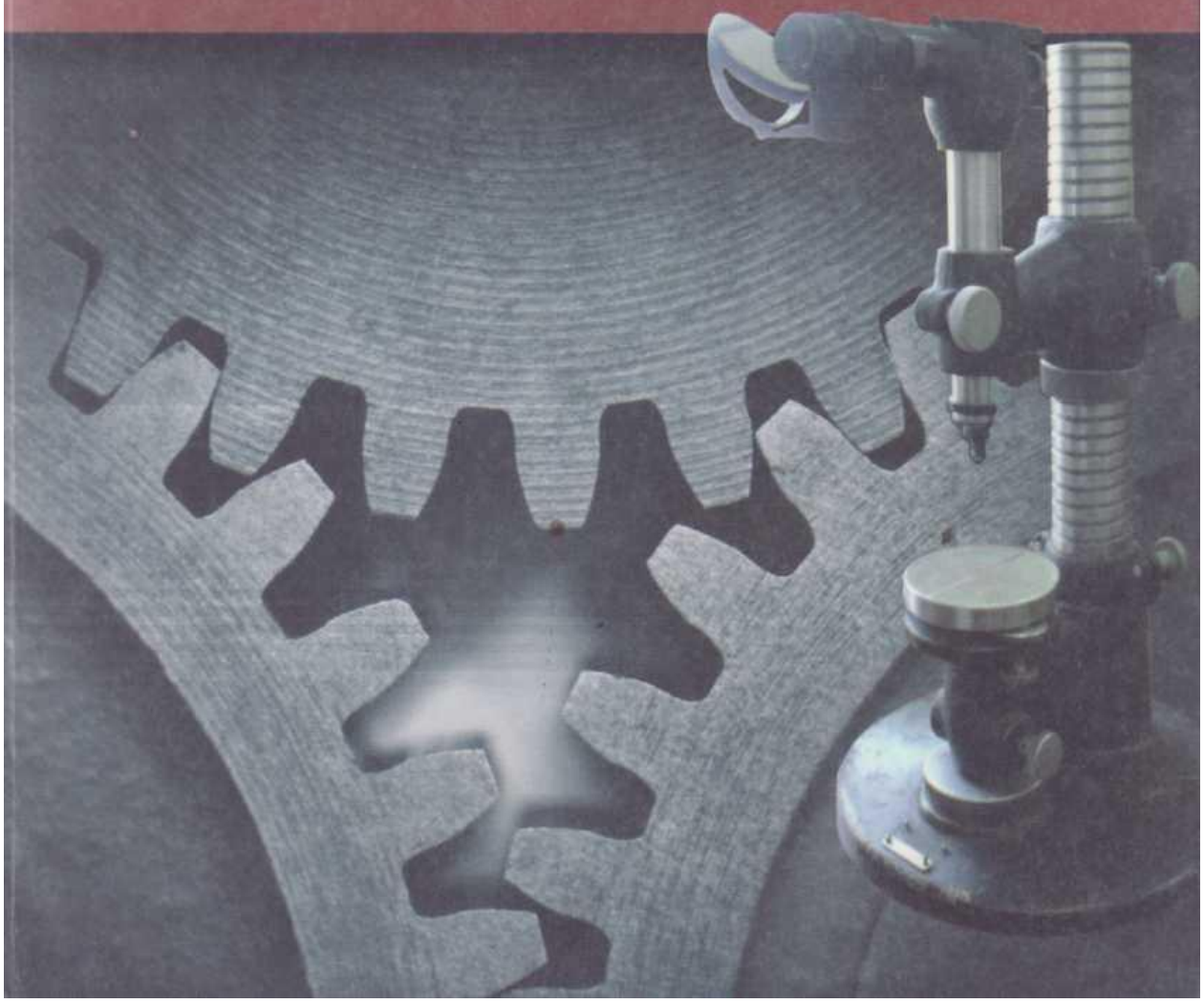
М. С. Когут

ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ



Когут М.С.

ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

ПІДРУЧНИК

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Львів

Видавництво “Світ”

2014

УДК 006.86:62–189.2(075.8)
ВВК 30.10я73
К57

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ МОН України від 09.09.2014 р. № 1039)

Рецензенти:
Столярчук П.Г. –доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри метрології, стандартизації та сертифікації Національного університету "Львівська політехніка", м. Львів;
Митрофанов І.І. – ст. викладач вищої категорії, директор вищого професійного училища №29, м. Львів.

Когут М.С.
К57 Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: підручник / М.С. Когут. – Львів: Світ, 2014. – 400 с.
ISBN 978–966–603–905–0

У підручнику викладені основні положення щодо нормування точності різних видів спряжень, допусків, посадок та технічних вимірювань. Подано перелік необхідних лабораторно-практичних робіт, а також опис універсальних вимірювальних інструментів та контрольно-вимірювальних приладів і засобів, що орієнтовані на використання наявних метрологічних баз закладів професійно-технічної освіти.

Призначений для учнів професійно-технічних навчальних закладів, вищих професійних училищ, професійних ліцеїв та студентів професійно-педагогічних коледжів за професіями: слюсар з ремонту автомобілів, токар, фрезерувальник, свердлильник, шліфувальник, верстатник широкого профілю. Підручник матиме практичний інтерес серед викладачів, майстрів виробничого навчання та інженерно-технічних працівників і відповідних фахівців машинобудівних і приладобудівних виробництв.

УДК 006.86:62–189.2(075.8)
ВВК 30.10я73

ISBN 978–966–603–905–0

© Когут М.С., 2014.
© Видавництво "Світ", 2014

ПЕРЕДМОВА

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

Мета підручника – навчити фахівців вищих професійно-технічних закладів освіти вміло користуватися стандартами, правильно призначати допуски та посадки на деталі машин, що проектуються, а також встановлювати норми точності геометричних параметрів, визначати технічні засоби вимірювання для їх контролю.

Для майбутніх фахівців знання систем допусків і посадок, принципів їх назначення для деталей виробів, способів вимірювання їх розмірів є складовою частиною спеціальної підготовки. Окрім цього, вміло користуватися стандартами та іншими нормативними документами дасть змогу більш ефективно проектувати деталі, вузли, механізми машин, продукцію, що сприятиме їх оновленню та конкурентною здатністю в ринкових умовах.

Підручник підготовлено у відповідності з навчальними програмами дисциплін "Допуски, посадки та технічні вимірювання" та "Допуски та технічні вимірювання" затвердженими НМЦ Міністерства освіти і науки України, який містить три розділи.

У першому розділі “Основи стандартизації, метрології та взаємозамінності. Види спряжень, допуски і посадки” подано лекційний матеріал (20 тем) з основ стандартизації, метрології та взаємозамінності. Великої уваги надано нормуванню точності гладких циліндричних з'єднань за Міжнародною системою ISO та Єдиною системою допусків і посадок (ЄСДП), зокрема ДСТУ 2500-94 (посадки з зазором, посадки з натягом, перехідні посадки). Розглянуто нормування точності підшипників кочення, нарізних з'єднань, шпонкових і шліцьових з’єднань, зубчастих коліс і передач, а також деталей з кутовими розмірами та конусами. Висвітлено нормування відхилів форми та розташування поверхонь деталей, методи розрахунку розмірних ланцюгів, нормування хвилястості та шорсткості поверхонь для різних спряжень.

Мета другого розділу “Лабораторно-практичні роботи з дисциплін “Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання” та “Допуски, посадки та технічні вимірювання” – розкрити методики метрологічних вимірювань за допомогою різних приладів та інструментів, прищепити навички учням з користування цими приладами та сприяти закріпленню лекційного матеріалу. Формули в текстах наведено у кінцевому вигляді без доведень. У

описах вимірювальних приладів показано загальний вигляд, їх метрологічні характеристики та принципові схеми з роз'ясненням процедури вимірювання. Способи вимірювань відповідають вимогам державних стандартів України. Основні метрологічні визначення, термінологія та класифікація вимірювальних приладів ґрунтуються на ДСТУ 2681-94.

Завдання третього розділу "Методології вимірювань та контролю деталей універсальними інструментами та приладами" – дати змогу учням за умов безпосереднього виконання контрольної операції з вимірювання заданої деталі (виробу) за допомогою універсальних інструментів і приладів. Подано низку схем, ескізів, рисунків з конкретними поясненнями того чи іншого методу вимірювання або контролю для визначення заданої фізичної величини, її числового значення фахівцями метрологічної сфери. Цей матеріал є доповненням до другого розділу, підготовленого на основі використаних літературних джерел, ДСТУ, а також чинних в Україні ГОСТів.

Терміни та визначення основних понять у матеріалах підручника наведено з ДСТУ 3321:2003 "Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять"

Автор вдячний рецензентам – доктору технічних наук, професору, заслуженому діячу науки і техніки України П.Г Столярчуку, старшому викладачу вищої категорії І.І. Митрофанову за поради щодо структури та змісту посібника. Автор висловлює подяку інженеру Ю.В. Грушкевичу за комп'ютерний набір матеріалу.

Відгуки та побажання просимо надсилати за адресою: 80381, Львівський національний аграрний університет, вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Україна або завідувачу кафедри машинобудування, доктору технічних наук, професору М.С. Когуту – тел. (8032) 22-42-951.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА ……..... 3
Розділ 1. **ОСНОВИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ МЕТРОЛОГІЇ ТА ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ. ВИДИ СПРЯЖЕНЬ, ДОПУСКИ І ПОСАДКИ** ……..……..... 6
1.1.Основи стандартизації..... 6
1.1.1. Предмет стандартизації та коротка історія її розвитку…..... 6
1.1.2. Класифікація видів стандартизації……..... 8
1.1.3. Державна система стандартизації……..... 9
Контрольні запитання та завдання …….. 9
1.2. Різновиди стандартизації……..... 10
1.2.1. Методи стандартизації..... 10
1.2.2. Уніфікація продукції..... 10
1.2.3. Агрегатування..... 11
1.2.4. Комплексна та випереджувана стандартизації…….……...… 11
1.2.5. Параметрична стандартизація……..……...… 12
1.2.6. Міжнародні організації зі стандартизації……..…….. 12
1.2.7. Техніко-економічна ефективність стандартизації…….. 13
Контрольні запитання та завдання …….. 15
1.3. Порядок розробки стандартів України. Стандарти різних категорій та видів……..……..... 15
1.3.1. Умови розробки стандартів..... 15
1.3.2. Визначення різних категорій стандартів..... 16
1.3.3. Категорії нормативних документів..... 16
1.3.4. Різновиди стандартів.....……..…….. 17
1.3.5. Позначення стандартів і порядок їх впровадження……...…… 18
1.3.6. Державний нагляд за стандартами……... 19
1.3.7. **Вітчизняні системи стандартів і державна система стандартизації України……..…... 20**
1.3.8. **Єдина система конструкторської документації ……..…..** 20
1.3.9. **Єдина система технологічної документації ……..……...** 21
1.3.10. **Єдина система технологічної підготовки виробництва ……..…** 22
1.3.11. **Система розроблення і постачання продукції на виробництво ……** 23
1.3.12. Перелік стандартів для *Єдиної* системи *конструкторської документації: Б1. …… …… ……

виконання креслеників: Б 3 ……..
1.3.15. Перелік стандартів для виконання креслеників різних виробів: Б 4……..……..….. 25
1.3.16. **Правила обігу конструкторських документів: облік, зберігання, внесення змін: Б 5……..…….** 26
1.3.17. **Перелік стандартів для виконання експлуатаційної і ремонтної документації: Б 6 ……** 26
1.3.18. **Перелік стандартів для виконання схем: Б 5……** 26
1.3.19. **Макетні методи проектування: Б 8……...** 26
Контрольні запитання та завдання …….. 28
1.4. Основи метрології……..……...…… 29
1.4.1. Основні терміни та їх визначення……....… 29
1.4.2. Єдність і точність вимірювання……..…..… 31
1.4.3. Міжнародна система одиниць СІ……..……...… 32
1.4.4. Міжнародна організація мір і ваг……..... 36
1.4.5. Роль вимірювань і значення метрології……...…… 38
1.4.6. Фізична величина……..…..……... 38
1.4.7. Класифікація засобів вимірювання і контролю…….…….. 39
1.4.8. Основні метрологічні характеристики засобів вимірювання…… 39
1.4.9. Методи вимірювання……..……..……... 40
Контрольні запитання та завдання …….. 41
1.5. Основи взаємозамінності…….…… 42
1.5.1. Взаємозамінність та її види…….….... 42
1.5.2. Ряди переважних чисел……..…….……... 44
1.5.3. Види розмірів……..……...…..... 45
1.5.4. Граничні відхили . Допуск розміру. Нульова лінія……...…….. 46
1.5.5. Поняття вала і отвору. Основні вал і отвір……...……. 47
1.5.6. Посадка з'єднання. Види і допуски посадок……..…….. 47
Контрольні запитання та завдання …….. 51
1.6. Утворення посадок у системі ISO……..……..……. 51
1.6.1. Одиниця допуску. Квалітет……..……...…….. 51
1.6.2. Основні відхили……..……...…… 52
1.6.3. Утворення посадок. Системи основного отвору та основного вала.. 55
Контрольні запитання та завдання …….. 58
1.7. Калібри. Розрахунок виконавчих розмірів…….……..…….. 58
1.7.1. Призначення та застосування калібрів……..……... 58
1.7.2. Схеми розташування полів допусків робочих і контрольних калібрів…….…… 59
1.7.3. Розрахунок виконавчих розмірів…..……... 60
Контрольні запитання та завдання …….. 62

1.8. Посадки з зазором…….....……. 62
1.8.1. Приклади застосування посадок з зазором.....……. 63
Контрольні запитання та завдання …….. 65
1.9. Посадки з натягом…….……..……..…… 65
1.9.1. Приклади застосування посадок з натягом……..…… 66
Контрольні запитання та завдання …….. 67
1.10. Перехідні посадки на ймовірність отримання зазорів і натягів….. 67
1.10.1. Приклади застосування перехідних посадок…….…….. 67
Контрольні запитання та завдання …….. 69
1.11. Взаємозамінність підшипників кочення…….....…….. 69
1.11.1. Основні положення…….…… 69
1.11.2. Утворення і застосування посадок підшипників кочення…..... 73
1.11.3. Розрахунок посадок підшипників кочення…….. 75
1.11.4. Позначення на кресленнях посадок підшипників кочення…..…… 76
Контрольні запитання та завдання …….. 77
1.12. Взаємозамінність з'єднань з метричною наріззю. Трапецієподібна нарізь……. 77
1.12.1. Основні положення…….…… 77
1.12.2. Посадки з зазором……..……. 79
1.12.3. Утворення й позначення посадок…….…….... 83
1.12.4. Перехідні посадки……... 84
1.12.5. Посадки з натягом……..……. 85
1.12.6. Відхили кроку, кута профілю та їхня діаметральна компенсація…... 87
1.12.7. Зведений середній діаметр..... 89
1.12.8. Трапецієподібна нарізь……..... 89
Контрольні запитання та завдання …….. 92
1.13. Взаємозамінність шпонкових з'єднань……...…… 92
1.13.1. З'єднання з призматичною шпонкою…… 92
1.13.2. З'єднання з сегментною шпонкою…..…… 95
Контрольні запитання та завдання …….. 97
1.14. Взаємозамінність шліцьових з'єднань з прямобічним профілем..... 97
1.14.1. Основні положення……...……. 97
1.14.2. Утворення полів допусків…….……. 99
1.14.3. Позначення шліцьових з'єднань з прямобічним профілем…..…… 100
Контрольні запитання та завдання …….. 102
1.15. Взаємозамінність шліцьових з'єднань з евольвентним профілем .. 102
1.15.1. Основні положення……. 102
1.15.2. Утворення полів допусків…….……..... 103
1.15.3. Позначення шліцьових з'єднань з евольвентним профілем…… 105
Контрольні запитання та завдання …….. 106

1.16. Взаємозамінність циліндричних зубчастих коліс і передач…… 106
1.16.1. Загальні відомості про зубчасті колеса і передачі…….. 106
1.16.2. Кінематична точність…… 108
1.16.3. Плавність роботи зубчастих передач……..……..... 111
1.16.4. Контакт спряжених зубців коліс……..……..... 112
1.16.5. Ступені точності і види спряжень циліндричних зубчастих коліс… 114
1.16.6. Допуски і умовні позначення циліндричних зубчастих передач….. 115
Контрольні запитання та завдання …….. 115
1.17. Кутові розміри і допуски……..... 116
1.17.1. Види розмірів та параметри конуса……..…… 116
1.17.2. Допуски кутів……..…… 117
1.17.3. Ступені точності допусків кутів…… 119
1.17.4. Допуски і посадки конусів..... 119
1.17.5. Конуси Морзе, позначення кутів і конусів..... 122
Контрольні запитання та завдання …….. 123
1.18. Нормування відхилів форми і розташування поверхонь деталей… 123
1.18.1. Відхили форми циліндричних поверхонь……..……... 123
1.18.2. Відхили форми плоских поверхонь……..…… 125
1.18.3. Відхили розташування поверхонь……..……..……..... 126
1.18.4. Залежний і незалежний допуски розташування (форми)…..……. 131
1.18.5. Числові значення допусків форми і розташування поверхонь…….. 131
Контрольні запитання та завдання …….. 134
1.19. Розрахунок розмірних ланцюгів……..... 134
1.19.1. Основні положення……..……... 134
1.19.2. Обернена задача…….. 136
1.19.3. Пряма задача……..……... 138
1.19.4. Метод компенсації……..……..... 139
1.19.5. Метод регулювання…….……... 140
1.19.6. Метод припасування…….. 142
1.19.7. Теоретико-ймовірний метод розрахунку розмірних ланцюгів..... 142
Контрольні запитання та завдання …….. 144
1.20. Хвилястість і шорсткість поверхонь деталей……..... 144
1.20.1. Хвилястість поверхонь деталей……..……... 144
1.20.2. Шорсткість поверхонь деталей……..……... 146
1.20.3. Позначення шорсткостей поверхонь……..……..... 148
Контрольні запитання та завдання …….. 152
Використана література …….. 153
Розділ 2. **ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНІ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІН “ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ” ТА “ДОПУСКИ, ПОСАДКИ ТА ТЕХНІЧНІ** 158

