довжина спільної нормалі $W_{\partial\min}$, мм</td><td></td></tr>
<tr><td>11.</td><td colspan="8">Найбільша довжина спільної нормалі $W_{\partial\max}$, мм</td><td></td></tr>
<tr><td>12.</td><td colspan="8">Виміряне коливання довжини спільної нормалі F_{vWr}</td><td></td></tr>
<tr><td>13.</td><td colspan="8">Висновок щодо придатності зубчастого колеса</td><td></td></tr>
</table>

7.3 *Лабораторна робота № 19.* Вимірювання радіального биття зубчастого вінця за допомогою биттєміра

Мета роботи

Вивчити методику та техніку вимірювання радіального биття зубчастого вінця за допомогою биттєміра.

Зміст роботи

Виміряти радіальне биття зубчастого вінця та встановити, чи відповідає виміряне зубчасте колесо заданому ступеню точності.

Технічне забезпечення

1. Биттємір – 1 шт.
2. Колесо зубчасте прямозубе – 1 шт.

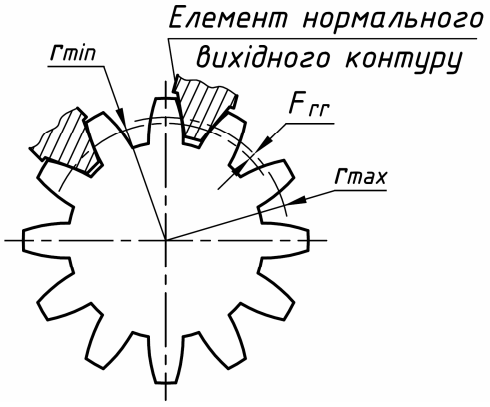
7.3.1 Схема вимірювання радіального биття зубчастого вінця

Як було вказано у п. 7.1 радіальне биття зубчастого вінця – це різниця дійсних граничних положень вихідного контуру в межах зубчастого колеса (рис. 7.9) і визначається за формулою

$$F_{rr} = r_{max} - r_{min} \quad (7.5)$$

де r_{max} - найбільше граничне положення вихідного контуру;

r_{min} - найменше граничне положення вихідного контуру.



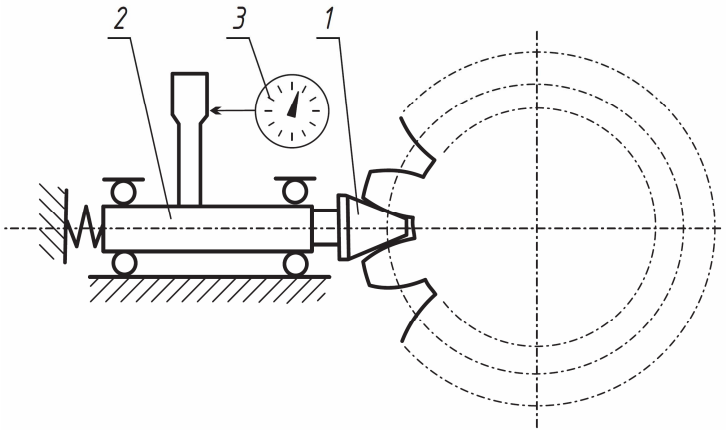
r_{max} – найбільше граничне положення вихідного контуру;

r_{min} – найменше граничне положення вихідного контуру

Рис. 7.9 – Радіальне биття зубчастого вінця F_{rr}

Допуски на радіальне биття зубчастого вінця у ступенях точності зубчастих коліс 3 ... 8 використовують у якості складової комплексу показників спільно з коливанням довжини спільної нормалі. Для ступенів точності зубчастих коліс 9 ... 12 радіальне биття зубчастого вінця є окремим самостійним показником, який характеризує кінематичну точність зубчастих коліс. Допуски на радіальне биття зубчастого вінця відповідно до ГОСТ 1643 наведено в табл. 7.5.

Радіальне биття зубчастого вінця визначається положенням вимірювального наконечника 1, встановленого на штоці 2 з кульковими опорами (рис. 7.10). Шток зв’язаний з індикатором 3. Наконечник почергово вводиться у кожну западину зубчастого колеса. Різниця найбільшого і найменшого показів індикатора в межах усього зубчастого колеса дорівнює радіальному биттю зубчастого вінця.



1 – наконечник
2 – шток
3 – індикатор

Рис. 7.10 – Схема вимірювання биттєміром

7.3.2 Будова та принцип дії биттєміра

Биттємір мод. Б10-М призначений для контролю циліндричних зубчастих коліс зовнішнього та внутрішнього зачеплення 6 ... 11 ступеню точності з модулем m = 1 ... 10 мм та діаметром ділильного кола 20 ... 360 мм.

Таблиця 7.5

Допуск на радіальне биття зубчастого вінця F_{rr} (ГОСТ1643)

Ступінь точності	Модуль ***m***, мм	Ділильний діаметр *d*, мм						
		До 125	Понад 125 до 400	Понад 400 до 800	Понад 800 до 1600	Понад 1600 до 2500	Понад 2500 до 4000	Понад 4000 до 6300
		Допуск, мкм						
3	Від 1 до 3,5	6	9	11	13	14	-	-
	» 3,5 » 6,3	7	10	13	14	16	18	-
	» 6,3 » 10	8	11	14	16	18	20	22
4	Від 1 до 3,5	10	15	18	20	22	-	-
	» 3,5 » 6,3	11	16	20	22	25	28	-
	» 6,3 » 10	13	18	22	25	28	32	36
5	Від 1 до 3,5	16	22	28	32	36	-	-
	» 3,5 » 6,3	18	25	32	36	40	45	-
	» 6,3 » 10	20	28	36	40	45	50	56
	» 10 » 16	-	32	40	45	50	56	63
6	Від 1 до 3,5	25	36	45	50	56	-	-
	» 3,5 » 6,3	28	40	50	56	63	71	-
	» 6,3 » 10	32	45	56	63	71	80	90
	» 10 » 16	-	50	63	71	80	90	100
7	Від 1 до 3,5	36	50	63	71	80	-	-
	» 3,5 » 6,3	40	56	71	80	90	100	-
	» 6,3 » 10	45	63	80	90	100	112	125
	» 10 » 16	-	71	90	100	112	125	140
8	Від 1 до 3,5	45	63	80	90	100	-	-
	» 3,5 » 6,3	50	71	90	100	112	125	-
	» 6,3 » 10	56	80	100	112	125	140	160
	» 10 » 16	-	90	112	125	140	160	180
9	Від 1 до 3,5	71	80	100	112	125	-	-
	» 3,5 » 6,3	80	100	112	125	140	160	-
	» 6,3 » 10	90	112	125	140	160	180	200
	» 10 » 16	-	125	160	160	180	200	224
10	Від 1 до 3,5	100	112	125	140	160	-	-
	» 3,5 » 6,3	125	140	140	160	180	200	-
	» 6,3 » 10	140	160	160	180	200	224	250
	» 10 » 16	-	180	200	200	224	250	280
11	Від 1 до 3,5	125	140	160	180	200	-	-
	» 3,5 » 6,3	160	180	180	200	224	250	-
	» 6,3 » 10	180	200	200	224	250	280	315
	» 10 » 16	-	334	250	250	280	315	355
12	Від 1 до 3,5	160	180	200	224	250	-	-
	» 3,5 » 6,3	200	224	224	250	280	315	-
	» 6,3 » 10	224	250	250	280	315	355	400
	» 10 » 16	-	280	315	315	355	400	450