ВИМІРЮВАННЯ” ……...
2.1. Загальні вимоги щодо оформлення практичних робіт.....…….. 158
2.2. Загальні відомості про технічні вимірювання..... 159
2.2.1. Одиниці фізичних величин.....…..... 160
2.2.2. Засоби вимірювання.....…….. 161
2.2.3. Методи вимірювання..... 162
2.2.4. Метрологічні показники засобів вимірювання..... 163
2.2. Методологія застосування інструментів і засобів у технічних вимірюваннях……..……..... 164
Лабораторно-практична робота №1 …….. 164
2.3.1. Вимірювання деталей штангенінструментами…….... 164
Контрольні запитання та завдання …….. 172
Лабораторно-практична робота №2 ……. 172
2.3.2. Вимірювання деталей мікрометричними інструментами..... 172
Контрольні запитання та завдання …….. 179
Лабораторно-практична робота №3 …….. 179
2.3.3. Вимірювання деталей індикаторними інструментами..... 179
Контрольні запитання та завдання …….. 188
Лабораторно-практична робота№4 ……... 189
2.3.4. Вимірювання параметрів метричної нарізі і кутів у деталях спеціальними інструментами..... 189
Контрольні запитання та завдання …….. 197
Лабораторно-практична робота №5 ……. 197
2.3.5. Контроль деталей калібрами та шаблонами……..…… 197
Контрольні запитання та завдання …….. 204
Лабораторно-практична робота №6 …….. 204
2.3.6. Вимірювання деталей механічними і оптико-механічними засобами підвищеної точності..... 204
Контрольні запитання та завдання …….. 212
Лабораторно-практична робота №7 …….. 213
2.3.7. Вимірювання розмірів і форми деталей та шорсткості їх поверхонь..... 213
Контрольні запитання та завдання …….. 223
Лабораторно-практична робота №8 …….. 223
2.3.8. Вимірювання та контроль параметрів зубчастих коліс..... 223
Контрольні запитання та завдання …….. 232
Звітні форми до лабораторних робіт …….. 233
Використана література …….. 245
Розділ 3. **МЕТОДОЛОГІЇ ВИМІРЮВАНЬ І КОНТРОЛЮ ДЕТАЛЕЙ**

УНІВЕРСАЛЬНИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ ТА ПРИЛАДАМИ …….. 248
3.1. Прилади та засоби для абсолютних вимірювань ……... 248
3.1.1. Вимірювальні металеві лінійки……..……... 248
3.1.2. Кутники……...……. 249
3.1.3. Вимірювання деталей штангенциркулем ШЦ-1……..... 252
3.1.4. Вимірювання деталей штангенциркулем ШЦ-2……..... 254
3.1.5. Вимірювання деталей штангенглибиноміром ШГ……..... 255
3.1.6. Вимірювання деталей штангенрейсмусом ШР……..... 256
3.1.7. Вимірювання деталей мікрометром МК……... 257
3.1.8. Вимірювання деталей мікрометричним глибиноміром МГ і нутроміром МН……..…… 261
3.1.9. Калібри та шаблони…… 266
3.1.10. Контроль кутів…… 269
3.1.11. Контроль конусів…… 274
Контрольні запитання та завдання …….. 277
3.2. Прилади та засоби для відносних вимірювань …….. 278
3.2.1. Вимірювання деталей індикаторною скобою СИ……. 278
3.2.2. Вимірювання деталей індикаторним нутроміром ……..... 279
3.2.3. Вимірювання деталей важільним мікрометром МВ……... 281
3.2.4. Мікаторні головки, оптикатори та оптиметри……..... 283
Контрольні запитання та завдання …….. 289
3.3. Прилади та засоби для вимірювань нарізних, шпонкових, шліцьових деталей і зубчастих коліс ………..... 289
3.3.1. Контроль нарізі...……..…… 289
3.3.2. Вимірювання середнього діаметра d_2 нарізі нарізним мікрометром зі вставками……...…… 291
3.3.3. Контроль шпонкових і шліцьових деталей……..... 294
3.3.4. Контроль товщини зуба і кроку зачеплення зубчастих коліс…… 295
3.3.5. Контроль довжини спільної нормалі зубчастих коліс…….……... 298
3.3.6. Вимірювання розмірів об’єктів довгомірними оптико-механічними машинами…… 301
3.3.7. Вимірювання розмірів об’єктів інструментальними мікроскопами.. 304
Контрольні запитання та завдання …….. 308
3.4. Прилади та засоби для контролю шорсткості поверхні…….. 309
3.4.1. Контроль шорсткості поверхні профілометрами та профілографами 309
3.4.2. Еталони шорсткості поверхні……..……..... 312
3.4.3. Вимірювання розмірів об’єктів іншими засобами контролю……. 313
3.4.4. Вимірювання розмірів об’єктів пневматичними приладами……..... 316
Контрольні запитання та завдання …….. 320

Використана література …….. 320
Додатки ……. 322

РОЗДІЛ 1

ОСНОВИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ ТА ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ. ВИДИ СПРЯЖЕНЬ, ДОПУСКИ І ПОСАДКИ

У розділі в обсязі 20 тем подано лекційний матеріал, у якому висвітлено теми з основ стандартизації, метрології, взаємозамінності. Значну увагу приділено нормуванню точності гладких циліндричних з'єднань за системою ISO, розрахунку рухомих і нерухомих з'єднань (посадок з зазором, посадок з натягом, перехідних посадок). Розглянуто взаємозамінність підшипників кочення, нарізних з'єднань, шпонкових і шліцьових з'єднань, зубчастих коліс і передач, а також деталей з кутовими розмірами та конусами. Висвітлено нормування відхилів форми та розташування поверхонь деталей, показано методи розрахунку розмірних ланцюгів, а також нормування хвилястості та шорсткості поверхонь для різних деталей. Поданий нижче матеріал підготовлено на основі використаних літературних джерел розділу 1 [1–25, 87], а також чинних міжнародних стандартів ISO, ГОСТів і ДСТУ (див. розділи 2 і 3).

1.1. ОСНОВИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

1.1.1. ПРЕДМЕТ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА КОРОТКА ІСТОРІЯ ЇЇ РОЗВИТКУ

Стандартизація як наука виникла понад 5000 років тому в Давньому Єгипті, де першими ознаками її зародження були виготовлені блоки чітко визначеного розміру, які використовували при будівництві пірамід. Елементи стандартизації виявлено в Давньому Римі при спорудженні водогонів, для яких застосовували труби певних розмірів (довжини та діаметра). Але офіційно стандартизація сформувалася в Англії в період визнання її мореплавною державою. Там чітко стандартизували довжину та висоту корабля у відповідному співвідношенні їх розмірів 3:1. Основним завданням стандартизації у цей період

було сприяння розвитку торгівлі (експорт, імпорт продукції) на світовому ринку. Згодом стандартизація почала істотно впливати на розвиток багатосерійного та масового виробництв, їх спеціалізацію та збільшення випуску продукції, а також поширилась на взаємозамінність.

У Росії стандартизація почала розвиватися за часів правління Івана Грозного, саме тоді з'явилися перші калібри для перевірки розмірів ядер, які використовувалися в гарматах. Практично стандартизацію та взаємозамінність запроваджено у виробництво в 1761р. на Тульському, а потім на Іжевському збройних заводах, де було організовано масове виробництво гармат. Тоді граф Шувалов розробив першу інструкцію з широкого використання взаємозамінності деталей, які виготовляли на цих заводах. У цей час вже існували так звані калібри – лекала.

Наприкінці XIX ст. принципи стандартизації та взаємозамінності поширилися також на інші види цивільної та військової продукції. На великих заводах Росії (Москви, Петербурга, Тули, Іжевська), а також України (Києва, Харкова) з'явилися заводські норми на допуски та посадки. За даними професора МВТУ ім. Баумана І.І. Куколевського, в 1914–1915 роках таких посадок налічувалося п'ять. В основу цієї системи допусків було покладено основний отвір із значенням допуску, близьким до сучасного, з симетричним розташуванням поля допуску. Посадки для валів називалися: вільна, рухома, ковзна, щільна під молоток, пресова.

У 1919 р. була організована Комісія з нормалізації при Петербурзькому відділенні Центральної ради експертів. Інженер цієї комісії П.М. Шелоумов розробив перший проект загальнодержавної системи допусків, який був виданий у 1921 р. Проект передбачав як систему отвору, так і систему вала. Недолік цієї системи полягав у симетричному розташуванні полів допусків відносно номінального діаметра. У 1924 р. за рішенням уряду був створений єдиний центр стандартизації – Бюро промислової стандартизації головного економічного управління ВСНХ СРСР, а з 1925 р. почав працювати Комітет зі стандартизації при Раді праці й оборони. В 1930 р. в СРСР було прийнято рішення про реорганізацію Комітету зі

стандартизації у Всесоюзний. В 1954 р. був створений Комітет стандартів мір і вимірювальних приладів при Раді Міністрів СРСР, який у 1961р. був перейменований в Державний комітет стандартів (Держстандарт СРСР).

З розпадом СРСР у 1991 р. в Україні створено самостійний державний орган зі стандартизації – Держстандарт України. Він займається упорядкуванням в тій чи іншій галузі промисловості основних положень зі стандартизації й видає стандарти з 1994 р.

Стандартизація – це наука про впорядкування діяльності в тій чи іншій сфері з метою випуску стандартизованих чи нормалізованих виробів, процесів, послуг, усунення бар'єрів у торгівлі тощо. Слід розрізняти стандартизацію офіційну та фактичну.

Офіційна стандартизація – це випуск стандартів, еталонів або інших нормативних документів.

Фактична стандартизація відповідає за поступовий розвиток писемності, грошових одиниць, одиниць вимірювання і ваги, законів та моральних норм; її успіхи сприяють культурному, науково-технічному та економічному прогресу на всіх етапах цивілізації.

Мета стандартизації – оптимальне впорядкування об'єктів.

В Україні стандартизація має державний характер і спрямована на забезпечення єдиної технічної політики, захист інтересів вітчизняних виробників та споживачів продукції, економію всіх видів ресурсів, а також відповідність продукції світовому рівню якості та надійності. Окрім цього, стандартизація сприяє узгодженню національних нормативних документів зі світовими аналогами, відповідності вимог нормативних документів законодавчим актам, а також забезпечує умови виходу української продукції на світовий ринок.

Головне завдання стандартизації полягає у створенні системи нормативної документації, що визначає оптимальні вимоги до продукції (виробів).

1.1.2. КЛАСИФІКАЦІЯ ВИДІВ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

В Україні використовують прийняту на міжнародному рівні єдину класифікацію видів стандартизації.

Міжнародна стандартизація передбачає участь відповідних органів усіх країн. **Національна стандартизація** проводиться на рівні однієї конкретної держави. **Регіональна стандартизація** передбачає участь відповідних органів лише одного географічного або економічного регіону.

Державна система стандартизації (ДСС) – це система, яка визначає основну мету та принципи управління, форми та загальні організаційно-технічні правила виконання усіх видів робіт зі стандартизації.

1.1.3. ДЕРЖАВНА СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Державна система стандартизації відповідає за:

– єдину організаційно-методичну основу проведення робіт зі стандартизації на усіх рівнях управління національною економікою (міжгалузевому, галузевому, на рівні підприємств);

– планування, розроблення, проведення експертизи та поширення державних стандартів;

– узгодження національних стандартів України з вимогами міжнародних і європейських стандартів;

– розроблення основних положень системи класифікації та кодування техніко-економічної та соціальної інформації;

– розвиток Національного автоматизованого та інформаційного фонду стандартів, поширення необхідної інформації через засоби масової інформації та спеціальні видання.

Законодавчим органом стандартизації є **Держстандарт**.

Контрольні запитання та завдання

1. Охарактеризуйте предмет стандартизації.

2. Які основні питання досліджує стандартизація?

3. Чим відрізняється офіційна стандартизація від фактичної?

4. Що таке державна система стандартизації?

5. Що є найважливішим структурним елементом ДСС?

6. Розкрийте принципи стандартизації.

7. Які функції стандартизації ви знаєте?

1.2. РІЗНОВИДИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

1.2.1. МЕТОДИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Впорядкування об'єктів стандартизації – універсальний метод у галузі стандартизації, пов'язаний зі зменшенням їх кількості. Упорядкування складається з окремих методів систематизації: селекції, симпліфікації, типізації та оптимізації.

Систематизація об'єктів стандартизації – науково обґрунтована послідовність класифікування та ранжування сукупності конкретних об'єктів у державні класифікатори та інші систематизаційні документи.

Селекція об'єктів стандартизації – відбір таких конкретних об'єктів, які визнаються доцільними для подальшого виробництва та використання.

Симпліфікація об'єктів стандартизації – виявлення таких об'єктів, які визнаються доцільними для подальшого виробництва та використання.

Типізація об'єктів стандартизації – створення типових об'єктів-конструкцій, технологічних правил, форм документації. Відмінність від селекції – певні об'єкти технічно перетворюють для поліпшення якості та універсальності.

Оптимізація об'єктів стандартизації – знаходження оптимальних головних параметрів, а також значень для інших показників якості та економічності.

Методичними основами стандартизації продукції є параметрична стандартизація, уніфікація, агрегатування, комплексна стандартизація, випереджальна стандартизація.

1.2.2. УНІФІКАЦІЯ ПРОДУКЦІЇ

Уніфікація – вибір оптимальної кількості різновидів продукції, процесів, послуг, значень їх параметрів, розмірів.

Основні напрями уніфікації:

– розроблення параметричних і типорозмірних рядів виробів, машин, обладнання, приладів, вузлів, деталей;

– розроблення типових виробів з метою створення уніфікованих груп однорідної продукції;

– розроблення уніфікованих технологічних процесів, включаючи технологічні процеси для спеціалізованих виробництв продукції міжгалузевого використання;

– обмеження доцільним мінімумом номенклатури дозволених до використання виробів і матеріалів.

У результаті робіт з уніфікації отримують: альбоми типових конструкцій деталей, вузлів, збірних одиниць; стандарти типів, параметрів, розмірів конструкції.

Ступінь уніфікації характеризується рівнем уніфікації продукції – насиченістю продукції уніфікованими, у тому числі стандартизованими, деталями, вузлами, складальними одиницями. Основний показник ступеня уніфікації – коефіцієнт використання (уніфікації) $K_в$, який розраховують за формулою $K_в = (n-n_о)/n \cdot 100\%$, де n – загальна кількість деталей у виробі, шт.; $n_о$ – кількість оригінальних деталей (розроблені вперше), шт.

Для підвищення рівня уніфікації машинобудівної продукції передбачено зниження частки оригінальних виробів і збільшення частки виробів (деталей, вузлів) загального, міжгалузевого та галузевого застосування.

1.2.3. АГРЕГАТУВАННЯ

Агрегатування – це метод створення машин, приладів та обладнання з окремих стандартних уніфікованих вузлів, які багаторазово використовуються на підставі геометричної та функціональної взаємозамінності. Агрегатування широко застосовується у меблевому виробництві, машинобудуванні, радіоелектроніці, верстатобудуванні тощо.

1.2.4. КОМПЛЕКСНА ТА ВИПЕРЕДЖАЛЬНА СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Комплексна стандартизація продукції – це встановлення та застосування взаємопов'язаних (за рівнем вимог до якості) готових виробів та необхідної для їх виготовлення сировини, матеріалів і комплектуючих вузлів.

Випереджальна стандартизація – встановлення підвищених норм і вимог до об'єктів стандартизації, які повинні бути

оптимальними. Випереджальні стандарти мають декілька ступенів і містять зростаючі вимоги до показників якості, а також зазначають терміни їх введення в дію.

Випереджальні стандарти впливають на організацію спеціалізованого виробництва нових видів продукції. Їх розробляють на перспективу.

1.2.5. ПАРАМЕТРИЧНА СТАНДАРТИЗАЦІЯ

Параметрична стандартизація – процес стандартизації параметричних рядів, тобто вибір та обґрунтування доцільної номенклатури та числового значення параметрів.

Параметричний ряд – набір визначених значень параметрів.

Розмірний ряд – різновид параметричного ряду.

Ряди переважних чисел – числа, яким необхідно віддати перевагу порівняно з усіма іншими. Їх складають за геометричною прогресією, що характеризується сталим відношенням між двома сусідніми числами. Наприклад, для множника 2 отримують ряд чисел 1; 2; 4; 8; 16; 32 тощо.

Використання системи переважних чисел дає змогу:

– уніфікувати параметри продукції певного типу;

– узгодити параметри продукції різних видів: деталі, вироби, транспортні засоби, технологічне обладнання.