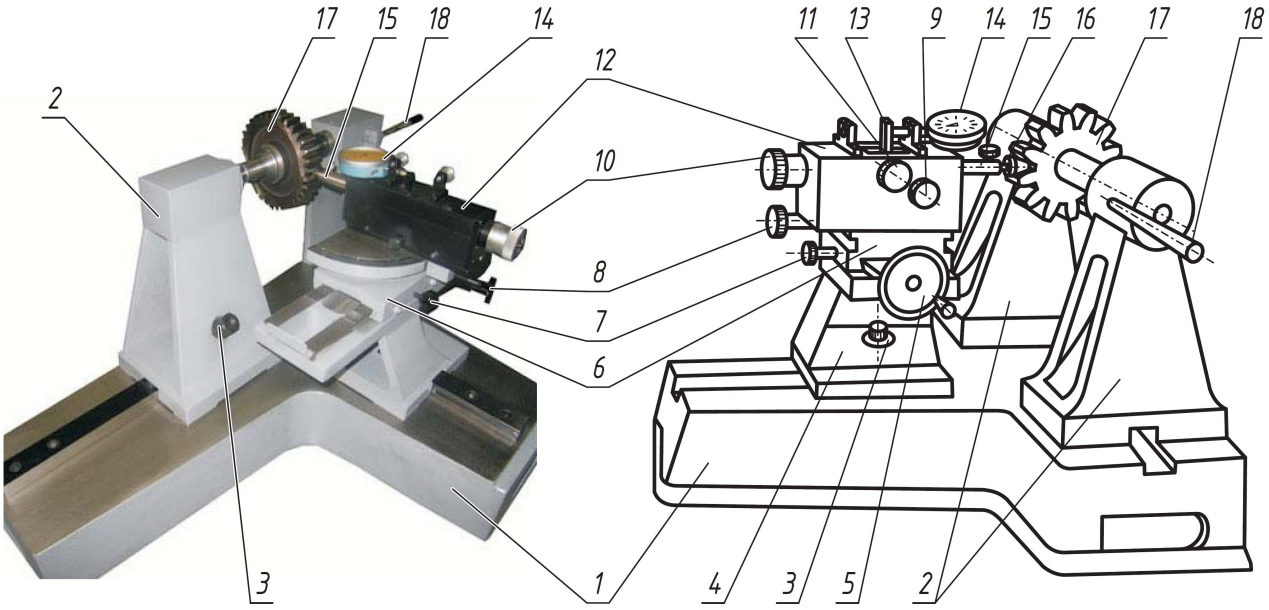
Биттємір (рис. 7.11) складається зі станини 1, центрових бабок 2 і вимірювальної бабки 4, на якій розташована каретка 6 з вимірювальним вузлом 12. У центрових бабках

розташовані центри для закріплення зубчастого колеса 17. Центр лівої бабки жорстко зв'язаний з її корпусом, а центр правої бабки може відводитися рукояткою 18 і повертатися у вихідне положення під дією пружини, що розміщена всередині корпусу бабки.

Вимірювальна бабка 4 переміщується перпендикулярно до лінії центрів вручну і стопориться гвинтом 3. Каретку 6 переміщують вздовж лінії центрів маховиком 5 і стопорять гвинтом 7. Маховиком 9 вимірювальний вузол 12 підводять до колеса так, щоб наконечник 16 встав у западину колеса. Шток 15, що упирається планкою 13 в наконечник індикатора 14, відводиться від колеса ручкою 11. Ковпачок 10 слугує для перемикання напрямку вимірювального зусилля. Колеса зовнішнього зачеплення вимірюють при закрученому ковпачку, а внутрішнього зачеплення – при розкрученому. Вимірювальні наконечники для зубчастих коліс зовнішнього зачеплення виготовляють у вигляді зрізаного конусу з кутом при вершині $2\alpha = 40° \pm 7'$. У цьому випадку контакт наконечника з профілем зубів проходить по точках, що відповідають кінцям постійних хорд.

Для контролю конічних коліс вимірювальний вузол 12 повертають у горизонтальній площині на певний кут, положення фіксують гвинтом 8 і виконують вимірювання аналогічно до вимірювання циліндричних коліс.

Основні технічні та метрологічні характеристики биттєміра мод. Б10-М наведено в табл. 7.6.



1 – станина
2 – центрова бабка
3 – стопорний гвинт
4 – вимірювальна бабка
5 – маховик переміщення каретки
6 – каретка осьового переміщення
7 – гвинт стопоріння каретки
8 – гвинт фіксації вимірювального вузла
9 – маховик поперечного переміщення
10 – ковпачок перемикання напрямку зусилля
11 – ручка відведення індикатора
12 – вимірювальний вузол
13 – упорна планка
14 – головка індикатора
15 – шток
16 – наконечник
17 – зубчасте колесо
18 – рукоятка

Рис. 7.11 – Конструкція биттєміра

Таблиця 7.6

Технічні та метрологічні характеристики биттєміра

Параметр	Числове значення параметра
Модуль контрольованих зубчастих коліс, мм	1 ... 10
Діаметр контрольованих коліс, мм	до 400
Діаметр контрольованих коліс внутрішнього зачеплення, мм	60 ... 300
Ступені точності зубчастих коліс	6 ... 11
Максимальна маса вимірюваного зубчастого колеса, кг	50
Максимальна відстань між центрами, мм	330
Ціна поділки шкали відлікового пристрою, мм	0,001

7.3.3 Вимірювання за допомогою биттєміра

Підготовка приладу до роботи

- Перемикаючий пристрій перевести у положення, необхідне для вимірювання коліс зовнішнього зачеплення. Для цього ковпачок 10 (рис. 7.11) треба повністю закрутити.
- Зубчасте колесо встановити на оправку, а оправку в центрах центрових бабок 2. Правий центр відводиться за допомогою рукоятки 18. Оправка з колесом повинна вільно від руки обертатися в центрах приладу. При цьому не повинно бути биття в центрах оправки з зубчастим колесом.
- В отвір штока 15 встановити конічний наконечник, який відповідає модулю зубчастого колеса, і закріпити його гвинтом.
- Вимірювальний наконечник 16 розмістити у западину зубчастого колеса. Вимірювальну головку підвести до упора 13, створити натяг на один оберт та встановити на індикаторі нульове положення.

Вимірювання радіального биття зубчастого вінця

- Відвести вимірювальний наконечник вручну від зубчастого колеса.
- Повернути оправку із зубчастим колесом на один крок і розмістити вимірювальний наконечник у наступну западину зубу.
- Виконати відлік за шкалою вимірювальної головки.
- Вимірювальний наконечник помістити послідовно у кожну западину зуба, зняти відліки.

7.3.4 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо параметрів точності зубчастих коліс та передач (п. 7.1, 7.3.1).
2. Вивчити будову биттєміра (п. 7.3.2).
3. Для зубчастого колеса, виданого викладачем (відомими є модуль, кількість зубів та ступінь точності) встановити допустиме значення радіального биття зубчастого вінця F_{rr} (табл. 7.5). Ділильний діаметр d контрольованого зубчастого колеса визначається за формулою

$$d = m \cdot z,$$

де m – модуль, мм; z - кількість зубів.

4. Підготувати прилад до роботи та налаштувати на нуль (див. п. 7.3.3).
5. За допомогою биттєміра виконати вимірювання радіального биття зубчастого вінця у кожній западині зубчастого колеса (див. п. 7.3.3), дані занести в протокол (табл. 7.7).
6. Обчислити дійсне радіальне биття F_{rr} зубчастого вінця як різницю найбільшого та найменшого показів вимірювальної головки (формула 7.5).
7. Порівнявши дійсне значення радіального биття зубчастого вінця з допустимим стандартним для заданого ступеню точності, зробити висновок щодо придатності зубчастого колеса.

Таблиця 7.7

Результати вимірювання довжини спільної нормалі зубчастого колеса

1.	Модуль вимірюваного зубчастого колеса m, мм							
2.	Кількість зубів z							
3.	Нормальний вихідний контур						ГОСТ 13755	
4.	Ступінь точності за ГОСТ 1643-81							
5.	Ділильний діаметр d, мм							
6.	Допуск радіального биття зубчастого вінця F_r							
7.	Виміряне відхилення від нульового положення							
	номер западини	покази приладу	номер западини	покази приладу	номер западини	покази приладу	номер западини	покази приладу
	1		6		11		16	
	2		7		12		17	
	3		8		13		18	
	4		9		14		...	
	5		10		15		n	
8.	Виміряне значення радіального биття зубчастого вінця F_{rr}							
9.	Висновок щодо придатності зубчастого колеса							

7.4 *Лабораторна робота № 20*. Вимірювання товщини зуба по постійній хорді за допомогою штангензубоміра

Мета роботи

Вивчити методику та техніку вимірювання товщини зубів по постійній хорді за допомогою штангензубоміра.

Зміст роботи

Виміряти товщину зуба по постійній хорді та встановити, чи відповідає виміряне зубчасте колесо заданому ступеню точності та виду спряження на бічний зазор.