1.2.6. МІЖНАРОДНІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗІ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Міжнародна стандартизація повинна розвиватися в різних галузях: на залізничному, автогужовому, річковому й морському, повітряному транспорті, у технічному зв'язку та інформаційних технологіях, у мережі матеріально-технічного постачання, а також в інших галузях діяльності людини, де відбувається обмін інформацією.

Безпосередня співпраця різних країн у галузі стандартизації почалась у 1921 р., коли була проведена Перша конференція секретарів семи національних комітетів зі стандартизації. Ця конференція напрацювала організаційні принципи, на їх основі в 1926 р. була створена Міжнародна федерація національних асоціацій зі стандартизації – ІСА, до складу якої увійшло 20 національних організацій зі стандартизації. ІСА розробила

близько 180 міжнародних рекомендацій зі стандартизації, але з початком Другої світової війни припинила свою діяльність.

Після закінчення Другої світової війни, в жовтні 1946 р., рішенням ООН була створена Міжнародна організація зі стандартизації (ISO). На засіданні Генеральної Асамблеї ООН був прийнятий статут ISO, який визначив статус організації, її структуру, функції основних органів і методи їх роботи.

У статуті ISO записано, що "метою організації є сприяння розвитку стандартизації в світовому масштабі для полегшення міжнародного товарообміну та взаємодопомоги, а також для розширення співпраці в галузі інтелектуальної, наукової, технічної та економічної діяльності".

Органами ISO є: Генеральна Асамблея, Рада, Комітети Ради, Технічні комітети і Центральний секретаріат. Вищим органом ISO є Генеральна Асамблея. У період між сесіями Генеральної Асамблеї роботою організації керує Рада, на чолі якої стоїть президент ISO. Рада складається з 18 членів – представників національних організацій зі стандартизації, яких обирають на три роки. Для розгляду та підготовки рішень з питань, що цікавлять всю організацію загалом, Рада утворює постійні й тимчасові комітети.

На даному етапі працюють такі комітети: STACO – Комітет з вивчення наукових принципів стандартизації; PLACO – Технічне бюро; CASCO – Комітет з оцінки відповідності; INFCO – Комітет з науково-технічної інформації; DEVCO – Комітет з надання допомоги країнам, що розвиваються; CQPOLCO – Комітет з захисту інтересів споживачів; REMCO – Комітет зі стандартних зразків.

1.2.7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Економічний ефект (ЕЕ) від стандартизації – це виражена в грошових чи натуральних показниках економія живої та матеріалізованої праці в суспільному виробництві внаслідок запровадження стандарту з урахуванням необхідних витрат.

Методологічна оцінка економічної ефективності стандартизації базується на таких постулатах [17]:

– ЕЕС трактується як єдиний комплексний результат економічних, організаційних і технічних заходів;

– величина ЕЕ визначається з урахуванням масштабів впровадження заходів зі стандартизації упродовж всього періоду дії стандарту;

– ступінь ефективності визначається порівнянням всіх витрат на розробку і впровадження стандартів з величиною ефекту від його застосування.

Результат економічної ефективності від впровадження стандарту можна подати у вигляді формули

$$\varepsilon = \varepsilon_{пр} + \varepsilon_{в} + \varepsilon_{ек}, \qquad (1.1)$$

де $\varepsilon_{пр}$ – економічна ефективність стандартизації на стадії проектування; $\varepsilon_{в}$ – економічна ефективність стандартизації при виготовленні; $\varepsilon_{ек}$ – економічна ефективність стандартизації при експлуатації.

Економічна ефективність на кожній стадії є сумою ефектів від змін виробничих фондів і ефекту від економії на щорічних поточних витратах.

Ефективність змін виробничих фондів визначається з урахуванням рентабельності:

$$\varepsilon_{в.ф} = (П_{в.ф} - П'_{в.ф})\, К_{р}, \qquad (1.2)$$

де $П_{в.ф}$ – виробничі фонди до стандартизації; $П'_{в.ф}$ – виробничі фонди після стандартизації; $К_{р}$ – коефіцієнт рентабельності виробничого фонду. Економія поточних витрат виражається у зниженні собівартості продукції:

$$\varepsilon_{п.в} = (C - C')\, n, \qquad (1.3)$$

де C – поточні витрати на одиницю продукції до стандартизації; C' – поточні витрати на одиницю продукції після стандартизації; n – кількість одиниць продукції.

Якщо врахувати ще те, що економічну ефективність визначають протягом всього періоду дії стандартів, то її можна записати у вигляді формули

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^{m} \sum_{h=1}^{t} \left[(П_{в.ф.} - П'_{в.ф.}) К_{р} + (C - C')n \right], \qquad (1.4)$$

де i – кількість підприємств, охоплених стандартизацією; n – період дії стандартизації у роках.

З іншого боку, роботи зі стандартизації вимагають витрат на розробку стандартів і їх впровадження:

$$В = В_р + В_в, \qquad (1.5)$$

де $В_р$ – витрати на розроблення стандартів; $В_в$ – витрати на впровадження стандартів.

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке впорядкування?
2. З яких окремих методів складається впорядкування?
3. У чому різниця між селекцією та типізацією?
4. Що є методичними основами стандартизації?
5. Наведіть приклад параметричного ряду.
6. Що таке уніфікація?
7. Які основні напрями уніфікації?
8. Наведіть приклад випереджального стандарту.
9. Назвіть міжнародні організації зі стандартизації.
10. Як підрахувати техніко-економічну ефективність зі стандартизації?

1.3. ПОРЯДОК РОЗРОБЛЕННЯ СТАНДАРТІВ УКРАЇНИ. СТАНДАРТИ РІЗНИХ КАТЕГОРІЙ ТА ВИДІВ

В Україні на державному рівні за ДСТУ 1.0:2003 [64] функціонує система стандартизації, а також порядок розроблення стандартів за ДСТУ 1.2:2003 [65] і суміжні види діяльності за ДСТУ 1.1–2001 [66].

1.3.1. УМОВИ РОЗРОБЛЕННЯ СТАНДАРТІВ

Проекти ДСТУ розробляють технічні комітети зі стандартизації відповідно до планів державної стандартизації України, програм (планів) робіт і договорів на розроблення стандартів.

Держстандарт – основний уповноважений орган, який здійснює держнагляд.

1.3.2. ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНИХ КАТЕГОРІЙ СТАНДАРТІВ

Стандарти поділяють на категорії залежно від сфери їх застосування. В Україні використовують прийняті на міжнародному рівні єдині визначення категорій стандартів.

Нормативний документ – документ, що встановлює правила, загальні принципи чи характеристики щодо різних видів діяльності або їх результатів.

Стандарт – нормативний документ, розроблений на засадах відсутності протиріч з істотних питань з боку більшості зацікавлених сторін і затверджений визнаним органом, в якому визначені правила, вимоги, загальні принципи чи характеристики, що стосуються різних видів діяльності або їх результатів для досягнення оптимального ступеня упорядкування в певній галузі.

Міжнародний стандарт – стандарт, прийнятий міжнародною організацією зі стандартизації.

Регіональний стандарт – стандарт, прийнятий регіональною організацією зі стандартизації.

Державний стандарт України (ДСТУ) – національний стандарт, який затверджено Державним комітетом України зі стандартизації, метрології та сертифікації (Держстандарт України) або в галузі будівництва – Міністерством будівництва та архітектури України (Мінбудархітектури України).

Міждержавний стандарт (ГОСТ) – стандарт, прийнятий країнами, що приєдналися до Угоди про проведення узгодженої політики в галузі стандартизації, метрології та сертифікації.

Національний стандарт – стандарт, прийнятий національним органом зі стандартизації однієї держави. Державні стандарти України позначають згідно з вимогами, які регламентує ДСТУ 1.5–2003, наприклад: ДСТУ 2681–94. Метрологія. Терміни та визначення.

1.3.3. КАТЕГОРІЇ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ

В Україні використовують такі категорії нормативних документів: міждержавні стандарти (ГОСТ); державні стандарти України (ДСТУ); галузеві стандарти України (ГСТУ); стандарти науково-технічних та інженерних товариств і спілок України

(СТТУ); технічні умови України (ТУУ); стандарти підприємств (СТП).

Галузеві стандарти розробляють за відсутності ДСТУ на об'єкти стандартизації або у випадку необхідності встановлення вимог, які перевищують вимоги ДСТУ. Вимоги ГСТУ не повинні суперечити обов'язковим вимогам ДСТУ.

Стандарти підприємств розробляють на продукцію, яка створюється та використовується на даному підприємстві. СТП не повинні суперечити обов'язковим вимогам ДСТУ та ГСТУ. Об'єктами СТП є складові частини продукції, технологічне устаткування, інструмент, технологічні процеси, процеси організації та управління підприємством, а також послуги, які надає підприємство. Як СТП можуть використовуватися міжнародні, регіональні та національні стандарти інших країн на підставі міжнародних угод про співробітництво. СТП – це основний організаційно-методичний документ, що діє на підприємствах у системах управління якістю продукції.

1.3.4. РІЗНОВИДИ СТАНДАРТІВ

Стандарти поділяють на види залежно від призначення та змісту.

Основоположний стандарт містить загальні положення з певної галузі.

Організаційно-методичні стандарти визначають загальні технічні положення щодо проведення робіт у певній галузі.

Основоположні загальнотехнічні стандарти встановлюють науково-технічні стандарти, що визначають науково-технічні терміни, які використовуються в науці, техніці, виробництві; умовні позначення об'єктів стандартизації; вимоги до побудови, викладення, оформлення та змісту різних видів продукції; загальнотехнічні величини, вимоги та норми, необхідні для технічного забезпечення виробничих процесів (переважні числа, параметричні та розмірні ряди, класи точності обладнання); вимоги технічної естетики та ергономіки.

Стандарти на продукцію, послуги встановлюють вимоги до груп однорідної або певної продукції. На продукцію розробляють:

– стандарт загальних технічних умов – містить загальні вимоги до груп однорідної продукції;

БІБЛІОТЕКА
861/45

– стандарт технічних умов – містить вимоги до певної продукції.

Стандарти на процеси визначають вимоги до типових технологічних процесів створення, зберігання, транспортування та ремонту продукції.

Стандарти методів контролю (випробувань, вимірювань, аналізу) регламентують порядок відбору проб; подають опис обладнання, реактивів; встановлюють правила проведення випробувань і порядок опрацювання результатів.

1.3.5. ПОЗНАЧЕННЯ СТАНДАРТІВ І ПОРЯДОК ЇХ ЗАПРОВАДЖЕННЯ

Позначення державного стандарту України складається з індексу (ДСТУ), реєстраційного номера, присвоєного йому при затвердженні, і двох останніх цифр року прийняття (з 2000 року – 4 цифри), відокремлених тире. У позначенні державного стандарту, що входить до комплексу стандартів, в його реєстраційному номері перші цифри з крапкою визначають комплекс стандарту. Якщо стандарт використовується тільки в атомній енергетиці, додається літера А, яку проставляють після двох останніх цифр року його затвердження. Позначення державного стандарту, що оформлений на підставі застосування автентичного тексту міжнародного або регіонального стандарту, який не містить додаткових вимог, складається з індексу (ДСТУ), відповідно до міжнародного стандарту без зазначення року його прийняття, і двох останніх цифр року затвердження державного стандарту, відокремлених тире. Наприклад, міжнародний стандарт ISO 9591:1992 слід позначати ДСТУ ISO 9591–92.

У позначенні ГСТУ та СТТУ після індексу зазначають відповідно умовне позначення міністерства (відомства та абревіатуру науково-технічного чи інженерного товариства). Позначення стандарту: індекс (наприклад, ДСТУ), реєстраційний номер, рік затвердження.

Стандарт має бути запроваджений до дати набуття ним чинності. Його вважають запровадженим на підприємстві (організації), якщо встановлених ним вимог дотримуються відповідно до сфери його дії і забезпечують стабільність якості виготовлення продукції.

Завершення робіт з запровадження стандарту оформляють актом, який затверджує керівник (заступник) підприємства (організації). У роботі комісії беруть участь представники підприємства, яке запроваджує стандарт, і представник основного споживача.

1.3.6. ДЕРЖАВНИЙ НАГЛЯД ЗА СТАНДАРТАМИ

Держстандарт – основний уповноважений орган, який здійснює держнагляд.

Державний нагляд – діяльність спеціально уповноважених органів контролю за виконанням підприємствами, посадовими особами та громадянами вимог стандартів до якості продукції, процесів і послуг.

При здійсненні держнагляду перевіряють відповідність обов'язковим вимогам стандартів таких об'єктів: готової продукції; потенційно небезпечної техніки; вимог, визначених ГОСТами, ДСТУ, СТП, технічними (проектними, конструкторськими, технологічними) документами.

Форми держнагляду: випробування продукції; експертиза документації; ліцензування розроблення та застосування потенційно небезпечних технологій, об'єктів, виробів, речовин.

Державний нагляд за "впровадженням і дотриманням стандартів" проводиться згідно з законом України "Про стандартизацію".

Державний нагляд здійснюють Держстандарт України, його територіальні органи, а також інші спеціально уповноважені органи за планами органів державного нагляду або за зверненнями громадян.

Об'єктами державного нагляду є:

– продукція виробничо-технічного призначення, товари народного споживання, продукція тваринництва та рослинництва, продукти харчування, а також продукція, що пройшла сертифікацію – на відповідність стандартам, нормам і правилам;

– продукція імпортна – на відповідність чинним в Україні стандартам, нормам і правилам щодо безпеки життя, здоров'я й майна людей та навколишнього середовища;

– продукція експортна – на відповідність стандартам, нормам, правилам або окремим вимогам, що обумовлені договором (контрактом);

– атестовані виробництва – на відповідність установленим вимогам щодо сертифікації продукції.

При контролі строку впровадження стандарту перевіряють: наявність наказу міністерства чи відомства, а також наказу на підприємстві про впровадження стандарту; наявність плану організаційно-технічних заходів, необхідних для впровадження стандарту та його виконання; забезпеченість підприємства необхідною сировиною, устаткуванням, оснащенням, інструментом, технічною документацією для впровадження стандарту в дію; з яких показників стандарту при впровадженні допущені відхилення; якщо стандарт не впроваджується, то які на це є причини.

Разом з державним наглядом проводять і відомчий за впровадженням і дотриманням стандартів, норм, правил. Завдання його аналогічні завданням державного нагляду.

1.3.7. ВІТЧИЗНЯНІ СИСТЕМИ СТАНДАРТІВ І ДЕРЖАВНА СИСТЕМА СТАНДАРТИЗАЦІЇ УКРАЇНИ

Нині діє понад 40 міждержавних систем, що забезпечують організацію виробництва високоякісної продукції. Найважливіші з них розглянуто нижче.

В Україні розроблено перші п'ять стандартів державної системи стандартизації. Вона визначає мету, основні принципи та об'єкти стандартизації, категорії нормативних документів зі стандартизації та види стандартів, організацію робіт зі стандартизації, основні положення щодо застосування стандартів і технічних умов, державного нагляду за додержанням стандартів, міжнародного науково-технічного співробітництва України в галузі стандартизації.

Стандарти державної системи стандартизації позначаються перед номером стандарту цифрою 1.

1.3.8. ЄДИНА СИСТЕМА КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Комплекс стандартів Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД) упроваджено з 1 січня 1971 р. Він містить понад

250 стандартів, поділених на дев'ять груп. Стандарти системи ЄСКД позначаються перед номером стандарту цифрою 2.

2.1. Основні положення (див. список літератури Б 1).

2.2. Класифікація і позначення виробів у конструкторських документах (Б 2).

2.3. Загальні правила виконання креслеників (Б 3).

2.4. Правила виконання креслеників різних виробів (Б 4).

2.5. Правила обігу конструкторських документів: облік, зберігання, внесення змін (Б 5).

2.6. Правила виконання експлуатаційної і ремонтної документації (Б 6).

2.7. Правила виконання схем (Б 7).

2.8. Макетні методи проектування (Б 8).

2.9. Інші стандарти (стандарти, що призначаються на експорт, тощо).

1.3.9. ЄДИНА СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Єдина система технологічної документації (ЄСТД) – це комплекс державних стандартів, що встановлюють взаємопов'язані правила розроблення, оформлення і обігу технологічної документації.

Ця система регламентує обов'язковий порядок розроблення, оформлення і збереження всіх видів технологічної документації на машино- і приладобудівних підприємствах країни для виготовлення, транспортування, встановлення і ремонту виробів цих підприємств.

Єдині правила розроблення, оформлення і збереження технологічної документації дають змогу використовувати прогресивні способи машинної обробки і полегшують передавання документації на інші підприємства.

Сьогодні ЄСТД містить понад 50 держаних стандартів, що поділяються на 9 груп (табл. 1.1).

Стандарти системи ЄСТД позначаються перед номером стандарту цифрою 3. Упровадження стандартів ЄСТД дає змогу підвищити рівень технологічних розробок і продуктивність праці, поліпшити якість технологічної документації.