Технічне забезпечення

1. Штангензубомір – 1 шт.
2. Колесо зубчасте прямозубе – 1 шт.

7.4.1 Бічний зазор у передачі

Бічний зазор (як було вказано у п. 7.1) – це відстань по нормалі між неробочими профілями зубів зубчастих коліс, що знаходяться у безпосередньому зачепленні. Його задають у площині, дотичній до основних кіл ведучого та веденого зубчастих коліс. Зміщення вихідного контуру вимірюють за допомогою тангенціального зубоміра або виконують заміри товщини зуба по постійній хорді кромковими зубомірами з подальшим перерахунком зміщення вихідного контуру на величину зменшення товщини зуба.

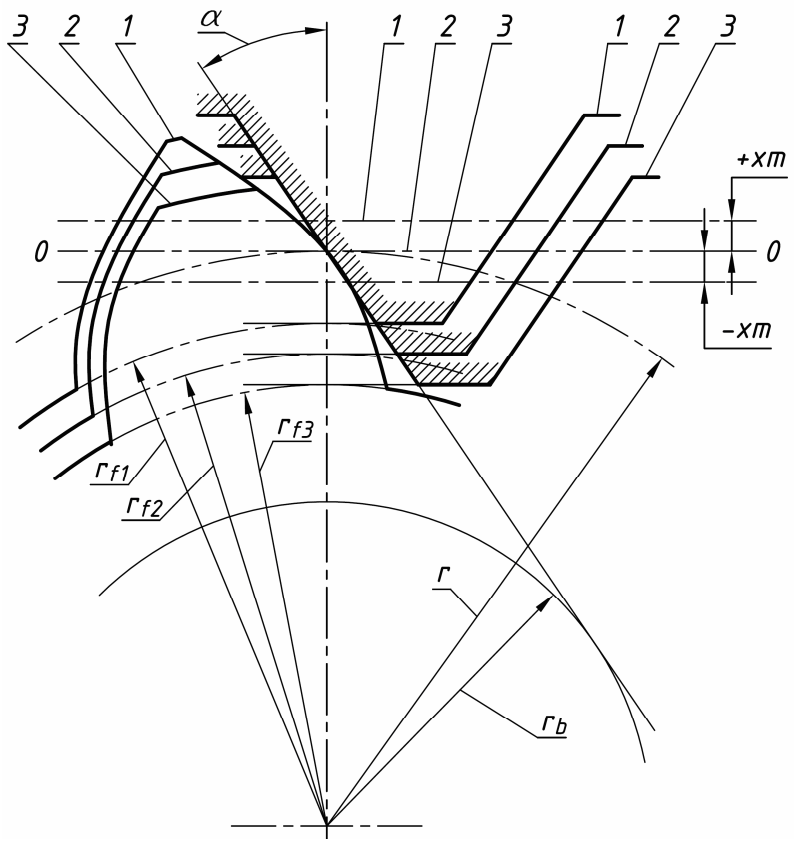
Зміщення вихідного контуру

відстань по нормалі між ділильної поверхнею циліндричного зубчастого колеса і ділильною площиною теоретичної вихідної зубчастої рейки при її номінальному положенні.

Номінальне розташування вихідного контуру

положення вихідного твірного контуру відносно заготовки, при якому ділильна пряма рейки дотикається до ділильного кола колеса.

Колесо, зуби якого утворені при номінальному розташуванні вихідної рейки, вважають колесом, нарізаним без зміщення вихідного контуру. Крім номінального зміщення може бути додатнім та від'ємним (рис. 7.12).



1 – положення зуба колеса та додатного зміщення вихідного контуру і ділильної прямої

2 – положення зуба колеса та нульового зміщення вихідного контуру і ділильної прямої

3 – положення зуба колеса та від'ємного зміщення вихідного контуру і ділильної прямої

0-0 – нульова лінія (нульове зміщення вихідного контуру)

$+xm$ – додатне зміщення вихідного контуру

$-xm$ – від'ємне зміщення вихідного контуру

r_{f1} – радіус кола западин у положенні 1

r_{f2} – радіус кола западин у положенні 2

r_{f3} – радіус кола западин у положенні 3

r – радіус ділильного кола

r_b – радіус основного кола

α – кут тиску на ділильному колі (кут профілю)

Рис. 7.12 - Положення вихідного контуру рейки відносно заготовки

Зміщення вихідного контуру a визначають за залежністю

$$a = x \cdot m,$$

де x – коефіцієнт зміщення вихідного контуру;

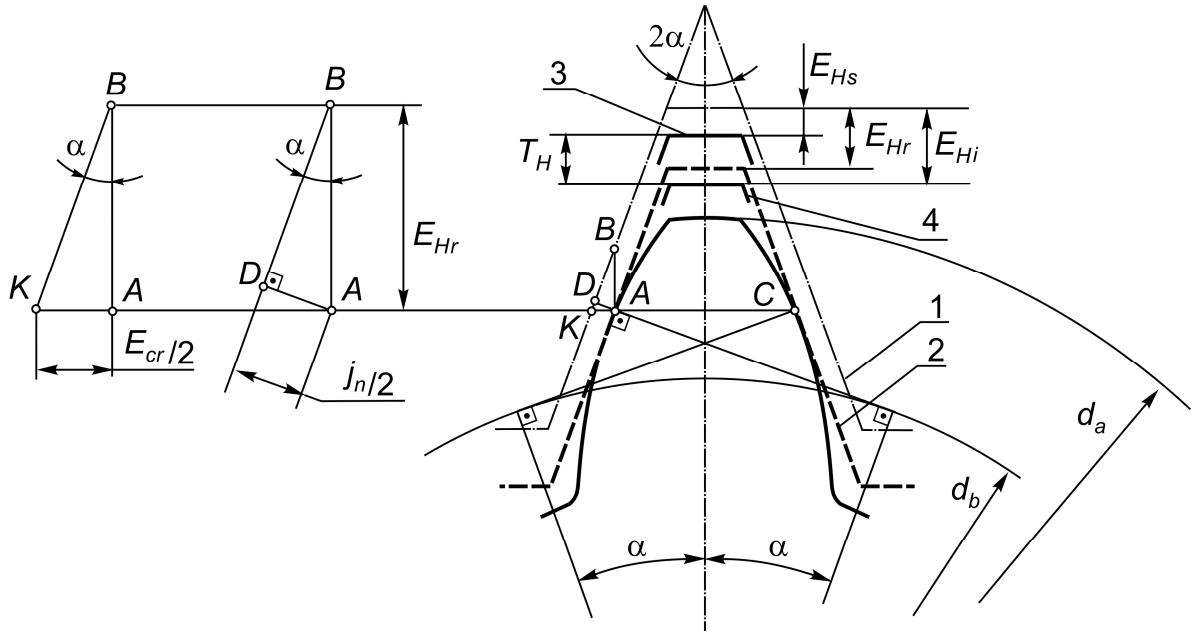
m – модуль.

Бічний зазор у передачі забезпечують шляхом радіального зміщення вихідного контуру, зв'язаного з різальним інструментом, відносно зубчастого колеса.

Додаткове зміщення вихідного контуру

зміщення вихідного контуру в тіло зубчастого колеса для забезпечення гарантованого бічного зазору (рис. 7.13).

Теоретичне положення вихідного контуру характеризується найменшим додатковим зміщенням E_{Hs} відносно його номінального положення та допуском на зміщення контуру T_H.



1 – номінальне положення вихідного контуру

2 – дійсне положення вихідного контуру

E_{Hs} – найменше додаткове зміщення вихідного контуру

E_{Hi} – найбільше додаткове зміщення вихідного контуру

E_{Hr} – дійсне додаткове зміщення вихідного контуру

T_H – допуск на додаткове зміщення вихідного контуру

j_n – бічний зазор у передачі

E_{cr} – дійсне відхилення товщини зуба

r_a – радіус кола виступів

r_b – радіус основного кола

α – профільний кут (кут зачеплення)

Рис. 7.13 - Зміщення вихідного контуру

Найменше додаткове зміщення вихідного контуру призначають залежно від ступеню точності за нормами плавності, виду спряжень та діаметра ділильного кола зубчастого колеса ($d = m \cdot z$, де m – модуль, z – кількість зубів). Для зубчастих коліс із зовнішнім зачепленням відхилення приймають із знаком мінус $-E_{Hs}$, а для коліс внутрішнього зачеплення – із знаком плюс $+E_{Hs}$ (табл. 7.8).