Таблиця 1.1

Шифри та назви деяких стандартів

Шифр групи	Назва стандарту
0	Загальні положення
1	Основоположні стандарти
2	Класифікація і позначення технологічних документів
3	Облік застосування виробів і технологічного оснащення
4	Основне виробництво. Правила оформлення технологічних документів, спеціалізованих за видами робіт
5	Основне виробництво. Правила оформлення технологічних документів на випробування і контроль
6	Допоміжне виробництво. Правила оформлення технологічних документів
7, 8	Стандарти, що розроблюватимуться в перспективі
9	Нормативне господарство

1.3.10. ЄДИНА СИСТЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА

Єдина система технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ) – це комплекс міждержавних стандартів і галузевих систем технологічної підготовки виробництва, щодо виконання вимог яких створюються умови для скорочення термінів підготовки виробництва, освоєння і випуску продукції заданої якості, забезпечення високої гнучкості виробничої структури і значної економії трудових, матеріальних і фінансових ресурсів.

Одним із найважливіших принципів, закладених в ЄСТПВ, є типізація технологічних процесів, виготовлення уніфікованих об'єктів виробництва і засобів технологічного оснащення на основі їх класифікацій і групування за подібними конструктивно-технологічними ознаками, що створює основу для підвищення рівня типових технологічних процесів. Впровадження цього принципу дає можливість у кілька разів скоротити терміни

підготовки виробництва нових виробів і обсяг розроблюваної технологічної документації.

Типові технологічні процеси базуються на використанні прогресивних вихідних заготовок, передових методів обробки деталей, стандартних засобів технологічного оснащення, прогресивних форм організації виробництва. Їх розробляють на основі прогресивних технологічних рішень.

Стандарти ЄСТПВ позначають перед номером стандарту цифрою 14.

ЄСТПВ установлює необхідність підвищення рівня технологічності конструкції виробів і широкого застосування типових технологічних процесів для виготовлення груп однорідних за конструкцією і методами обробки деталей.

1.3.11. СИСТЕМА РОЗРОБЛЕННЯ І ПОСТАЧАННЯ ПРОДУКЦІЇ НА ВИРОБНИЦТВО

Система розроблення і постачання продукції на виробництво (СРПВ) – це система правил, що визначають порядок проведення робіт зі створення, виробництва і використання продукції, встановлених відповідними стандартами.

Основне призначення СРПВ – встановити організаційно-технічні принципи і порядок проведення робіт зі створення продукції високої якості, запобігти постачанню на виробництво застарілої, неефективної продукції, сприяти скороченню термінів розроблення і освоєння та своєчасному оновленню продукції.

Стандарти СРПВ регламентують:

– порядок проведення науково-дослідних, експериментально-конструкторських та технологічних робіт, патентних досліджень, що містять дослідження технічного рівня і тенденцій розвитку техніки;

– вимоги до продукції, яку належить розробити і освоїти, порядок видання, контролю і підтримання цих вимог на всіх стадіях циклу продукції та зняття її з виробництва;

– порядок постачання продукції на виробництво (в тому числі раніше освоєної на інших підприємствах продукції і продукції, що виготовляється за ліцензіями закордонних фірм),

здійснення авторського нагляду при освоєнні та виробництві продукції;

– вимоги до зразків-еталонів товарів, правила їх узгодження і затвердження;

– порядок зняття застарілої продукції з виробництва з урахуванням інтересів споживачів і своєчасну заміну такої продукції більш сучасною.

Стандарти системи СРПВ позначають перед номером стандарту цифрою 15.

Подаємо перелік поки що чинних в Україні російських ГОСТів на оформлення документації ЄСКД для різних видів діяльності.

1.3.12. ПЕРЕЛІК СТАНДАРТІВ ДЛЯ ЄДИНОЇ СИСТЕМИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ: Б 1.

1. ДСТУ ГОСТ 2.001:2006. Єдина система конструкторської документації. Загальні положення (ГОСТ 2.001–93.IDT) – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 10 с.

2. ГОСТ 2.109–73. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 28 с.

3. ГОСТ 2.113–75. Единая система конструкторской документации. Групповые и базовые конструкторские документы. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 49 с.

4. ГОСТ 2.114–95. Единая система конструкторской документации. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 12 с.

5. ГОСТ 2.123–83. Единая система конструкторской документации. Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 7 с.

6. ГОСТ 2.125–2008. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эскизных конструкторских документов. Общие положения. – М.: Изд-во стандартов, 2009. – 7 с.

1.3.13. КЛАСИФІКАЦІЯ І ПОЗНАЧЕННЯ ВИРОБІВ У КОНСТРУКТОРСЬКИХ ДОКУМЕНТАХ: Б 2.

ГОСТ 2.201–80. Единая система конструкторской документации. Обозначение изделий и конструкторских документов. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 13 с.

1.3.14. СТАНДАРТИ, ЩО МІСТЯТЬ ЗАГАЛЬНІ ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ КРЕСЛЕНИКІВ: Б 3.

1. ГОСТ 2.304–81. Единая система конструкторской документации. Шрифты чертежные. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 22 с.

2. ГОСТ 2.305–2008. Единая система конструкторской документации. Изображения – виды, разрезы, сечения.– М.: Изд-во стандартов, 2009. – 27 с.

3. ГОСТ 2.306–68. Единая система конструкторской документации. Обозначения графических материалов и правила их нанесения на чертежах. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 7 с.

1.3.15. ПЕРЕЛІК СТАНДАРТІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КРЕСЛЕНИКІВ РІЗНИХ ВИРОБІВ: Б 4.

1. ГОСТ 2.403–75. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей цилиндрических зубчатых колес. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 5 с.

2. ГОСТ 2.404–75. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей зубчатых реек. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 3 с.

3. ГОСТ 2.405–75. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей конических зубчатых колес. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 8 с.

4. ГОСТ 2.406–76. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей цилиндрических червяков и червячных колес. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 5 с.

5. ГОСТ 2.424–80. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения чертежей штампов. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 15 с.

6. ГОСТ 2.428–84. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения темплетов. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.

1.3.16. ПРАВИЛА ОБІГУ КОНСТРУКТОРСЬКИХ ДОКУМЕНТІВ: ОБЛІК, ЗБЕРІГАННЯ, ВНЕСЕННЯ ЗМІН: Б 5.

ГОСТ 2.503–90. Единая система конструкторской документации. Правила внесения изменений. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 30 с.

1.3.17. ПЕРЕЛІК СТАНДАРТІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ І РЕМОНТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ: Б 6.

ГОСТ 2.610–2006. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 39 с.

1.3.18. ПЕРЕЛІК СТАНДАРТІВ ДЛЯ ВИКОНАННЯ СХЕМ: Б 7.

1. ГОСТ 2.721–74. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные, графические в схемах. Обозначения общего применения. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 34 с.

2. ГОСТ 2.730–73. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 25 с.

1.3.19. МАКЕТНІ МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ: Б 8.

ГОСТ 2.803–77. Единая система конструкторской документации. Макетный метод проектирования. Техническое содержание рабочего макета. – М.: Изд-во стандартов, 1985 – 4 с.

Таким чином, дотримування норм перелічених вище систем зі стандартизації щодо проектування та виготовлення виробів у державі дасть змогу підвищити їх якість і вплинути на собівартість.

Проведення робіт зі стандартизації, особливо розроблення та впровадження державних стандартів, має економічні, технічні й соціальні наслідки для всього народного господарства,

причому вони можуть бути в різних сферах дуже суперечливі. Якщо впровадження стандарту створює економічний ефект у виробництві й експлуатації стандартизованої продукції, то воно завжди доцільне. Але дуже часто випуск стандартизованої продукції вищої якості вимагає від промисловості великих витрат, що підвищує собівартість виготовлення. Водночас в експлуатації така продукція дуже вигідна, бо має підвищені споживчі властивості. У цьому разі необхідно з'ясувати, наскільки результати перевищують сумарні витрати, і зробити висновки про доцільність впровадження стандартів не з вузьковідомчих позицій, а з позицій народного господарства загалом.

При проведенні робіт зі стандартизації критерії економічної ефективності повинні бути основними, бо визначають напрям цих робіт і рівень показників, що закладені в стандартах. Тому визначення економічного ефекту слід проводити починаючи з початкової стадії розроблення стандарту й супроводжувати цей процес аж до кінцевого встановлення стандартизованих показників.

Уже при розробленні планів і програм стандартизації за укрупненими показниками визначають очікуваний економічний ефект, який уточнюється при складанні технічного завдання на розроблення кожного конкретного стандарту. Під час створення стандарту проведення техніко-економічних розрахунків має на меті вибір оптимального варіанта вирішення завдань стандартизації.

Розроблений стандарт подається на розгляд і затвердження з уточненим техніко-економічним розрахунком ефективності, який потрібен для прийняття рішення про його затвердження і впровадження в народне господарство на основі очікуваного значення економічного ефекту. Після впровадження стандарту на підставі даних про фактичні результати, отримані в сфері проектування, виробництва та експлуатації об'єктів стандартизації, можна розрахувати фактичний економічний ефект, необхідний для аналізу змін економічних показників внаслідок проведення робіт зі стандартизації.

Проте порядок, за яким проводять техніко-економічні розрахунки, допускає винятки. З урахуванням різноманітності

об'єктів стандартизації не завжди можливо та доцільно визначити економічну ефективність. Це стосується:

– стандартів, у яких техніко-економічні показники залишились незмінними порівняно з базовими;

– стандартів, що встановлюють підвищені норми для нетехнологічних властивостей продукції;

– загальнотехнічних і організаційно-методичних стандартів, спрямованих на порядок проведення робіт (інструкції, положення, правила і норми виробничо-технічного призначення, документація у сфері управління виробництвом, техніко-економічна інформація); стандартів на терміни, визначення, класифікацію, позначення. Для перелічених стандартів додаються якісні характеристики їх доцільності й передбачувані витрати на їх розроблення та впровадження.

Контрольні запитання та завдання

1. Опишіть коротку історію виникнення стандартизації.

2. За яким державним стандартом України функціонує система стандартизації?

3. Яка різниця в поняттях: міжнародний стандарт, регіональний стандарт, міждержавний стандарт, національний стандарт?

4. Яка відмінність між такими стандартами: стандарт на продукцію, стандарт на послуги, стандарт на процеси, стандарт на методи контролю?

5. Що містять ГОСТи та ДСТУ?

6. Які основні умови розробки стандартів?

7. Яке основне призначення стандарту?

8. Що перевіряють під час здійснення держнагляду?

9. Назвіть основний уповноважений орган, який займається здійсненням держнагляду.

10. З якого року запроваджена в Україні Єдина система конструкторської документації (ЄСКД)?

11. Скільки державних стандартів містить Єдина система технологічної документації (ЄСТД)?

12. На скільки груп поділяють ЄСТД?

13. Сформулюйте поняття Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ).

14. Сформулюйте поняття Системи розробки і постачання продукції на виробництво (СРПВ).

15. Яке основне призначення СРПВ?

1.4. ОСНОВИ МЕТРОЛОГІЇ

1.4.1. ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ЇХ ВИЗНАЧЕННЯ

Згідно з законом України "Про метрологію та метрологічну діяльність" та ДСТУ 2681–94 [27], ДСТУ 3231:2007 [30] розкриємо значення деяких термінів.

Метрологія – наука про вимірювання, яка вивчає як теоретичні, так і практичні аспекти вимірювань у всіх галузях науки і техніки.

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

Вимірювана величина – фізична величина чи параметри її залежності, що підлягають вимірюванню.

Одиниця вимірювань – фізична величина певного розміру, прийнята для кількісного відображення однорідних з нею величин.

Єдність вимірювань – стан вимірювань, за якого результати виражаються в узаконених одиницях вимірювань, а похибки вимірювань відомі та із заданою достовірністю не виходять за встановлені межі.

Методика виконання вимірювань – сукупність процедур і правил, які забезпечують одержання результатів вимірювань з потрібною точністю.

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

Розмір фізичної величини – кількісний вміст фізичної величини в певному об'єкті.

Система фізичних величин – сукупність взаємопов'язаних фізичних величин, в якій декілька величин приймають за незалежні, а інші визначають як залежні від них.

Основна фізична величина – фізична величина, що входить до системи величин і визначається через основні величини цієї системи.

Розмірність фізичної величини – вираз, що відображає зв'язок фізичної величини з основними величинами системи величин.

Одиниця фізичної величини – фізична величина певного розміру, прийнята за угодою для кількісного відображення однорідних з нею величин.

Система одиниць фізичних величин – сукупність одиниць певної системи фізичних величин.

Засіб вимірювальної техніки – технічний засіб, який застосовується під час вимірювань і має нормовані метрологічні характеристики. До засобів вимірювальної техніки належать засоби вимірювань та вимірювальні пристрої.

Тип засобу вимірювальної техніки – сукупність засобів вимірювальної техніки одного й того ж призначення, які мають один і той же принцип дії, однакову конструкцію та виготовлені за однією і тією ж технічною документацією.

Засіб вимірювань – засіб вимірювальної техніки, який реалізує процедуру вимірювань. До засобів вимірювань належать кодові та реєструючі засоби вимірювань, вимірювальні прилади та вимірювальні системи; *вимірювальний прилад* – засіб вимірювань, в якому створюється візуальний сигнал вимірювальної інформації; *вимірювальний пристрій* – засіб вимірювальної техніки, в якому виконується лише одна зі складових частин процедури вимірювань (вимірювальна операція).

Еталон – засіб вимірювальної техніки, що забезпечує відтворення і (чи) зберігання одиниці вимірювань одного чи кількох значень, а також передавання розміру цієї одиниці іншим засобам вимірювальної техніки; *первинний еталон* – еталон, що забезпечує відтворення та (або) зберігання різниці фізичної величини з найвищою в країні (порівняно з іншими еталонами тієї ж одиниці) точністю; *державний еталон* – офіційно затверджений еталон, який забезпечує відтворення одиниці вимірювань та передавання її розміру іншим еталонам з найвищою у країні точністю; *робочий еталон* – еталон, призначений для повірки чи калібрування засобів вимірювальної техніки; *міжнародний еталон* – еталон, який за міжнародною угодою призначений для узгодження розмірів одиниць, що відтворюються і зберігаються державними (національними) еталонами; *вихідний еталон* – еталон, який має найвищі метрологічні властивості серед еталонів, що є на підприємстві чи в організації.

1.4.2. ЄДНІСТЬ І ТОЧНІСТЬ ВИМІРЮВАННЯ

Поняття єдності й точності вимірювань є визначальними для теоретичної метрології та метрологічної практики. Різниця і водночас взаємозв'язок, взаємообумовленість цих понять визначають характер, зміст, направленість і форми організації метрологічного забезпечення будь-яких виробничих проблем.

Можливість застосування результатів вимірювання для правильного та ефективного розв'язання будь-якої вимірювальної задачі визначається такими трьома умовами:

1. Результати вимірювань виражають у прийнятих одиницях і (чи) формах.

2. Відомі (з необхідною заданою достовірністю) значення показників точності цих результатів.

3. Значення показників точності забезпечують оптимальне (відповідно до вибраних критеріїв оптимальності) розв'язання задачі, для якої результати призначені.

Якщо результати вимірювань задовольняють перші дві умови, то про них відомо все, що необхідно знати для прийняття обґрунтованого рішення про можливість їх використання. Такі результати можна порівнювати, їх можна використовувати в різних поєднаннях, різними людьми і організаціями. В цьому випадку можна вважати, що забезпечено єдність вимірювання.

Якщо ж результати вимірювань не мають будь-яких з цих властивостей, тобто невідома чи неправильно визначена їх точність, то вони можуть бути помилково прийняті за придатні, їх не можна порівнювати чи використовувати одночасно. В цих випадках прийнято говорити про відсутність єдності вимірювань.

Третя з перелічених вище умов визначає специфічні вимоги до точності застосовуваних методів і засобів вимірювальної техніки:

1. Точність результатів технічних вимірювань можна достовірно оцінити на основі попереднього аналізу можливих причин похибок вимірювань і апріорної оцінки значень цих похибок.

2. Реальна точність технічних вимірювань зумовлюється не тільки інструментальними, а й методичними похибками, пов'язаними з використанням непрямих вимірювань, жорсткішими умовами застосування приладів, динамічними та іншими властивостями об'єктів вимірювань тощо.

1.4.3. МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ СІ

У 1960 р. XI Генеральна міжнародна конференція з мір і ваг (ГКМВ) прийняла Міжнародну систему одиниць (Система інтернаціональна (СІ)) з шістьма основними одиницями – метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, кандела – і з двома додатковими – радіан і стерадіан, а в 1971 р. XIV ГКМВ затвердила сьому основну одиницю – моль.

Одиниці СІ придатні для практичного застосування в усіх галузях науки й техніки та в різних галузях народного господарства. Офіційно вони прийняті всіма країнами. Як державний стандарт діє ДСТУ 3651.0–97, згідно з яким застосування одиниць СІ є обов'язковим, але поряд з ними в навчальному процесі та в навчальній літературі дозволяється застосовувати перелічені в стандарті позасистемні одиниці, а також часткові та похідні від них. Наприклад, кратними від одиниці довжини метра є 1/10 – дециметр; 1/100 – сантиметр; 1/1000 – міліметр та інші.

Система одиниць СІ практична, когерентна, раціоналізована. У системі СІ, на відміну від нераціоналізованої системи СГС, магнітна проникність μ_0 вільного простору – величина розмірна й називається магнітною сталою:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \approx 12{,}57 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м};$$

подібно електрична стала: $\varepsilon_0 = 10^7/(4\pi C^2) \approx 8{,}85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м, де $C = (299792{,}5 \pm 0{,}4)$ км/с $\approx 3 \cdot 10^8$ м/с – швидкість поширення світла у вакуумі.

Одиниці СІ позначаються літерами латинського та грецького (міжнародні позначення) або українського алфавітів, а також спеціальними знаками (...°,...′, ...″). На засобах вимірювань мають бути міжнародні позначення. У друкованих працях можна застосовувати або міжнародні, або українські позначення, але не обох видів в одному виданні (за винятком публікацій з фізичних величин).

У позначеннях одиниць, назви яких походять від прізвищ відомих вчених, перша буква має бути великою, наприклад, W, Вт, Wb, Вб, Ω, Ом. Позначення одиниць проставляють тільки біля числових значень величин в один рядок з ними, друкують

прямим шрифтом з пробілом після останньої цифри без перенесення в наступний рядок. Наприклад: 100 кВт, 80%, 20°С або 20°.

Значення величин і їх граничні відхили беруть у дужки, після яких з пробілом проставляють позначення одиниці, наприклад (100,0 ± 0,1) В, або ж окремо – після значення величини та після її граничного відхилу: 50 В ± 2 В.

Позначення одиниць, що входять у добуток, треба відокремлювати крапкою на середній лінії (знак множення): Н · м, кг · м^2.

У позначеннях відношень одиниць знаком ділення може служити тільки одна скісна або горизонтальна риска. Позначення зі скісною рискою записують в один рядок, а знаменник (добуток) беруть у круглі дужки. Позначення відношень можна записувати у вигляді добутку позначень одиниць, піднесених до степенів, але якщо хоча б одна із одиниць записана з від'ємним показником, то застосовувати скісну чи горизонтальну риску не дозволено.

Сформулюємо визначення найважливіших основних одиниць міжнародної системи (СІ) [30] (табл. 1.2).

Метр дорівнює 1650763,73 довжин хвиль випромінювання у вакуумі, що відповідає переходу між рівнями 2_{p10} і 5_{3d5} атома криптону-86.

Кілограм дорівнює масі міжнародного прототипу кілограму.

Секунда дорівнює 9192631770 періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133.

Ампер дорівнює силі незмінного струму, який проходить по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини і дуже малої площі кругового поперечного перерізу, розташованих у вакуумі на відстані 1 м один від одного, зумовлює в кожній ділянці провідника силу взаємодії, яка дорівнює $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Кельвін дорівнює 1/273,16 частини термодинамічної температури потрійної точки води.

Моль дорівнює кількості речовини системи, яка містить стільки ж структурних елементів, скільки міститься атомів у вуглеці-12 масою 0,012 кг.

Кандела дорівнює силі світла джерела у заданому напрямку, що має монохроматичне випромінення частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, енергетична сила світла якого в цьому напрямку становить 1/683 Вт/ср.

Таблиця 1.2

Основні одиниці системи СІ [28, 29]

Назва величини	Розмірність	Одиниця вимірювання	Позначення	
			укр.	міжнар.
Довжина	L	метр	м	m
Маса	M	кілограм	кг	kg
Час	T	секунда	с	s
Сила електричного струму	I	ампер	А	A
Термодинамічна температура	Θ	кельвін	К	K
Кількість речовини	N	моль	моль	mol
Сила світла	J	кандела	кд	cd
Площинний кут	–	стерадіан	ср	sr
Тілесний кут	–	радіан	рад	rad

Первинний еталон одиниці довжини. У 1983 р. на XI Генеральній міжнародній конференції з мір і ваг за одиницю довжини був прийнятий метр, розмір якого виражається довжиною світлової хвилі. Згідно із затвердженим на конференції означенням, метр дорівнює довжині шляху, який проходить у вакуумі світло за 1/299792458 частину секунди.

Перевагою такого еталона є можливість відтворення довжини в діапазоні значень до 1 м. Середній квадратичний відхил при відтворенні метра не перевищує $1 \cdot 10^{-8}$. Такі високі точності потрібні не тільки в метрології, але і в машинобудуванні, для потреб якого розроблені лазерні інтерференційні вимірювачі переміщень з похибкою 10^{-7} м і менше.

Первинний еталон одиниці маси. Кілограм – одиниця маси, яка дорівнює масі міжнародного прототипу кілограма, що зберігається у Міжнародному бюро мір і ваг у Парижі (III ГКМВ 1901 р.). Державний первинний еталон повинен складатися з комплексу таких засобів вимірювальної техніки: первинного еталона – гирі масою 1 кг зі спеціального немагнітного сплаву компаратора (еталонної ваги). Державний первинний еталон забезпечує відтворення одиниці з середнім квадратичним відхилом результату вимірювання, яке не перевищує $8 \cdot 10^{-3}$ мг (ДСТУ 3381:2009).

Первинний еталон одиниці часу та частоти. Перехід на природну атомну одиницю часу був узаконений в 1967 р. на XIII Генеральній міжнародній конференції з мір і ваг. Одиниця часу – секунда – дорівнює 9192631770 періодам випромінювання, що

відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133. Стабільність частоти цезієвого еталона є наслідком квантових закономірностей, що зумовлюють постійність енергії переходу атомів з одного енергетичного рівня на інший за відсутності зовнішніх магнітних полів. У первинному еталоні часу й частоти використовується перехід між двома енергетичними рівнями атома водню, при цьому частота випромінювання збуджених атомів, за відсутності зовнішніх впливів, стала й дорівнює 1420405751,8 Гц. До складу еталона входять групи водневих генераторів та кварцових генераторів, комплект подільників частоти, апаратура для порівняння частот і допоміжні засоби вимірювань.

Первинний еталон одиниці сили електричного струму. Постановою IX Генеральної міжнародної конференції з мір і ваг було прийнято таке означення ампера: ампер дорівнює силі незмінного струму, який під час перебігу через два паралельні прямолінійні провідники нескінченної довжини і дуже малої площі кругового поперечного перерізу, що розташовані у вакуумі на відстані 1 м один від одного, спричинив би на кожній ділянці провідника довжиною 1 м силу взаємодії, яка дорівнює $2 \cdot 10^{-7}$ Н (IX ГКМВ 1948р.).

Первинний еталон одиниці температури. Одиниця термодинамічної температури – кельвін – була прийнята на XII Генеральній міжнародній конференції з мір і ваг як 1/273,16 частина термодинамічної температури потрійної точки води. Потрійна точка води – це стан рівноваги її твердої, рідкої та газоподібної фаз. Поряд з термодинамічною температурою Кельвіна використовують також і термодинамічну температуру Цельсія, одиницею якої є градус Цельсія (°С).

Зв'язок між температурою Кельвіна й температурою Цельсія виражається співвідношенням 1°С = ТК-273,16 К; температура Цельсія відображена в міжнародній практичній температурній шкалі 1968 р.; Т – температура Кельвіна; 273,16 К – температура точки топлення льоду за шкалою Кельвіна. Крім температури за шкалою Цельсія, існують температури за шкалою Фаренгейта (0–96° за Цельсієм) і за шкалою Реомюра (0–80° за Цельсієм), які у практиці менш відомі.

Міжнародна практична температурна шкала 1968 р. заснована на значеннях температур, що присвоєні певній кількості відтворюваних станів рівноваги (визначальних постійних точок),

специфікованих і атестованих на інтерполяційних приладах (XIII ГКМВ 1967 р.).

Первинний еталон одиниці сили світла. Повний випромінювач в еталоні кандели виконаний у вигляді трубки з оксиду торію, зануреної в розтоплену платину. В еталоні кандела (кд) – сила світла, що випромінюється з поверхні площею 1/60000 $м^2$ повного випромінювача, в перпендикулярному напрямку при температурі випромінювача, яка дорівнює температурі твердіння платини при тиску 101325 Па. Силу світла, яке випромінюється з порожнини випромінювача, порівнюють за допомогою фотометра зі силою світла вторинних еталонів (спеціальні лампи розжарювання). Середнє квадратичне відхилення похибки відтворення кандели не перевищує $1 \cdot 10^{-3}$ кд при систематичній складовій $3 \cdot 10^{-3}$ кд. Кандела дорівнює силі світла в заданому напрямку джерела, яке має монохроматичне випромінення частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, енергетична сила світла якого в цьому напрямку 1/683 Вт/ср. (XVI ГКМВ 1976 р.).

Первинний еталон одиниці кількості речовини. Необхідність введення одиниці кількості речовини в практику вимірювань і розрахунків була обґрунтована на XIV Генеральній міжнародній конференції з мір і ваг (1971 р.), де до основних одиниць фізичних величин був доданий моль. Моль дорівнює кількості речовини системи, яка містить стільки ж структурних елементів, скільки міститься атомів у вуглеці-12 масою 0,012 кг. Точно відтворити одиницю кількості речовини можна різноманітними способами, наприклад, спалюючи 0,012 кг вуглецю у чистому кисні, отримаємо точно один моль молекул вуглекислого газу. Кількість речовини за допомогою прямих вимірювань можна визначити в ядерних реакціях і в реакціях за участю елементарних частинок.

1.4.4. МІЖНАРОДНА ОРГАНІЗАЦІЯ МІР І ВАГ

Найбільші міжнародні метрологічні організації – Міжнародна організація мір і ваг (МОМВ) і Міжнародна організація законодавчої метрології (МОЗМ).

У 1875 р. 17 країн підписали Метричну конвенцію, мета якої – уніфікація національних систем одиниць вимірювання та встановлення єдиних фактичних еталонів довжини і маси (метра та кілограма). На основі цієї Конвенції була створена міжурядова Міжнародна організація мір і ваг. Офіційна мова організації –

французька. Метрична конвенція діє і тепер (з доповненнями від 1921 р.), її членами є близько 50 країн світу.

Відповідно до Конвенції було створено Міжнародне бюро мір і ваг (МБМВ) – перша міжнародна науково-дослідна лабораторія, котра зберігає і підтримує міжнародні еталони: прототипи метра та кілограма, одиниці іонізуючих випромінювань, електричного опору тощо. МБМВ знаходиться у Франції (м. Севр), його діями керує Міжнародний комітет мір і ваг (МКМВ). Головне практичне завдання МБМВ – звірення національних еталонів з міжнародними еталонами різних одиниць вимірювань. Фактично МБМВ координує діяльність метрологічних організацій більш ніж у 100 країнах.

Науковий напрям роботи цієї організації – удосконалення метричної системи вимірювань. МБМВ постійно удосконалює міжнародні еталони, розробляє та застосовує нові методи й засоби точних вимірювань, координує метрологічні дослідження.

Програми наукової та практичної діяльності МБМВ затверджує Генеральна конференція з мір і ваг – вищий міжнародний орган з питань встановлення одиниць, їх визначень і методів відтворення. В її роботі беруть участь всі країни, що приєднались до Конвенції. Генеральна конференція проводиться не рідше одного разу на чотири роки: перша відбулась у 1898 р. У проміжках між конференціями роботою МБМВ керує МКМВ, обраний на конференції. До складу комітету входять найкращі фізики та метрологи світу, всього 18 членів.

У складі МКМВ працюють вісім Консультативних комітетів, які готують матеріали та рішення Генеральних конференцій. Назви комітетів висвітлюють діапазон діяльності МБМВ: Комітет з електрики, з термометрії, визначення метра, визначення секунди, одиниць маси, фотометрії та еталонів для іонізуючих випромінювань. Країни – члени МБМВ – представлені своїми найбільшими науковими інститутами.

Наукові розробки МБМВ мають велике практичне значення. Достатньо назвати прийняття Міжнародної системи одиниць СІ (1960 р.), нового визначення секунди (1967 р.) і створення найновіших стандартів частоти, що дало змогу підвищити точність національних еталонів часу і частоти у 100–1000 разів, це відповідно позитивно позначилось на забезпеченні космічних польотів, а також було використано в кількох фундаментальних наукових дослідженнях.

1.4.5. РОЛЬ ВИМІРЮВАНЬ І ЗНАЧЕННЯ МЕТРОЛОГІЇ

"Наука розпочинається тоді, коли починають вимірювати". Ці слова Д.І. Менделєєва особливо актуальні зараз, коли наука стала безпосередньою виробничою силою і без вимірювань неможлива сучасна господарсько-економічна та громадська діяльність людини. Похибки визначають за ДСТУ ГОСТ 8.051:2009 [33].

Вимірювання – це операція, за допомогою якої визначають відношення однієї вимірюваної величини до іншої однорідної величини, яку приймають за одиницю. Результатом вимірювання є числова величина, виражена у відповідних одиницях. Будь-яке вимірювання неминуче пов'язане з наявністю похибки. При проведенні лінійних і кутових вимірів дійсним розміром називають розмір, отриманий вимірюванням з допустимою похибкою.

Функції вимірювання в народному господарстві:

– облік продукції в народному господарстві за масою, довжиною, об'ємом, витратами, потужністю, енергією;

– контроль та регулювання технологічних процесів;

– наукові дослідження, випробування та контроль продукції в різних галузях народного господарства.

1.4.6. ФІЗИЧНА ВЕЛИЧИНА

Фізична величина – це властивість, загальна для багатьох фізичних об'єктів у кількісному відношенні та індивідуальна для будь-якого об'єкта.

Розмір величини існує реально. Числове значення при застосуванні іншої одиниці змінюється, а розмір залишається незмінним. *Дійсне значення величини* – це числове значення, що виражає дійсний розмір величини у конкретних одиницях вимірювання.

Виміряне значення – це числове значення, одержане внаслідок вимірювання; воно наближено відповідає дійсному розміру, ступінь наближення залежить від точності, методу та засобів вимірювання.

Єдність вимірювань – характеристика якості вимірювань, коли їх результати виражаються в регламентованих одиницях, а похибки результатів не виходять за встановлені межі.

Вимоги до єдності вимірювань: результати вимірювань виражаються в одиницях Міжнародної системи (СІ); для СІ встановлені певні (нормовані) метрологічні характеристики: основні – метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, кандела, моль; додаткові – радіан, стерадіан.

1.4.7. КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЮ

Засоби вимірювань – технічні засоби, що використовуються під час вимірювання і мають нормовані метрологічні характеристики.

За конструкцією і характером використання засоби вимірювання поділяють на міри фізичних величин, вимірювальні перетворювачі.

Міри фізичних величин – призначені для відтворення та зберігання фізичної величини одного або кількох заданих розмірів.

Вимірювальні перетворювачі – засоби вимірювань, які служать для перетворення вимірюваної величини в іншу величину або сигнал вимірюваної інформації, які зручні для обробки, зберігання, подальших перетворень.

За характером перетворень розрізняють перетворювачі: аналогові (АП); цифро-аналогові (ЦАП); аналогово-цифрові (АЦП).

За місцем у вимірювальному ланцюгу перетворювачі існують первинні та проміжні.

Вимірювальний прилад – засіб вимірювання, який призначений для отримання значень вимірюваної фізичної величини у встановленому діапазоні. За ступенем індикації значень вимірюваної величини вимірювальні прилади поділяють на: *показувальні* – допускають тільки відлік показів вимірюваної величини; *реєструючі* – реєструють покази у вигляді діаграм шляхом друкування діаграм.

Вимірювальна установка – сукупність функційно об'єднаних мір, вимірювальних приладів, вимірювальних перетворювачів однієї або кількох фізичних величин, які розміщені в одному приміщенні. Вимірювальну установку, призначену для випробувань будь-яких виробів, називають випробувальним стендом.

1.4.8. ОСНОВНІ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

Метрологічні характеристики є показниками якості та технічного рівня всіх без винятку засобів вимірювань. Їх розрізняють залежно від умов застосування засобів вимірювання: для нормальних умов, для робочих умов.

Характеристики для визначення показів засобів вимірювання:

– функція перетворення вимірювального перетворювача;

– значення однозначної або багатозначної міри;

– ціна поділок шкали вимірювального приладу або багатозначної міри;

– вид вихідного коду;

– число розрядів кодів;

– ціна одиниці найменшого розряду коду засобів вимірювань, що призначені для видачі результатів у цифровому коді.

Характеристики точності та правильності показів: точність показів визначається середньоквадратичним відхилом або його аналогом. Правильність показів забезпечується внесенням поправки, яку встановлюють під час метрологічної атестації засобів вимірювання.

Характеристики чутливості засобів вимірювання до впливових величин, серед яких функції впливу на облік змін метрологічних характеристик засобів вимірювання у встановлених межах.

Динамічні характеристики засобів вимірювання свідчать про їх інерційні властивості.

Характеристики взаємодії між об'єктами або приладами на вході та виході засобів вимірювання. Наприклад, вхідні та вихідні характеристики вимірювального перетворювача.

Неінформативні параметри вихідного сигналу, що забезпечують нормальну роботу пристроїв, підключають до засобу вимірювання. Наприклад, для визначення напруги до виходу перетворювача підключають частотомір.

Основними метрологічними характеристиками є: діапазон вимірювань, поріг чутливості, різні складові похибки засобів вимірювань.

1.4.9. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ

Методом вимірювання називається сукупність засобів і принципів, що використовуються при вимірюваннях будь-якої величини.

Абсолютним називають метод вимірювання, при якому по шкалі одразу читаємо абсолютне значення вимірюваного розміру, наприклад вимірювання штангенциркулем.

При *відносному* методі вимірювання визначають тільки відхилення значення вимірюваної величини від встановленої міри, наприклад визначення розміру деталі за допомогою індикатора, налагодженого за кінцевими вимірами довжини.

Прямим методом вимірювання називають такий, при якому значення вимірюваної величини встановлюють безпосередньо за показами приладу. Наприклад, вимірювання діаметра циліндричної деталі.