Допуск T_H на додаткове зміщення вихідного контуру призначають залежно від допуску на радіальне биття F_r і виду спряжень. Допуск на радіальне биття F_r залежить від прийнятого ступеню точності за нормами кінематичної точності та розміру зубчастого колеса (табл. 7.5). Числові значення допуску T_H на зміщення вихідного контуру наведено у табл. 7.9.

Таблиця 7.8

Найменше додаткове зміщення вихідного контуру E_{Hs}, мкм (за ГОСТ1643, табл. 14)

Вид спряження	Ступінь точності за нормами плавності	Ділильний діаметр *d*, мм						
		До 80	80...125	125...180	180...250	250...315	315...400	400...500
H	3-6	12	14	16	18	20	22	25
	7	14	16	18	20	22	25	28
E	3-6	30	35	40	46	52	57	63
	7	35	40	45	50	55	60	70
D	3-6	46	54	63	72	81	89	97
	7	50	60	70	80	90	100	110
	8	55	70	80	90	100	110	120
C	3-6	74	87	100	115	130	140	155
	7	80	100	110	120	140	160	180
	8	90	110	120	140	160	180	200
	9	100	120	140	160	180	200	200
B	3-6	120	140	160	185	210	230	250
	7	140	160	180	200	250	250	280
	8	140	160	200	220	250	280	300
	9	160	180	200	250	280	300	350
	10	160	200	220	250	300	350	350
	11	180	220	250	280	300	350	400
A	3-6	190	220	250	290	320	360	400
	7	200	250	280	300	350	400	450
	8	220	280	300	350	400	450	500
	9	250	280	350	400	400	500	500
	10	280	300	350	400	450	500	600
	11	280	350	400	450	500	550	600
	12	300	350	450	500	500	600	700

Таблиця 7.9

Допуск на зміщення вихідного контуру T_H (за ГОСТ1643-81, табл. 15, фрагмент)

Вид спряження (вид допуску*)	Допуск на радіальне биття зубчастого вінця F_r, мкм															
	від 20 до 25	від 25 до 32	від 32 до 40	від 40 до 50	від 50 до 60	від 60 до 80	від 80 до 100	від 100 до 125	від 125 до 160	від 160 до 200	від 200 до 250	від 250 до 320	від 320 до 400	від 400 до 500	від 500 до 630	від 630 до 800
H, E (*h*)	45	55	60	70	80	110	120	160	200	250	300	450	450	550	700	900
D (*d*)	60	70	80	90	100	140	160	200	250	300	350	450	600	700	900	1200
C (*c*)	80	90	100	120	140	180	200	250	300	400	500	600	700	900	1200	1400
B (*b*)	90	100	120	140	180	200	250	300	400	500	600	700	900	1100	1400	1800
A (*a*)	110	140	160	180	200	250	300	350	450	550	700	900	1100	1400	1600	2000
x	140	160	180	220	250	300	350	450	550	700	900	1100	1400	1600	2000	2500
y	180	200	250	280	350	400	500	600	700	900	1100	1400	1600	2000	2500	3500
z	220	250	300	350	400	500	600	700	900	1100	1400	1800	2000	2500	3000	4000

* Вид допуску на бічний зазор використовують, якщо змінено співвідношення між видом спряження і видом допуску

Виробничі допуски. Встановлені стандартом відхилення і допуски є справедливими під час вимірювання відносно робочої осі.

Робоча вісь зубчастого колеса

вісь, навколо якої колесо обертається у передачі.

Під час контролю зміщення вихідного контуру і товщини зуба накладними інструментами (тобто інструментами, які під час вимірювання розміщують на зубчастому колесі) у якості вимірювальної бази використовують циліндричну поверхню зовнішнього діаметра зубчастого колеса. Ця поверхня не є ідеально точною, тому похибки розмірів, форми та розташування вимірювальної бази мають бути компенсовані зменшеним (порівняно зі стандартними) виробничим допуском.

Виробничі допуски

допуски і відхилення, у яких враховані похибки розмірів і розташування циліндричної поверхні вершин зубів відносно робочої осі зубчастого колеса [6].

Розрахунок виробничого допуску на зміщення вихідного контуру і виробниче найменше додаткове зміщення вихідного контуру зуба розраховують за формулами [7].

$$E_{Hs\,вир} = E_{Hs} - 0{,}5 \cdot F_{da}\,, \tag{7.6}$$

$$E_{Hi\,вир} = E_{Hs} - T_H + 0{,}5 \cdot T_{da} + 0{,}5 \cdot F_{da}\,, \tag{7.7}$$

$$T_{H\,вир} = E_{Hs\,вир} - E_{Hi\,вир}\,, \tag{7.8}$$

де $E_{Hs\,вир}$ - виробниче найменше додаткове зміщення вихідного контуру зуба, мкм;

E_{Hs} - табличне значення найменшого додаткового зміщення вихідного контуру, мкм;

F_{da} - допуск на радіальне биття зовнішнього діаметра зубчастого колеса, мкм;

$E_{Hi\,вир}$ - виробниче найбільше додаткове зміщення вихідного контуру зуба,мкм;

T_H - табличне значення допуску на зміщення вихідного контуру, мкм;

T_{da} - допуск на зовнішній діаметр колеса (діаметр вершин зубів), мкм;

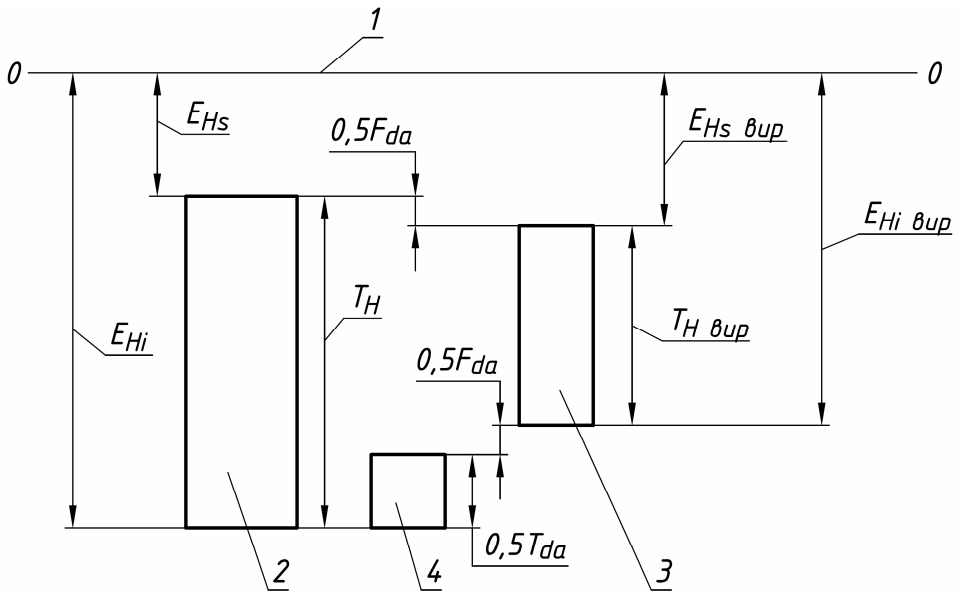
$T_{H\,вир}$ - виробничий допуск на зміщення вихідного контуру, мкм.

Допуски на зовнішній діаметр зубчастого колеса та радіальне биття кола виступів залежить від варіантів виготовлення та використання зовнішньої поверхні. У випадку, коли зовнішній циліндр використовують як базу для контролю розміру зубів, використовують наступні співвідношення між параметрами [7]:

$$T_{da} = 0{,}44 T_H\,, \tag{7.9}$$

$$F_{da} = 0{,}18 T_H \tag{7.10}$$

Схему полів допусків на додаткове зміщення вихідного контуру наведено на рис. 7.14.