Побічним методом вимірювання користуються, коли неможливо або дуже складно виміряти безпосередньо значення шуканої величини, а тому її визначають за результатами вимірювань інших величин. Наприклад, довжину кола простіше визначити, вимірявши діаметр і через нього зробити розрахунки.

Контактним називають метод вимірювання, при якому вимірювальні поверхні приладу або інструмента безпосередньо дотикаються до поверхні вимірюваної деталі.

При *безконтактному* методі вимірювання інструмент не торкається поверхні вимірюваної деталі. Наприклад, вимірювання оптичним і пневматичним приладами.

Диференційований (поелементний) метод вимірювання або контролю полягає в незалежній перевірці кожного елемента деталі окремо. Наприклад, визначення зовнішнього та внутрішнього діаметрів різі або ширини шліца в шліцьових з'єднаннях. За результатами таких вимірювань визначають придатність деталі чи її непридатність.

Комплексний метод вимірювання або контролю здійснюють спеціальними приладами або калібрами, які дають змогу одразу зробити висновок про придатність деталі за всіма або кількома параметрами. Наприклад, контроль шліцьовими пробками та кільцями шліцьового вала чи шліцьової втулки.

Контрольні запитання та завдання

1. Дайте визначення метрології та її основних термінів.
2. Що таке єдність і точність вимірювання?
3. Назвіть основні одиниці системи СІ.
4. Чим займається Міжнародна організаця мір і ваг?
5. Які функції Міжнародної організації законодавчої метрології?
6. Чим займається Міжнародне бюро мір і ваг?
7. Яка роль функції вимірювання для народного господарства?
8. Як класифікують способи вимірювання?
9. Перелічіть види засобів вимірювання.
10. Які методи вимірювання ви знаєте?
11. Опишіть метрологічні характеристики засобів вимірювання.
12. Сформулюйте поняття фізичної величини.
13. Сформулюйте назви методів вимірювання.

1.5. ОСНОВИ ВЗАЄМОЗАМІННОСТІ

1.5.1. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ТА ЇЇ ВИДИ

Взаємозамінністю виробів (машин, приладів, механізмів тощо), їх частин або інших видів продукції називають їх властивість рівноцінно замінювати при використанні будь-який з сукупності окремих виробів, їх частин або іншої продукції однотипним примірником [23]. Розрізняють такі види взаємозамінності.

Найбільш поширеною є *повна взаємозамінність*. Вона забезпечує можливість складання без додаткового припасування (чи заміни при ремонті) будь-яких незалежно виготовлених із заданою точністю однотипних деталей у складальні одиниці, а останніх – у вироби, дотримуючись технічних вимог за всіма параметрами якості до складальних одиниць і виробів. Повна взаємозамінність можлива тоді, коли розміри, форма, механічні, електричні, інші кількісні та якісні характеристики деталей і складальних одиниць перебувають у заданих межах, а зібрані вироби задовольняють технічні вимоги. Крім цього, для забезпечення взаємозамінності необхідно встановлювати оптимальні номінальні значення параметрів деталей та складальних одиниць, дотримуючись вимог до матеріалів деталей, технології їх виготовлення тощо.

Комплекс науково-технічних вихідних положень, виконання яких при конструюванні, виробництві та експлуатації забезпечує взаємозамінність деталей, складальних одиниць і виробів, називають *принципом взаємозамінності*.

Повну взаємозамінність економічно й доцільно використовувати для деталей, виготовлених з допусками квалітетів не вище шостого, та одиниць, що складаються з невеликої кількості деталей, а також у випадках неухильного дотримання зазорів або натягів у частинах виробів.

Поряд з повною взаємозамінністю допускається *обмежена*, чи *неповна, взаємозамінність*. Відома також *групова взаємозамінність*, для якої певна кількість деталей вузла (виробу) не взаємозамінюється. Наприклад, спрацьовані кульки підшипника не замінюються. При *груповій взаємозамінності* виготовлені

деталі сортують за розмірами на кілька груп, далі складають деталі однойменних (одномірних) груп (селективне складання). Таке складання підвищує точність з'єднання.

До неповної взаємозамінності відносять також:

– складання на основі ймовірнісних розрахунків;

– складання з регулюванням положення чи розмірів окремих деталей виробу;

– складання з припасуванням однієї зі зібраних деталей.

Зовнішня взаємозамінність – це взаємозамінність куплених і кооперованих виробів, що монтуються в інші більш складні зі складальних одиниць за експлуатаційними показниками, за розмірами та формою приєднувальних поверхонь. Наприклад, в електродвигунах зовнішню взаємозамінність забезпечують за частотою обертання вала та потужністю, за розмірами приєднувальних поверхонь; в підшипниках кочення – за зовнішнім діаметром зовнішнього кільця, внутрішнім діаметром внутрішнього кільця.

Внутрішня взаємозамінність поширюється на деталі, складальні одиниці та механізми, які входять до виробу. Така взаємозамінність забезпечує високу якість виробу, знижує його собівартість, а також сприяє при цьому використанню прогресивної технології та вимірювальної техніки.

Взаємозамінне виробництво в металообробній промисловості вперше було введено в 1761 р. на Тульському та Іжевському заводах при масовому виготовленні гвинтівок. Взаємозамінність базується на стандартизації, нормативно-технічним документом якої є стандарт.

Нормування допусків та посадок здійснюється за двома системами стандартів:

1. "Єдиною системою допусків та посадок"(ЄСДП) – ДСТУ 2500–94 [36], яка поширюється на: допуски розмірів гладких елементів деталей; посадки, що утворюються при з'єднанні цих деталей;

2. "Основними нормами взаємозамінності" (ОНВ), що встановлюють допуски та посадки, наприклад, на: шпонкові та шліцьові з'єднання; нарізні з'єднання; зубчасті колеса та передачі тощо.

Допуски та посадки повинні бути зазначені в технічній документації (кресленику, що містить зображення виробу та

необхідні для його контролю й виготовлення відомості). Найбільшої ефективності взаємозамінності досягають за принципом функціональної взаємозамінності. Для практичного здійснення цього принципу необхідна чітка система конструкторської, технологічної, метрологічної та експлуатаційної документації.

Забезпечення взаємозамінності машин і інших виробів за оптимальними експлуатаційними показниками є основним принципом у машинобудуванні. Взаємозамінність, при якій забезпечується працездатність виробів з оптимальними та стабільними (в заданих межах) у часі показниками якості функціонування складальних одиниць виробу, називають *функціональною*. Функціональними є геометричні, електричні, механічні та інші параметри, що впливають на експлуатаційні показники машин і інших виробів або службові функції складальних одиниць. Наприклад, від зазору між поршнем і циліндром (функціонального параметра) залежить потужність двигунів (експлуатаційний показник), а в поршневих компресорах – масова та об'ємна продуктивність. Ці параметри названі функціональними, щоб підкреслити їх зв'язок зі службовими функціями складальних одиниць і економічних показників виробу. Зв'язок їх з експлуатаційними показниками може бути як функціональним, так і випадковим.

Функціональна взаємозамінність – це взаємозамінність складальних одиниць за експлуатаційними показниками функціонування (потужності, крутного моменту, кількості обертів за секунду).

Забезпечення функціональної взаємозамінності особливо наочні на прикладі виробів при безвідходній технології, де не тільки суттєво економляться матеріали, а й різко підвищуються продуктивність праці та якість продукції.

1.5.2. РЯДИ ПЕРЕВАЖНИХ ЧИСЕЛ

Встановлення рядів переважних чисел зменшує номенклатуру розмірів складальних одиниць, вузлів, механізмів, машин і сприяє ефективній спеціалізації та кооперації заводів. Ряди переважних чисел будуються за геометричною прогресією, якою є ряд чисел з постійним відношенням двох

сусідніх чисел (знаменник прогресії q). Кожен член ряду є добутком попереднього члена на q. Відповідно до рекомендацій Міжнародної організації зі стандартів ISO встановлено чотири основні ряди переважних чисел за ГОСТ 8032–84 [67]:

$$q = \sqrt[5]{10} \approx 1,6 - \text{ряд } R5; q = \sqrt[10]{10} \approx 1,25 - \text{ряд } R10;$$

$$q = \sqrt[20]{10} \approx 1,12 - \text{ряд } R20; q = \sqrt[40]{10} \approx 1,06 - \text{ряд } R40.$$

У деяких випадках допускається додатковий ряд $R80$ зі знаменником $q = \sqrt[80]{10} \approx 1,03$.

При встановленні параметрів складальних одиниць, вузлів, механізмів, машин конструктору слід віддавати перевагу ряду $R5$ перед рядами $R10$, $R20$, $R40$. Ряд $R10$ має перевагу перед рядами $R20$, $R40$. Ряд $R20$ має перевагу перед рядом $R40$.

1.5.3. ВИДИ РОЗМІРІВ

Номінальний розмір – це ідеалізований розмір, визначений внаслідок розрахунку конструктивного елемента на міцність і жорсткість з урахуванням технологічних особливостей. Цей розмір слугує початком відліку граничних відхилів. Для з'єднання номінальний розмір є спільним. При позначенні номінальних розмірів не використовують ні верхніх, ні нижніх індексів, наприклад, D, d, l.

Дійсний розмір – це розмір, визначений на основі вимірювань з допустимою похибкою. Цей термін введений тому, що неможливо виготовити деталь з абсолютно точними номінальними розмірами, а також виміряти їх без внесення похибки.

Граничні розміри – це два гранично допустимі розміри, між якими розташовується дійсний розмір придатної деталі. Позначають граничні розміри так: d_{min}, d_{max} – для вала; D_{min}, D_{max} – для отвору.

Складальний розмір – це ідеалізований розмір, який наносять на пару деталей (спряження вал–втулка) у випадку конструювання вузла, механізму виробу, і він же є спільним для пари деталей. При позначенні складального розміру для з'єднання в чисельнику записують посадку з квалітетом точності на отвір, а в знаменнику – посадку з квалітетом точності на вал. Наприклад: $\varnothing 20\ H7/g6$; $\varnothing 50\ R8/h7$; $\varnothing 1000\ H12/s10$.

Габаритні розміри – це розміри, які наносять на вузол чи виріб у трьох його вимірах (довжина, ширина і висота – $a \times в \times h$).

Монтажні розміри – це ідеалізовані розміри, які наносять на кресленнях при монтажі виробу на фундамент (отвори під анкерні болти). Наприклад, металорізальні верстати, установки, машини тощо.

1.5.4. ГРАНИЧНІ ВІДХИЛИ. ДОПУСК РОЗМІРУ. НУЛЬОВА ЛІНІЯ

Для спрощення позначень розмірів на кресленнях введені граничні відхили від номінального розміру.

Верхній граничний відхил – це алгебраїчна різниця між найбільшим граничним і номінальним розмірами:

$$ES = D_{\max} - D,\ es = d_{\max} - d. \qquad (1.6)$$

Позначення: ES – для отвору, es – для вала.

Нижній граничний відхил – це алгебраїчна різниця між найменшим граничним і номінальним розмірами:

$$EI = D_{\min} - D,\ ei = d_{\min} - d. \qquad (1.7)$$

Позначення: EI – для отвору, ei – для вала.

Допуск розміру – це різниця між найбільшим і найменшим граничними розмірами, або алгебраїчна різниця між верхнім і нижнім граничними відхилами:

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI; \qquad (1.8)$$

$$T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei. \qquad (1.9)$$

Загалом допуск розміру визначають за такою формулою:

$$T = T_D + T_d,$$

де T_D – поле допуску для отвору; T_d – поле допуску для вала; T – від латинського слова *Tolerance* (прийнятний, допустимий). Допуск розміру – завжди додатна величина.

Нульова лінія – це лінія, що відповідає номінальному розміру і від якої відкладають граничні відхили розмірів при графічному зображенні допусків і посадок. Якщо нульова лінія розташована горизонтально, то додатні відхили відкладають вгору від нульової лінії, а від'ємні – вниз. Схематичне зображення розмірів, граничних відхилів і розмірів деталей (втулки, вала) представлені на рис. 1.1.

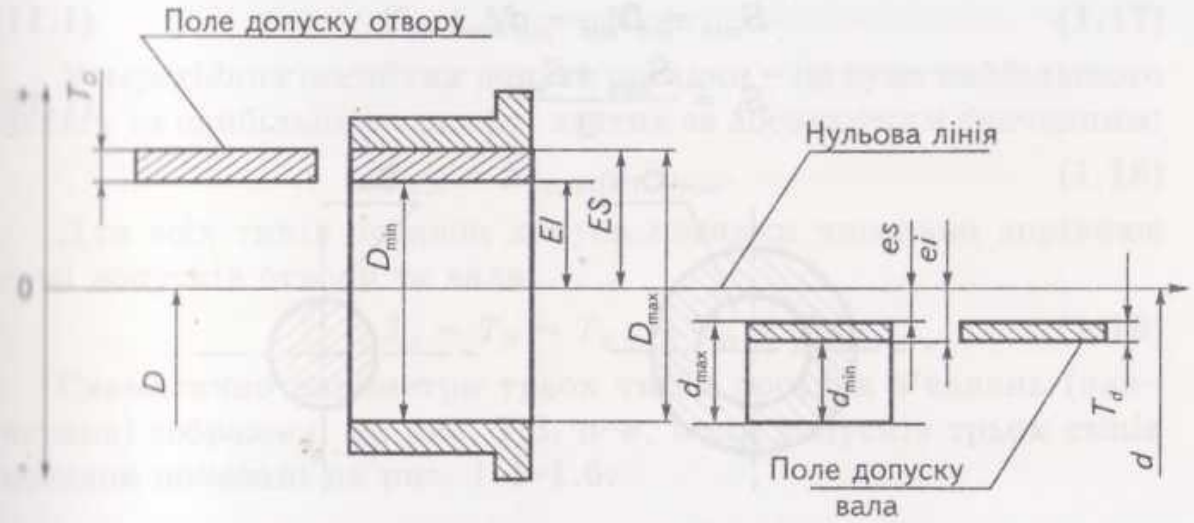


Рис. 1.1. Інтерпретація розмірів, граничних відхилів, допусків розмірів і нульової лінії

1.5.5. ПОНЯТТЯ ВАЛА ТА ОТВОРУ. ОСНОВНІ ВАЛ І ОТВІР

Дві чи декілька рухомо або нерухомо з'єднаних деталей називають спряженими по поверхнях, одна з яких є охоплюючою, а друга – охоплюваною.

Вал – це термін, що застосовується для позначення зовнішніх охоплюваних поверхонь деталей.

Отвір – це внутрішня охоплююча поверхня деталей, наприклад, типу втулок.

Основний вал – це вал, у якого верхній граничний відхил дорівнює нулю ($es = 0$).

Основний отвір – це отвір, у якого нижній граничний відхил дорівнює нулю ($EI = 0$).

1.5.6. ПОСАДКА З'ЄДНАННЯ. ВИДИ І ДОПУСКИ ПОСАДОК

Посадка – це характер з'єднання деталей, що визначається величиною отримуваних зазорів чи натягів. Деякі деталі із зовнішніми та внутрішніми поверхнями зображені на рис.1.2.

Зазор – це різниця розмірів отвору та вала, якщо розмір отвору більший. Зазор забезпечує можливість відносного зміщення складальних одиниць. Його позначають літерою S, він характеризується такими параметрами:

$$S_{max} = D_{max} - d_{min}; \qquad (1.10)$$

$$S_{min} = D_{min} - d_{max}; \quad (1.11)$$

$$S_c = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}. \quad (1.12)$$

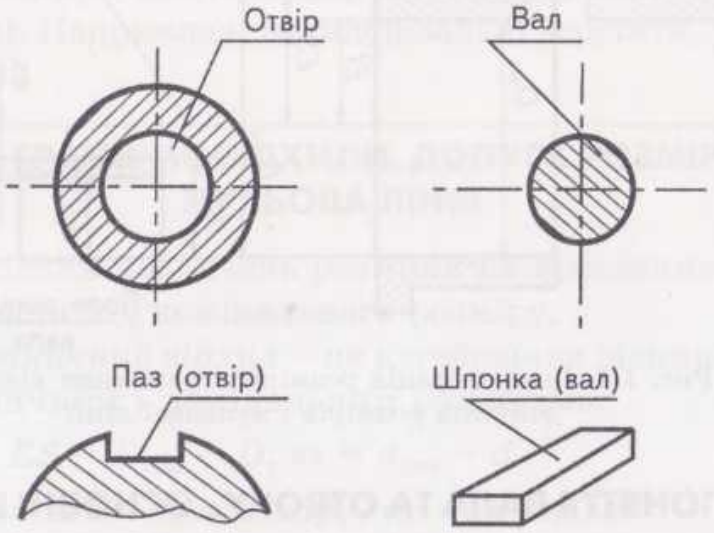


Рис. 1.2. Схемна інтерпретація понять "вал" і "отвір"

Натяг – це різниця розмірів вала та отвору, якщо розмір вала більший. Натяг забезпечує взаємну нерухомість складальних одиниць. Натяг позначають літерою N, він характеризується такими параметрами:

$$N_{max} = d_{max} - D_{min}; \quad (1.13)$$

$$N_{min} = d_{min} - D_{max}; \quad (1.14)$$

$$N_c = \frac{N_{max} + N_{min}}{2}. \quad (1.15)$$

Посадка з зазором – це посадка, при якій забезпечується зазор у з'єднанні, для якої $S > 0$. До посадок з зазором належать також посадки, для яких $S = 0$.