1 – нульова лінія (додаткове зміщення вихідного контуру дорівнює нулю)
2 – табличне (стандартне) поле допуску на зміщення вихідного контуру
3 – поле виробничого допуску на зміщення вихідного контуру
4 – половина поля допуску на зовнішній діаметр колеса

Рис. 7.14 - Схема розміщення полів допусків на зміщення вихідного контуру

Товщини зуба по постійній хорді

Постійна хорда

відрізок, що з'єднує точки дотику вихідного контуру з обома різнойменними бічними сторонами зуба у перерізі, перпендикулярному до напрямку зуба вихідної рейки.

Зуб колеса 1 і западина вихідного твірного контуру (рейки) 2 розташовані симетрично відносно полюсу верстатного зачеплення *P* (рис. 7.15). Через полюс *P* проходить ділильна пряма 3 рейки. Кут між ділильною прямою і дотичною до основного кола є кутом зачеплення у процесі нарізання зубів колеса і дорівнює профільному куту рейки α. Профіль рейки 2 дотикається до профілю зуба 1 у точках *A* і *C*. Відрізок *AC* є постійною хордою зубчастого колеса, точка *B* знаходиться на осі симетрії зуба посередині відрізка *AC*.

Товщина зуба по постійній хорді.

$$S_c = AC = 2AB$$

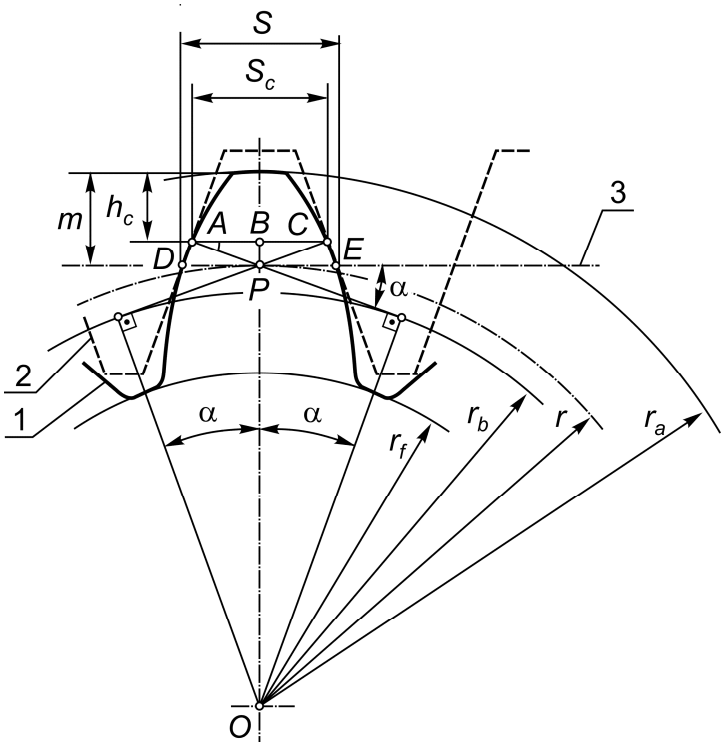
З трикутника *ABP*

$$AB = AP \cdot \cos\alpha$$

Ширина западини рейки 2 дорівнює товщині зуба колеса по ділильному колу і дорівнює відрізку *DE*.

$$DE = S = m \cdot (0{,}5\pi + 2x \cdot tg\alpha),$$

m – модуль
x – коефіцієнт зміщення вихідного контуру
α – профільний кут



1 – профіль зуба колеса
2 – контур рейки
3 – ділильна пряма рейки
r_a – радіус кола виступів
r – радіус ділильного кола
r_b – радіус основного кола
r_f – радіус кола западин
α – профільний кут
m – модуль
h_c – висота зуба до постійної хорди
S – товщина зуба по ділильному колу
S_c – товщина зуба по постійній хорді
P – полюс зачеплення

Рис. 7.15 - Схема для визначення товщини зуба по постійній хорді та висоти зуба до постійної хорди

Пряма *AP* є перпендикулярною до профілю рейки і одночасно дотичною до основного кола колеса радіуса r_b. Визначимо довжину відрізка *AP* з прямокутного трикутника *ADP*

$$AP = DP \cdot \cos\alpha$$

Підставляємо отриманий вираз у попередню формулу

$$AB = AP \cdot \cos\alpha \cdot \cos\alpha = AP \cdot \cos^2\alpha$$

Враховуючи, що

$$DP = \frac{S}{2} = \frac{m}{2} \cdot (0{,}5\pi + 2x \cdot tg\alpha), \quad \text{то} \quad AB = \frac{m}{2} \cdot (0{,}5\pi + 2x \cdot tg\alpha) \cdot \cos^2\alpha$$

Таким чином, товщина зуба по постійній хорді S_c

$$S_c = m \cdot (0{,}5\pi + 2x \cdot tg\alpha) \cdot \cos^2\alpha \qquad S_c = S \cdot \cos^2\alpha$$

Враховуючи, що товщина зуба колеса по ділильному колу дорівнює половині окружного кроку, маємо

$$S_c = \frac{m \cdot \pi}{2} \cdot \cos^2\alpha$$

Для евольвентного зубчастого колеса без корекції з кутом профілю $\alpha = 20^\circ$

$$S_c = 1{,}387 \cdot m \qquad (7.11)$$

Як видно з отриманої формули, товщина зуба по постійній хорді S_c не залежить від кількості зубів зубчастого колеса *z*, тому вона називається постійною.

Висота зуба до постійної хорди h_c. Цей параметр являє собою відстань від кола виступів r_a зубчастого колеса до постійної хорди S_c.

Як видно з рис. 7.15

$$h_c = r_a - r - PB$$

З прямокутного трикутника *ABP* визначаємо

$$PB = AP \cdot \sin\alpha = DP \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha = \frac{m}{2}(0{,}5\pi + 2x \cdot tg\alpha) \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha$$

$$\text{або } PB = \frac{m}{4}(0{,}5\pi + 2x \cdot tg\alpha) \cdot \sin 2\alpha$$

Таким чином, висота зуба евольвентного колеса до постійної хорди

$$h_c = r_a - r - 0{,}25m \cdot (0{,}5\pi + 2x \cdot tg\alpha) \cdot \sin 2\alpha \quad \text{або} \quad h_c = r_a - r - 0{,}25 \cdot S \cdot \sin 2\alpha$$

Враховуючи, що радіус кола виступів

$$r_a = \frac{m \cdot (z+2)}{2},$$

радіус ділильного кола

$$r = \frac{m \cdot z}{2},$$

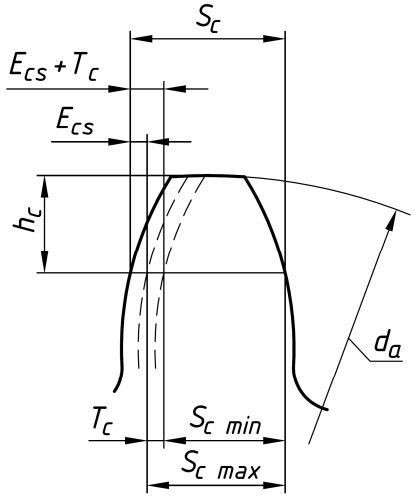
товщина зуба

$$S = \frac{m \cdot \pi}{2},$$

кут профілю $\alpha = 20^\circ$, після спрощення виразу остаточно маємо

$$h_c = 0{,}7476 \cdot m \tag{7.12}$$

У стандарті (ГОСТ 1643) для контролю товщини зуба встановлено два параметри: найменше відхилення товщини зуба E_{cs} та допуск на товщину зуба T_c (рис. 7. 16). Наведені значення справедливі під час вимірювання зубчастого колеса на робочій осі



h_c – висота зуба до постійної хорди
S_c – номінальна товщина зуба по постійній хорді
E_{cs} – найменше відхилення товщини зуба
T_c – допуск на товщину зуба
$S_{c_{\min}}$ – найменша товщина зуба по постійній хорді
$S_{c_{\max}}$ – найбільша товщина зуба по постійній хорді
d_a – діаметр виступів

Рис. 7.16 - Відхилення та допуск товщини зуба по постійній хорді

Між додатковим зміщенням вихідного контуру та товщиною зуба по постійні хорді існує геометрична залежність (див. трикутник *ABK* на рис. 7.13). Тоді для контролю товщини зуба відносно кола виступів зубчастого колеса граничні відхилення та допуск на товщину зуба перераховують за формулами

$$E_{cs} = 2E_{Hs\,вир} \cdot tg\alpha = 0{,}73 \cdot E_{Hs\,вир} \tag{7.13}$$

$$E_{ci} = 2E_{Hi\,вир} \cdot tg\alpha = 0{,}73 \cdot E_{Hi\,вир} \tag{7.14}$$

$$T_C = 2T_{H\,вир} \cdot tg\alpha = 0,73 \cdot T_{H\,вир} \qquad (7.15)$$

де E_{cs} - найменше відхилення товщини зуба, мкм;

$E_{Hs\,вир}$ - виробниче найменше додаткове зміщення вихідного контуру зуба,мкм;

α - профільний кут $\alpha = 20°$;

E_{ci} - найбільше відхилення товщини зуба, мкм;

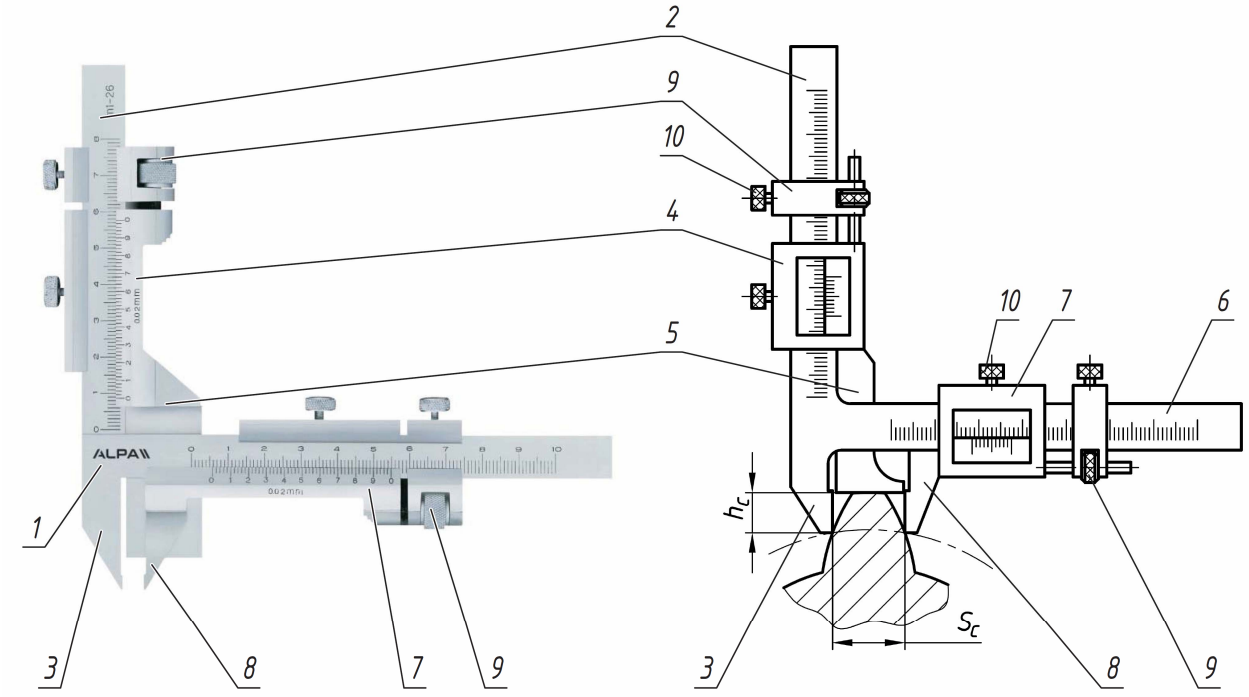
$E_{Hi\,вир}$ - виробниче найбільше додаткове зміщення вихідного контуру зуба,мкм;

T_C - допуск на товщину зуба, мкм;

$T_{H\,вир}$ - виробничий допуск на додаткове зміщення вихідного контуру зуба,мкм.

7.4.2 Будова штангензубоміра

Штангензубомір – це вимірювальний ноніусний кромковий прилад, призначений для вимірювання товщини зубів коліс зовнішнього зачеплення по ділильному діаметру чи по постійній хорді. Штангензубомір складається з основи 1 у вигляді кутника з двома взаємноперпендикулярними штангами, на які нанесено міліметрові шкали (рис. 7.17). Вздовж верткальної штанги 2 з нерухомою губкою 3 переміщується рамка 4 з упором 5. Вздовж горизонтальної штанги 6 переміщується рухома рамка 7 разом з рухомою губкою 8. Вертикальна штанга призначена для встановлення висоти від вершини зуба, на якій виконують вимірювання товщини зуба, а горизонтальна штанга – для безпосереднього вимірювання товщини зуба. На рамках 4 і 7 нанесено ноніусні шкали з відліком 0,02 мм. Для точного налагодження та відліку показів обидві штанги оснащені пристроями точного встановлення рамок 9. Фіксацію рамок виконують за допомогою стопорних гвинтів 10.



1 – основа
2 – штанга вертикальна
3 – губка нерухома
4 – рамка з ноніусом вертикальної штанги
5 – упор
6 – штанга горизонтальна
7 – рамка з ноніусом горизонтальної штанги
8 – губка рухома
9 – пристрій точного встановлення рамки
10 – гвинт стопорний

Рис. 7.17 - Конструкція штангензубоміра

Розрахунок ноніуса штангензубоміра

Вихідні дані: - інтервал поділок основної шкали штанги a = 0,5 мм (рис. 7.18);
- величина відліку за ноніусом c = 0,02 мм;
- модуль γ = 1 (величину модуля задають, виходячи з габаритних розмірів основної шкали штанги)

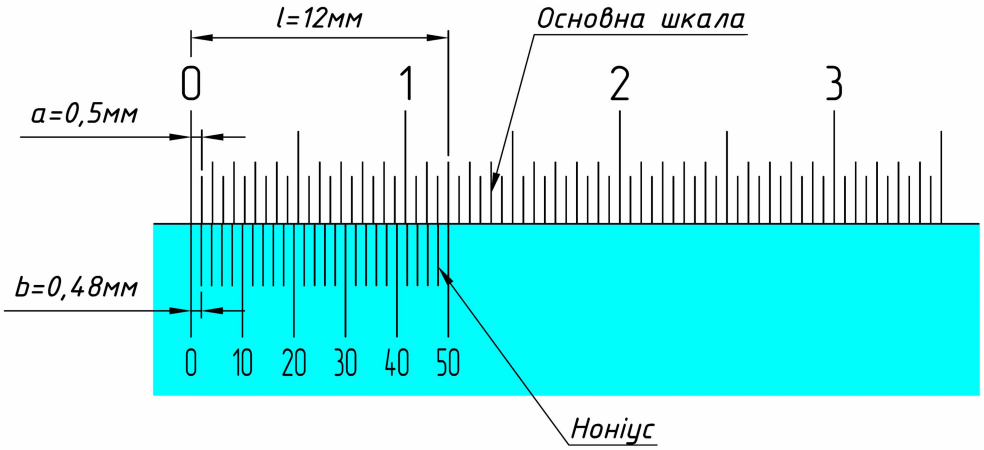


Рис. 7.18 - Розрахунок параметрів ноніуса

1. Інтервал поділок шкали ноніуса

$$b = \gamma \cdot a - c = 1 \cdot 0,5 - 0,02 = 0,48 \text{ мм}$$

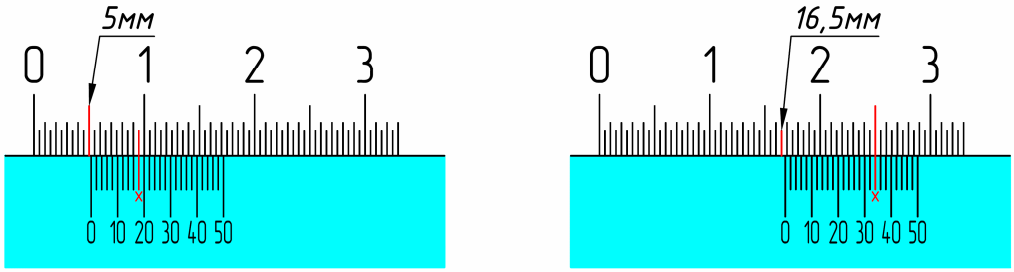
2. Кількість поділок шкали ноніуса:

$$n = a / c = 0,5 / 0,02 = 25 \text{ поділок}$$

3. Довжина шкали ноніуса l

$$l = n \cdot b = 25 \cdot 0,48 = 12 \text{ мм}$$

Зчитування показів відбувається точно так, як і у штангенциркулів з ноніусом (рис. 7.19). Спочатку зчитується значення за основною шкалою з точністю до 0,5 мм і до нього додається значення за шкалою ноніуса (ціна поділка шкали дорівнює 0,02 мм).