Посадка з натягом – це посадка, при якій забезпечується натяг у з'єднанні, для якої $N > 0$.

Перехідна посадка – це посадка, при якій можливо отримати і зазор, і натяг, тобто S і $N > 0$.

Допуск посадки – це різниця між найбільшим і найменшим допустимими зазорами (якщо це посадка з зазором) або найбільшим і найменшим допустимими натягами (якщо це посадка з натягом):

$$T_s = S_{max} - S_{min}; \quad (1.16)$$

$$T_N = N_{\max} - N_{\min}. \qquad (1.17)$$

У *перехідних посадках* допуск посадки – це сума найбільшого натягу та найбільшого зазору, взятих за абсолютним значенням:

$$T_{S,N} = N_{\max} + S_{\max}. \qquad (1.18)$$

Для всіх типів посадок допуск посадки чисельно дорівнює сумі допусків отвору та вала:

$$T_S = T_N = T_{S,N} = T_D + T_d. \qquad (1.19)$$

Схематично параметри трьох типів посадок з'єднань (вал–втулка) зображені на рис. 1.3, *а–в*, поля допусків трьох типів посадок показані на рис. 1.4–1.6.

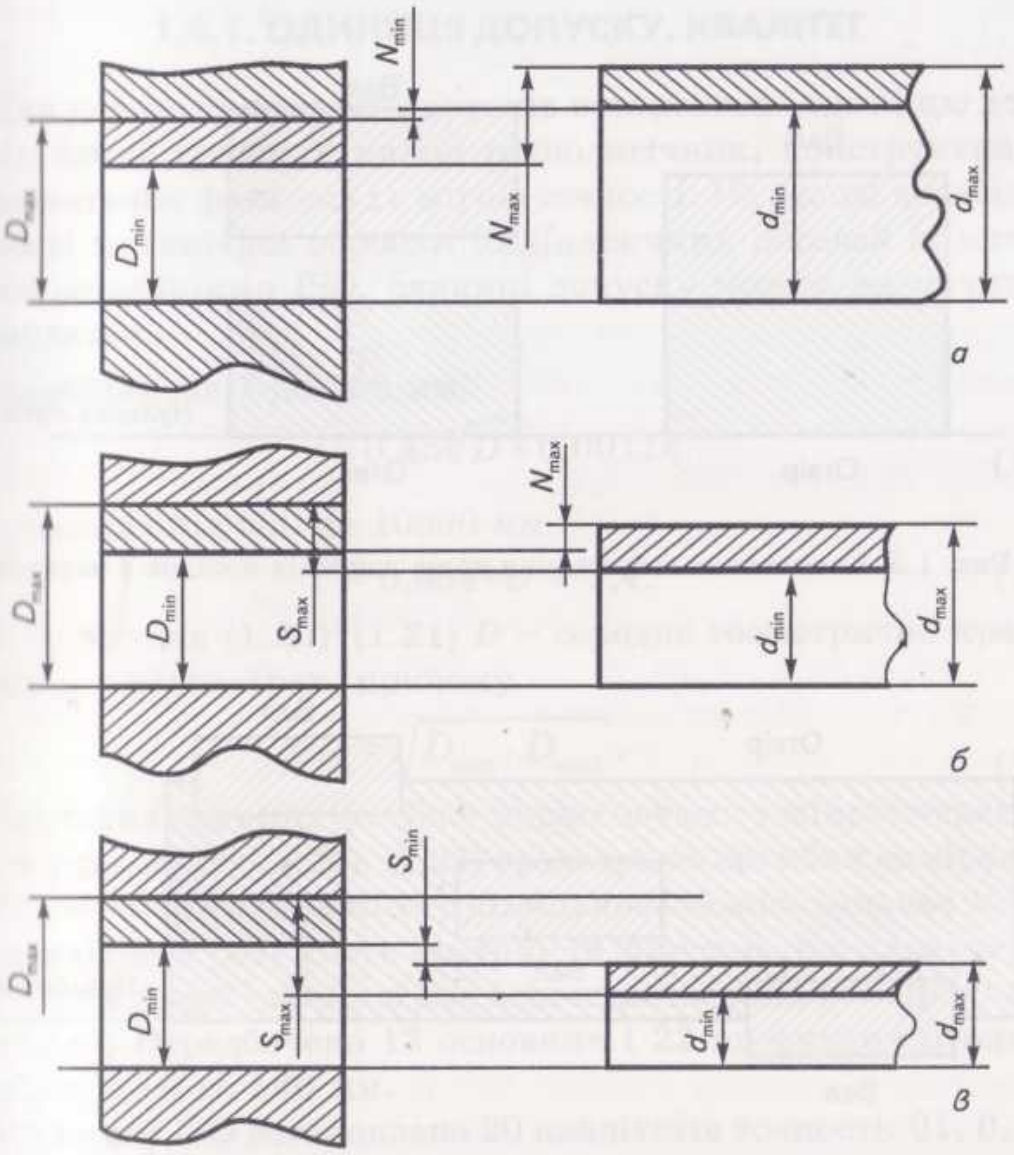


Рис. 1.3. Основні параметри та характеристики з'єднань

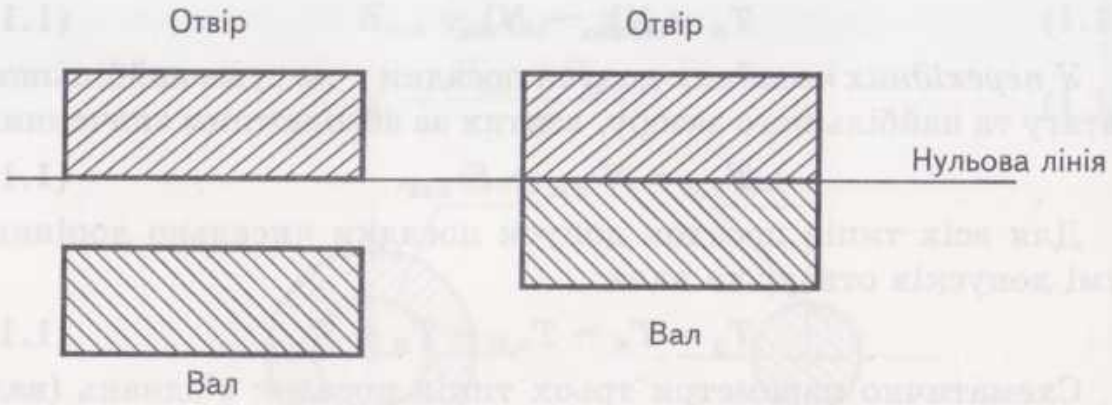


Рис. 1.4. Схематичне зображення полів допусків посадок із зазором

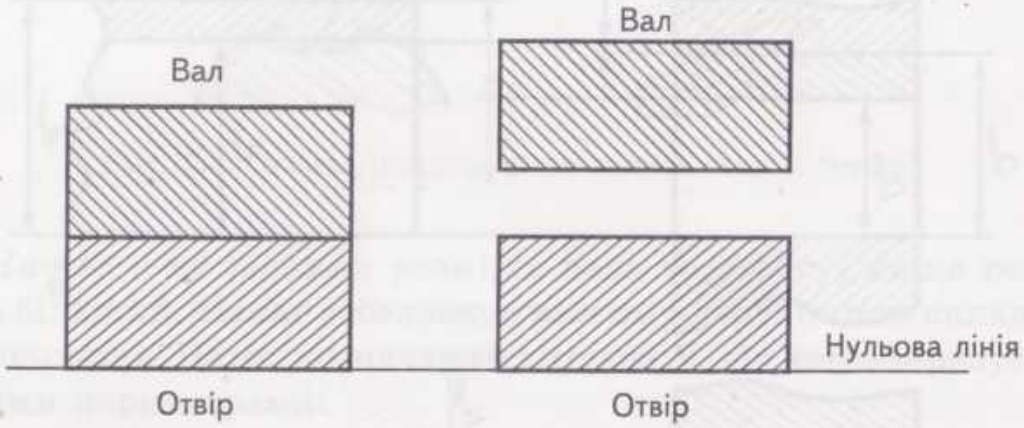


Рис. 1.5. Схематичне зображення полів допусків посадок з натягом

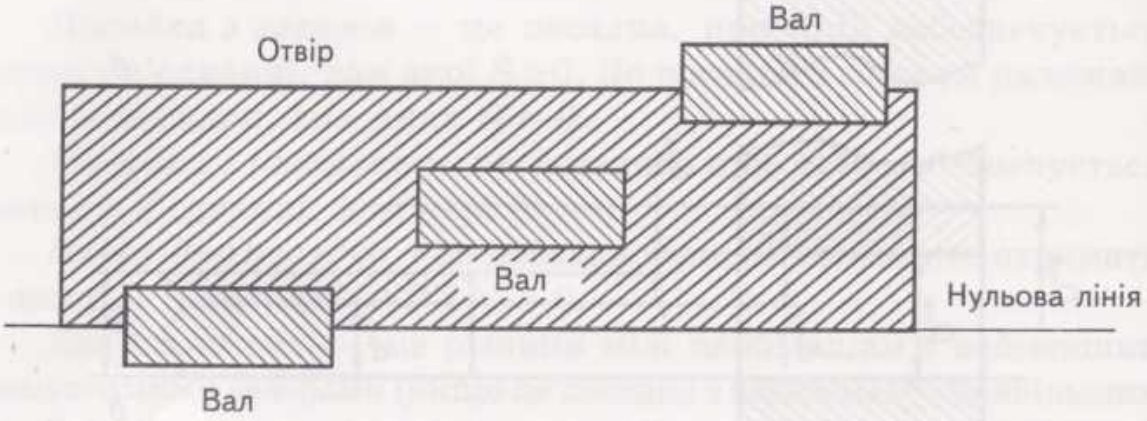


Рис. 1.6. Схематичне зображення полів допусків перехідних посадок

Контрольні запитання та завдання

1. Перелічіть ряди переважних чисел.
2. Які види взаємозамінності ви знаєте?
3. Що таке граничні відхили, допуск розміру, нульова лінія?
4. Охарактеризуйте поняття вала і отвору.
5. Що таке основний вал, основний отвір?
6. Які види посадок ви знаєте і що таке допуск посадки?
7. Як можна розташовувати посадки відносно нульової лінії?

1.6. УТВОРЕННЯ ПОСАДОК У СИСТЕМІ ISO

1.6.1. ОДИНИЦЯ ДОПУСКУ. КВАЛІТЕТ

Для побудови системи допусків встановлено одиницю допуску (i), котра враховує вплив технологічних, конструктивних, метрологічних факторів і є мірою точності. На основі досліджень точності механічної обробки циліндричних деталей із металу, за рекомендаціями ISO, одиниці допуску можна визначити за формулами:

для розмірів від 1 до 500 мм

$$i = 0{,}45\sqrt[3]{D} + 0{,}001D; \qquad (1.20)$$

для розмірів від 500 до 10000 мм

$$i = 0{,}004 \cdot D + 2{,}1. \qquad (1.21)$$

У формулах (1.20)–(1.21) D – середнє геометричне крайніх розмірів у міліметрах, причому

$$D = \sqrt{D_{\min} \cdot D_{\max}}. \qquad (1.22)$$

Значення одиниць допуску підраховують у мікрометрах. Доданки у формулах (1.20), (1.21) враховують похибки вимірювань.

Слово квалітет (*qualitat*) німецькою мовою означає якість. Під квалітетом розуміють сукупність допусків, що характеризуються постійною точністю для всіх номінальних розмірів даного інтервалу. Передбачено 13 основних і 22 проектних інтервали розмірів від 0 до 500 мм.

У системі ISO встановлено 20 квалітетів точності: 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18. Квалітети 01,

0 – найточніші, введені перед квалітетом 1. Позначають квалітет двома буквами *IT* (від слів *ISO* і *Tolerance*). Таким чином, повне позначення квалітетів матиме такий вигляд: *IT*01,..., *IT*17. Квалітети *IT*0, ..., *IT*5 використовують у приладобудуванні; *IT*6, ..., *IT*10 – в машинобудуванні; *IT*11, ..., *IT*18 – в сільськогосподарському машинобудуванні. Квалітет визначає допуск на виготовлення деталі, причому

$$T = a \cdot i, \qquad (1.23)$$

де a – число одиниць допуску, яке залежить від квалітету й не залежить від номінального розміру (a = 7,10, 16, ..., 1000, 1600), i – одиниця допуску у мікрометрах.

Числа одиниць допуску "a" для двадцяти квалітетів точності 01, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, згідно з ДСТУ 2500–94, мають такі значення 1; 1,4; 2; 2,7; 3,7; 5; 7; 10; 16; 25; 40; 64; 100; 160; 250; 400; 640; 1000; 1600; 2500.

1.6.2. ОСНОВНІ ВІДХИЛИ

Основний відхил – це один із двох граничних відхилів (верхній чи нижній), що розміщений ближче до нульової лінії. Кожен з основних відхилів визначає положення поля допуску відносно нульової лінії. Значення другого граничного відхилу залежить від допуску розміру. Основні відхили стандартизовані й позначаються латинськими літерами, причому малі літери використовують для валів, а великі – для отворів. Крім цього, від A до H (a до k) – для посадок з зазором; від JS_s до N (js_s до n) – для перехідних посадок; від P до ZC (p до zc) – для посадок з натягом. Літерами JS_s, js_s позначають симетричне розташування поля допуску відносно нульової лінії. Основою при побудові допусків і посадок для гладких циліндричних з'єднань є єдина для всіх країн світу система ISO, яка містить 28 рядів основних відхилів допусків та посадок для отворів і валів та назви стандартів ДСТУ ISO 286-1–2002; 286-2–2002 [34; 35] відповідно.

Основні відхили в системі ISO посадок для отворів і валів зображено на рис. 1.7; відхили полів допусків для цих посадок зображені на рис. 1.8 та показані у дод. А, ч. 1 і 2 відповідно.

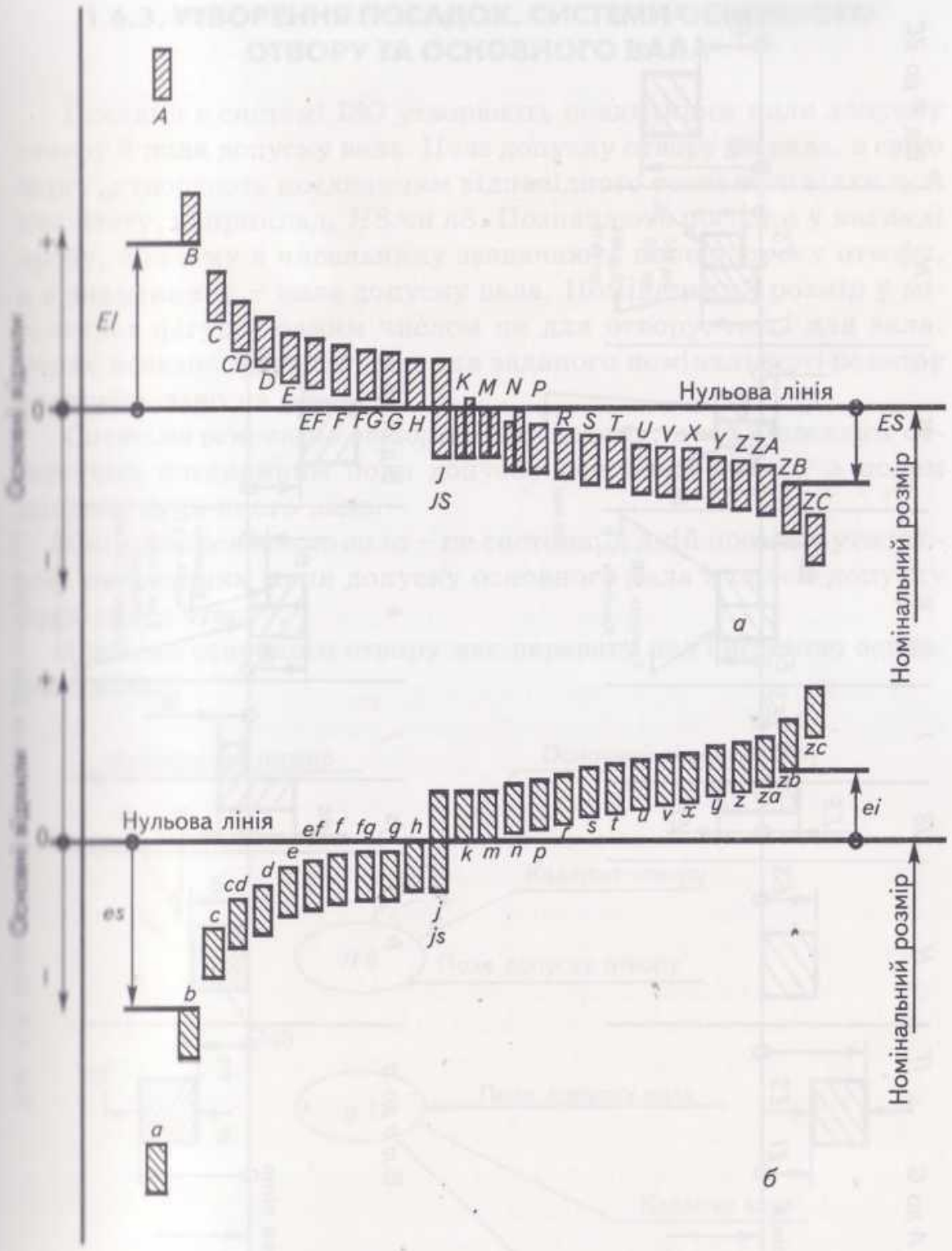


Рис. 1.7. Основні ряди відхилів у системі ISO:
а – отвори (внутрішні поверхні); *б* – вали (зовнішні поверхні)