5,0+0,18=5,18 мм 16,5+0,34=16,84 мм

Рис. 7.19 - Відлік за шкалами штангензубоміра

Технічні та метрологічні характеристика ноніусного штангензубоміра мод. ШЗН-18 наведено в табл. 7.10.

7.4.3 Вимірювання товщини зуба за допомогою штангензубоміра

Ноніусні штангензубоміри призначені для вимірювання товщини зуба циліндричних прямозубих і косозубих коліс 11 та 12 ступенів точності за ГОСТ 1643. Температура робочого простору під час вимірювання має бути 20±15°.

Таблиця 7.10

Технічні та метрологічні характеристики штангензубоміра

Параметр	Числове значення параметра
Модуль контрольованих зубчастих коліс, мм	1 ... 18
Ступені точності зубчастих коліс	11, 12
Діапазон вимірювання за вертикальною шкалою, мм	0 ... 23
Діапазон вимірювання за горизонтальною шкалою, мм	0 ... 33
Значення відліку за ноніусом, мм	0,02
Границі допустимої похибки вимірювання, мм	±0,02
Габаритні розміри, мм, не більше	125×15×110

Підготовка приладу до роботи

Перед початком вимірювання необхідно перевірити правильність нульових установок ноніусів. Спочатку губки горизонтальної штанги зсувають до їх щільного контакту і перевіряють збіг нульових позначок основної міліметрової шкали і ноніуса. Потім упор 5 зсувають так, щоб його край знаходився на одній прямій з вимірювальними губками, і перевіряють нульову установку по вертикальних шкалах. У разі необхідності виконують регулювання приладу.

Виконання вимірювань

Упор 5 разом з рамкою 4 за допомогою мікрометричного пристрою 9 встановлюють на розраховане для заданих умов значення висоти зуба до постійної хорди h_c. Потім упор встановлюють на вимірюваний зуб (рис. 7.17), і рухому губку 8 підводять до щільного контакту з профілем зуба. Відлік величини товщини зуба виконують за шкалою горизонтальної штанги та ноніусом рамки 7.

Приклад. Зробити висновок про придатність зубчастого колеса з модулем $m = 2$ мм, кількістю зубів $z = 38$, ступеню точності: 12-11-9 *A* ГОСТ 1643, якщо виміряне значення товщини зуба по постійній хорді склало $S_{c\,вим} = 2{,}45$ мм.

1) Розшифруємо умовне позначення точності зубчастого колеса

- 12 – ступінь точності за нормами кінематичної точності;
- 11 – ступінь точності за нормами плавності;
- 9 – ступінь точності за нормами контакту зубів;
- *A* – вид спряження
- *a* – вид допуску на бічний зазор (окремо не вказується, бо збігається з видом спряження)

2) Визначаємо стандартне (табличне) положення вихідного контуру.

- найменше додаткове зміщенням вихідного контуру E_{Hs} за табл. 7.8 (табл. 14 ГОСТ 1643) для виду спряження *A*, ступеню точності за нормами плавності 11 і ділильного діаметра d:

$$d = m \cdot z = 2 \cdot 38 = 76 \text{ мм}$$

$$E_{Hs} = -280 \text{ мкм}$$

- допуск на зміщення вихідного контуру T_H за табл. табл. 7.9 (табл. 15 ГОСТ 1643) для виду спряження *A*, виду допуску на бічний зазор *a* та допуск на радіальне биття зубчастого вінця F_r.
  $F_r = 160$ мкм – за табл. 7.5 (табл. 6 ГОСТ 1643) для ступеню точності за нормами кінематичної точності 12, модуля $m = 2$ мм і ділильного діаметра $d = 76$ мм:

$$T_H = 450 \text{ мкм}$$

- найбільше додаткове зміщенням вихідного контуру E_{Hi}

$$E_{Hi} = E_{Hs} - T_H = -280 - 450 = -730 \text{ мкм}$$

3) Визначаємо виробничий допуск та будуємо схему полів допусків

- допуск на зовнішній діаметр зубчастого колеса (формула 7.9)

$$T_{da} = 0,44 T_H = 0,44 \cdot 450 = 198 \text{ мкм}$$

- допуск на радіальне биття зовнішнього діаметра зубчастого колеса (формула 7.10)

$$F_{da} = 0,18 T_H = 0,18 \cdot 450 = 81 \text{ мкм}$$

- виробниче найменше додаткове зміщення вихідного контуру зуба (формула 7.6)

$$E_{Hs\,вир} = E_{Hs} - 0,5 \cdot F_{da} = -280 - 0,5 \cdot 81 = -320,5 \text{ мкм}$$

- виробниче найбільше додаткове зміщення вихідного контуру зуба (формула 7.7)

$$E_{Hi\,вир} = E_{Hs} - T_H + 0,5 \cdot T_{da} + 0,5 \cdot F_{da} =$$
$$= -280 - 450 + 0,5 \cdot 198 + 0,5 \cdot 81 = -590,5 \text{мкм}$$

- виробничий допуск на зміщення вихідного контуру (формула 7.8)

$$T_{H\,вир} = E_{Hs\,вир} - E_{Hi\,вир} = -320,5 - (-590,5) = 270 \text{ мкм}$$

- схема полів допусків на зміщення вихідного контуру (рис. 7.20)

4) Визначаємо номінальну товщину зуба по постійній хорді (формула 7.11)

$$S_c = 1,387 \cdot m = 1,378 \cdot 2 = 2,756 \text{ мм}$$

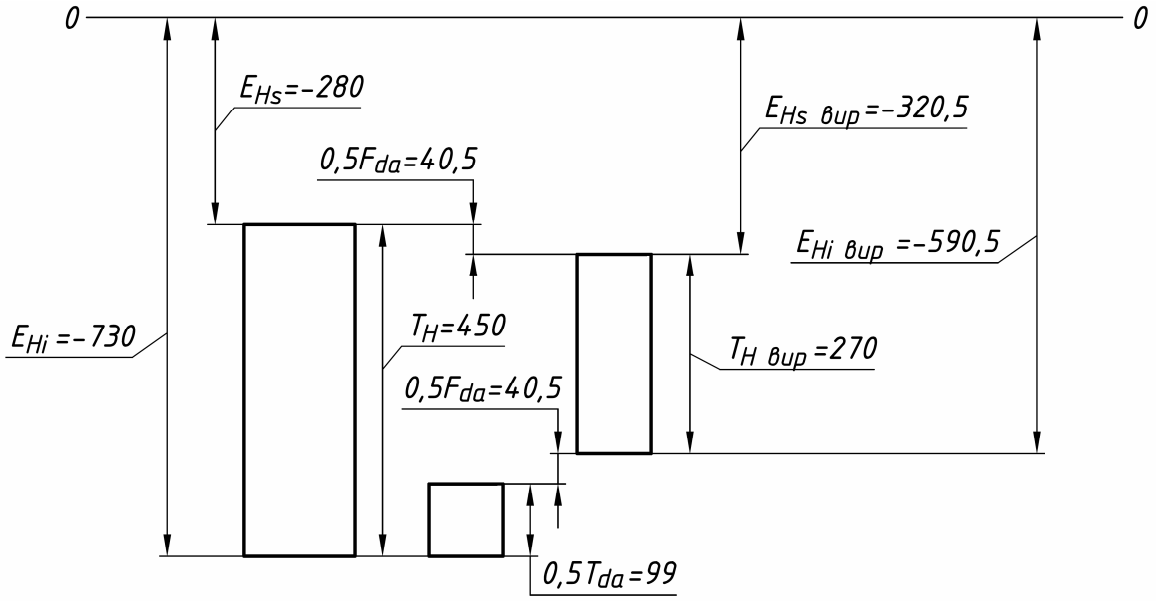


Рис. 7.20 - Схема полів допусків

5) Визначаємо номінальну висоту зуба до постійної хорди (формула 7.12)

$$h_c = 0,7476 \cdot m = 0,7476 \cdot 2 = 1,4952 \text{ мм}$$

6) Визначаємо граничні відхилення на товщину зуба

- найменше відхилення товщини зуба (формула 7.13)

$$E_{cs} = 0,73 \cdot E_{Hs\,вир} = 0,73 \cdot (-320) = -233,6 \text{ мкм}$$

- найбільше відхилення товщини зуба (формула 7.14)

$$E_{ci} = 0,73 \cdot E_{Hi\,вир} = 0,73 \cdot (-590,5) = -431,1 \text{ мкм}$$

7) Визначаємо граничні розміри товщини зуба

- найбільший граничний розмір

$$S_{c\max} = S_c + E_{cs} = 2,756 + (-0,2336) = 2,522 \text{ мм}$$

- найменший граничний розмір

$$S_{c\min} = S_c + E_{ci} = 2,756 + (-0,4311) = 2,325 \text{ мм}$$

8) Перевіряємо умову придатності деталі.

$$S_{c\min} \le S_{c\,вим} \le S_{c\max}$$

$$2,325 \le 2,45 \le 2,522 \text{ мм}$$

Умова виконується, значить виміряне зубчасте колесо за товщиною зуба по постійній хорді відповідає заданому виду спряження на бічний зазор.

7.4.4 Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні положення щодо параметрів точності зубчастих коліс та передач (п. 7.1, 7.4.1).
2. Вивчити будову штангензубоміра (п. 7.4.2).
3. Для зубчастого колеса, виданого викладачем (відомими є модуль, кількість зубів та ступінь точності) встановити найменше додаткове зміщенням вихідного контуру E_{Hs} за табл. 7.8 та допуск на зміщення вихідного контуру T_H за табл. табл. 7.9 (див. приклад).
4. Визначити виробничий допуск та побудувати схему полів допусків
5. Визначити номінальну товщину зуба по постійній хорді за формулою 7.11
6. Визначити номінальну висоту зуба до постійної хорди за формулою 7.12
7. Визначити граничні відхилення на товщину зуба за формулами 7.13 і 7.14.
8. Визначити граничні розміри товщини зуба, як алгебраїчну суму номінального розміру та відповідного відхилення – верхнього чи нижнього.
9. Упор штангензубоміра встановити за вертикальною штангою на розраховану величину висоти зуба до постійної хорди h_c та закріпити рамку стопорним гвинтом
10. Виміряти товщину зуба по постійній хорді у трьох площинах вздовж осі колеса на трьох різних зубах, дані занести в табл. 7.11.
11. Порівнявши дійсне значення товщини зуба по постійній хорді з допустимим для заданого ступеню точності та виду спряження, зробити висновок щодо придатності зубчастого колеса.

Таблиця 7.11

Результати розрахунку та вимірювання товщини зуба по постійній хорді

1.	Модуль вимірюваного зубчастого колеса m, мм					
2.	Кількість зубів z					
4.	Ступінь точності за ГОСТ 1643					
5.	Ділильний діаметр d, мм					
6.	Найменше додаткове зміщенням вихідного контуру E_{Hs}, мкм					
7.	Допуск на радіальне биття зубчастого вінця F_r, мкм					
8.	Допуск на зміщення вихідного контуру T_H, мкм					
9.	Найбільше додаткове зміщенням вихідного контуру E_{Hi}, мкм					
10.	Допуск на зовнішній діаметр зубчастого колеса T_{da}, мкм					
11.	Допуск на радіальне биття зовнішнього діаметра зубчастого колеса F_{da}, мкм					
12.	Виробниче найменше додаткове зміщення вихідного контуру зуба $E_{Hs\,вир}$, мкм					
13.	Виробниче найбільше додаткове зміщення вихідного контуру зуба $E_{Hi\,вир}$, мкм					
14.	Виробничий допуск на зміщення вихідного контуру $T_{H\,вир}$, мкм					
15.	Номінальна товщина зуба по постійній хорді S_c, мм					
16.	Номінальна висота зуба до постійної хорди h_c, мм					
17.	Найменше граничне відхилення товщини зуба S_{cs}, мм					
18.	Найбільше граничне відхилення товщини зуба S_{ci}, мм					
19.	Найбільший граничний розмір товщини зуба $S_{c\max}$, мм					
20.	Найменший граничний розмір товщини зуба $S_{c\min}$, мм					
21.	Виміряний розмір товщини зуба по постійній хорді S_c, мм					
	Зуб 1	товщина зуба	Зуб 2	товщина зуба	Зуб 3	товщина зуба
	1		4		7	
	2		5		8	
	3		6		9	
22.	Виміряне середнє значення товщини зуба по постійній хорді S_c, мм					
23.	Висновок щодо придатності зубчастого колеса					

7.5 Контрольні запитання

- ***до теоретичної, частини***

1. Які групи передач розрізняють за експлуатаційним призначенням та які вимоги до них висуваються?
2. Які норми точності встановлено для зубчастих коліс?
3. Скільки ступенів точності встановлено стандартом для зубчастих коліс з модулем m = 1 ... 55 мм, та які з них застосовують у теперішній час?
4 Що таке бічний зазор, та яке його призначення?
5. Які види спряжень зубчастих коліс встановлено стандартом?
6. Які види допуску на бічний зазор зубчастих коліс встановлено стандартом?
7. Які класи точності відхилень міжосьової відстані встановлено стандартом?
8. Як позначають точність зубчастих коліс на кресленнях?
9. Які показники характеризують кінематичну точність зубчастих коліс?

- ***до лабораторної роботи №18***

10. Що таке спільна нормаль та коливання довжини спільної нормалі?
11. З яких основних частин складається нормалемір?
12. Яким чином нормалемір встановлюють на номінальний розмір?
13. Яким чином встановлюють придатність виміряної деталі?

- ***до лабораторної роботи №19***

14. Що таке радіальне биття зубчастого вінця?
15. З яких основних частин складається биттємір?
16. Яким чином биттємір встановлюють на номінальний розмір?
17. Як визначають радіальне биття зубчастого вінця?
18. Яким чином встановлюють придатність виміряної деталі?

- ***до лабораторної роботи №20***

19. Які показники характеризують бічний зазор у зубчастій передачі?
20. Що таке додаткове зміщення вихідного контуру, якими параметрами його характеризують?
21. Що таке виробничий допуск і чому його вводять?
22. Що таке постійна хорда та висота до постійної хорди, як їх визначають?
23. З яких основних частин складається штангензубомір?
24. Як перевіряють нульові установки шкал штангензубоміра?
25. Яким чином встановлюють придатність виміряної деталі?

7.6 Рекомендована література до розділу 7

1. Допуски, посадки та технічні вимірювання. Практикум. Частина 2 [Текст] : навч. посібн. / Ю.І. Адаменко, О.М. Герасимчук, С.В. Майданюк, Н.В. Мініцька, В.А. Пасічник, О.А. Плівак. – Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2016. – С. 72-89.
2. ДСТУ ISO 1328-1 Передачі зубчасті циліндричні. Система точності ISO
3. ГОСТ 1643 Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски
4 ГОСТ 5368 Приборы для измерения цилиндрических зубчатых колес. Типы и основные параметры. Нормы точности.
5. Штангензубомер тип ШЗН. Паспорт. Кировский завод «Красный инструментальщик»
6. Белкин И.М. Допуски и посадки (основные нормы взаимозаменяемости): учебное пособие/ И.М. Белкин. – М.: Машиностроение, 1992. – 528 с.
7. Производство зубчатых колес: Справочник / С.Н. Калашников, А.С. Калашников, Г.И. Коган и др.: Под общ. ред. Б.А. Тайца. – М.: Машиностроение, 1990. – 464 с. ISBN 5-217-00398-7

Електронне мережне видання

Адаменко Юрій Іванович
Майданюк Сергій Володимирович
Мініцька Наталія Валентинівна
Плівак Олександр Анатолійович

ЛІНІЙНІ ТА КУТОВІ ВИМІРЮВАННЯ

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”
Київ – 2022 р.