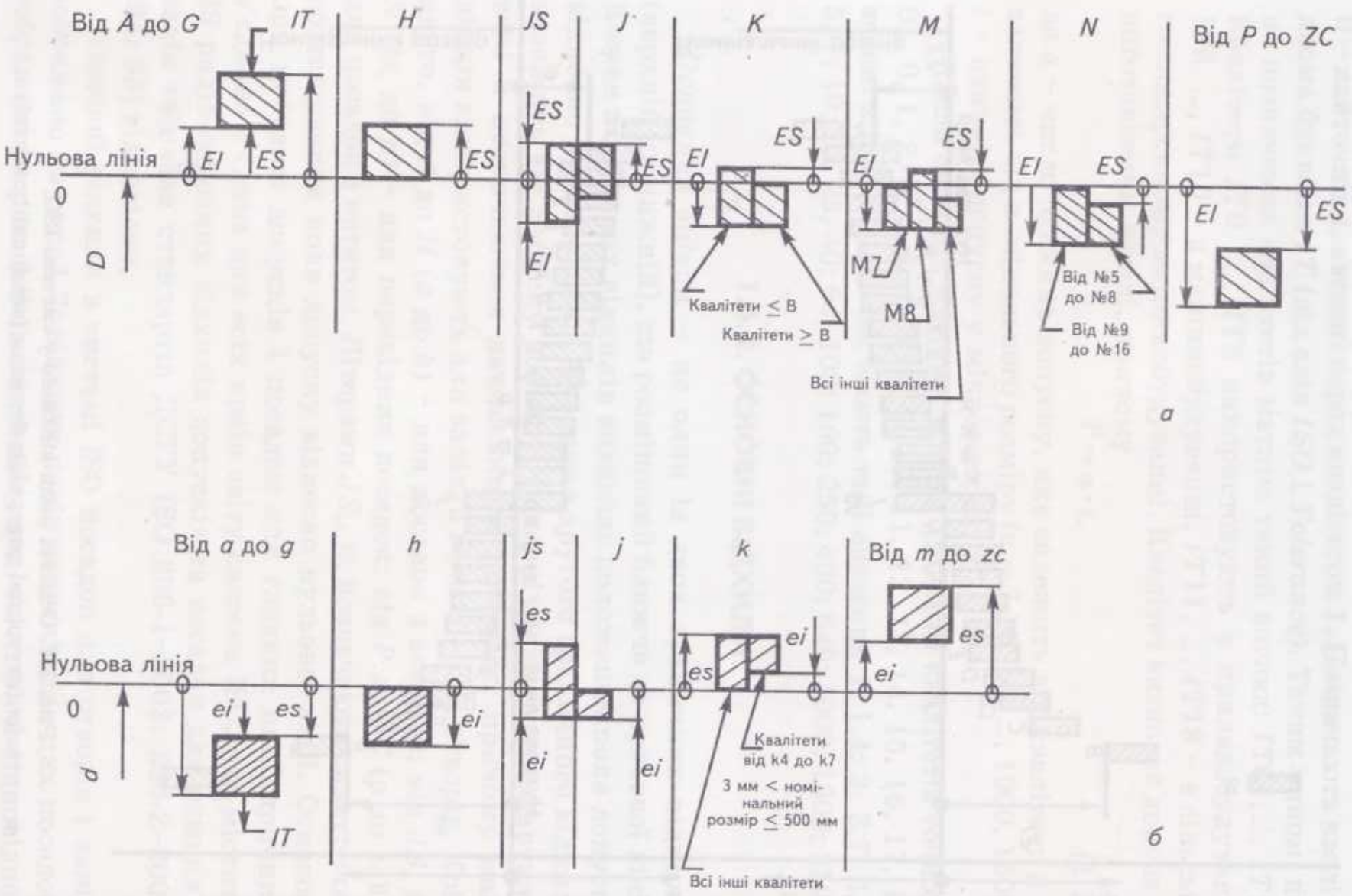


Рис. 1.8. Відхили полів допусків для отворів (*а*) і валів (*б*)

1.6.3. УТВОРЕННЯ ПОСАДОК. СИСТЕМИ ОСНОВНОГО ОТВОРУ ТА ОСНОВНОГО ВАЛА

Посадки в системі ISO утворюють поєднанням поля допуску отвору й поля допуску вала. Поле допуску отвору чи вала, в свою чергу, утворюють поєднанням відповідного основного відхилу й квалітету, наприклад, *H*8 чи *h*8. Позначають посадки у вигляді дробу, причому в чисельнику зазначають поле допуску отвору, а в знаменнику – поле допуску вала. Номінальний розмір у міліметрах фігурує одним числом як для отвору, так і для вала. Запис посадок на отвір і вал для заданого номінального розміру розшифровано на рис. 1.9.

Система основного отвору – це система, в якій посадки отримують поєднанням поля допуску основного отвору з полем допуску будь-якого вала.

Система основного вала – це система, в якій посадки утворюють поєднанням поля допуску основного вала з полем допуску будь-якого отвору.

Система основного отвору має перевагу над системою основного вала.

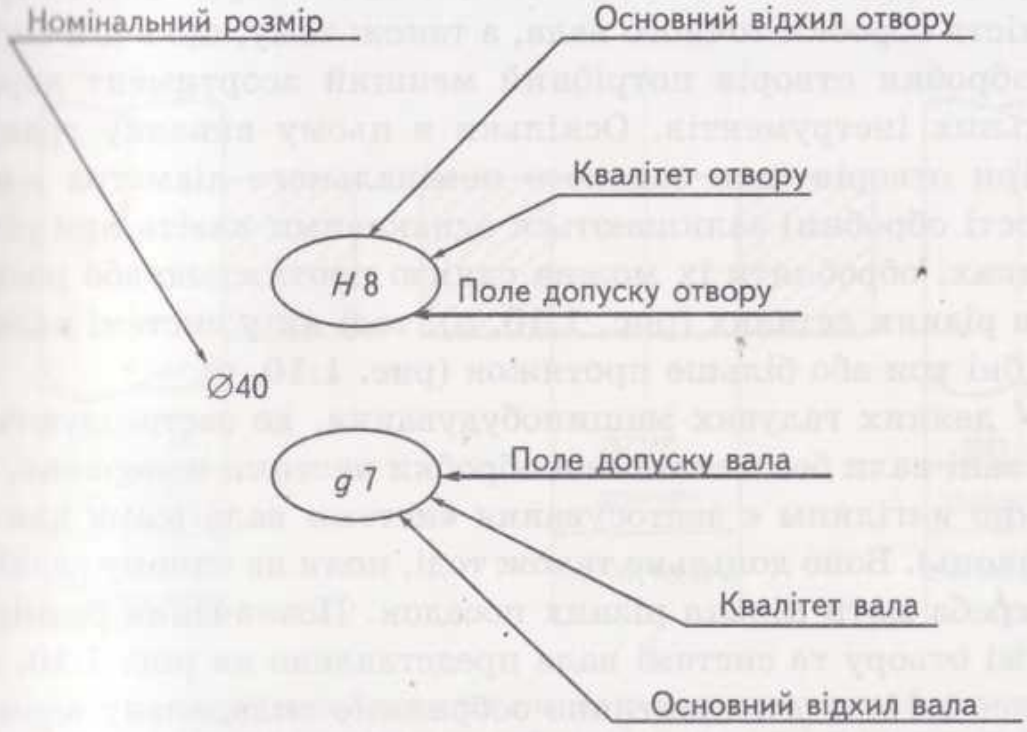


Рис. 1. 9. Позначення посадки ∅40 *H*8/*g*7

Приклади визначення виду та системності посадок:

$\varnothing 40\frac{H8}{g7}$ – посадка з зазором у системі основного отвору;

$\varnothing 40\frac{F8}{h7}$ – посадка з зазором у системі основного вала;

$\varnothing 40\frac{H8}{h7}$ – посадка з зазором ($S_{min} = 0$) у системах основного отвору і основного вала;

$\varnothing 40\frac{H8}{h7}$ – безсистемна посадка з натягом;

$\varnothing 40\frac{JS8}{k7}$ – перехідна безсистемна посадка.

Отже, можна стверджувати, що посадка – це характер з'єднання двох деталей. Воно може бути рухоме або нерухоме.

Найбільшого поширення набули посадки в системі отвору тому, що трудомісткість обробки точного отвору вища за трудомісткість обробки точного вала, а також тому, що в цій системі для обробки отворів потрібний менший асортимент дорогих різальних інструментів. Оскільки в цьому випадку граничні розміри отворів (для заданого номінального діаметра і даної точності обробки) залишаються однаковими навіть при різних посадках, обробляти їх можна однією протяжкою або розверткою в різних деталях (рис. 1.10, *а*), тоді як у системі вала тут потрібні три або більше протяжок (рис. 1.10, *б*).

У деяких галузях машинобудування, де застосовують калібровані вали без механічної обробки частини поверхонь, економічно вигідним є застосування системи вала (саме для цих поверхонь). Воно доцільне також тоді, коли на одному гладкому валі треба мати кілька різних посадок. Позначення розмірів у системі отвору та системі вала представлено на рис. 1.10, *а*, *б*. На рис. 1.11, *а–в* схематично зображено складальну одиницю (вал–втулка) та її деталі.

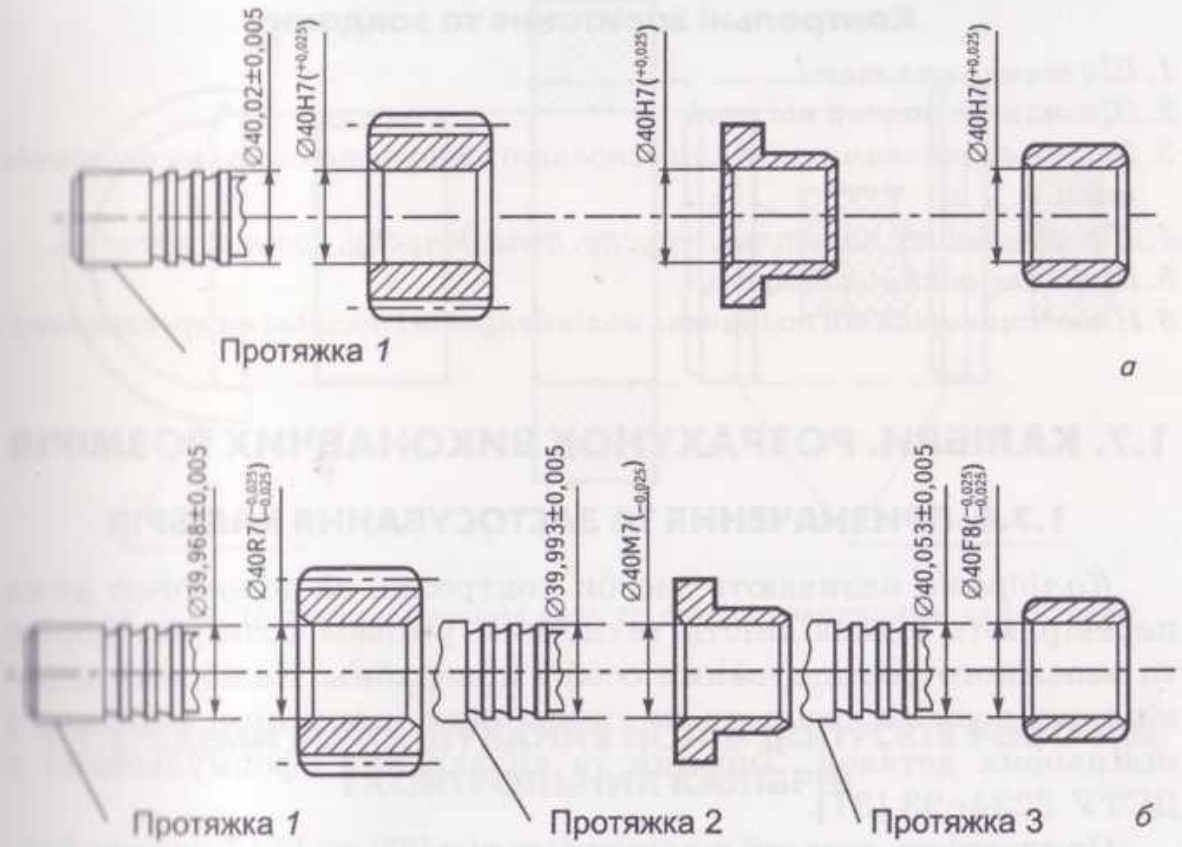


Рис. 1.10. Кількість типорозмірів протяжок при обробці отворів: *а* – у системі отвору – одна; *б* – у системі вала – три.

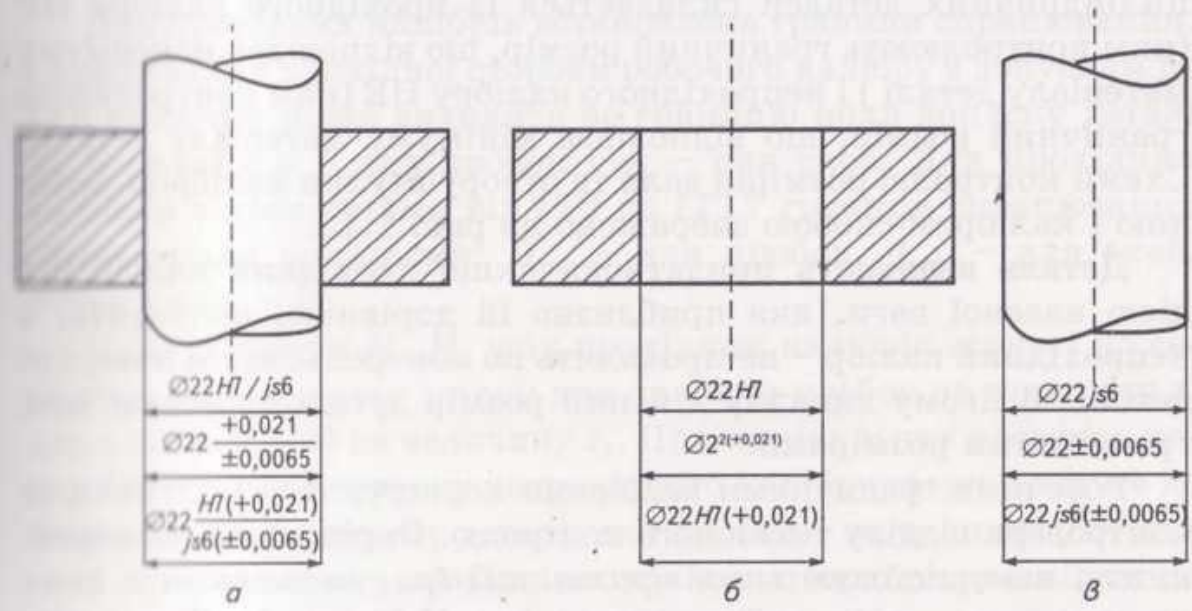


Рис. 1.11. Схематичне зображення гладкого циліндричного з'єднання: *а* – ескіз вала і втулки (складальна одиниця); *б*, *в* – ескізи втулки та вала відповідно

Контрольні запитання та завдання

1. *Що таке квалітет?*
2. *Що таке основний відхил?*
3. *Дайте визначення системи основного отвору та системи основного вала.*
4. *Сформулюйте поняття допуску, поля допуску, допуску посадки.*
5. *Що таке одиниця допуску?*
6. *Наведіть варіанти позначень полів допусків і посадок на кресленнях.*

1.7. КАЛІБРИ. РОЗРАХУНОК ВИКОНАВЧИХ РОЗМІРІВ

1.7.1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ КАЛІБРІВ

Калібрами називають засоби контролю, за допомогою яких перевіряють відповідність технічним умовам розмірів, форми та взаємного розташування осей і поверхонь. Калібрами перевіряють розміри гладких циліндричних, конусних, нарізних і шліцьових деталей. Терміни та визначення сформульовано у ДСТУ 2234–93 [37].

Придатність деталей з допусками від *IT*6 до *IT*17 на виробництві найчастіше контролюють *граничними калібрами*. Комплект робочих граничних калібрів для контролю розмірів гладких циліндричних деталей складається із прохідного калібру ПР (ним контролюють граничний розмір, що відповідає максимуму матеріалу деталі) і непрохідного калібру НЕ (ним контролюють граничний розмір, що відповідає мінімуму матеріалу деталі). Схеми контролю розмірів вала та отвору втулки калібром-пробкою і калібром-скобою зображено на рис. 1.12.

Деталь вважають придатною, якщо прохідний калібр під дією власної ваги, яка приблизно їй дорівнює, проходить, а непрохідний калібр – не проходить по контрольованій поверхні деталі. В цьому випадку дійсний розмір деталі перебуває між граничними розмірами.

Робочими граничними калібрами користуються робітники та контролери відділу технічного контролю. Окрім цього, на виробництві використовують *контрольні калібри*, за допомогою яких вилучають з експлуатації спрацьовані калібри – скоби. Деталі з допусками від *IT*5 і точніше не рекомендується контролювати калібрами через внесення неприпустимо великої похибки вимірювань.

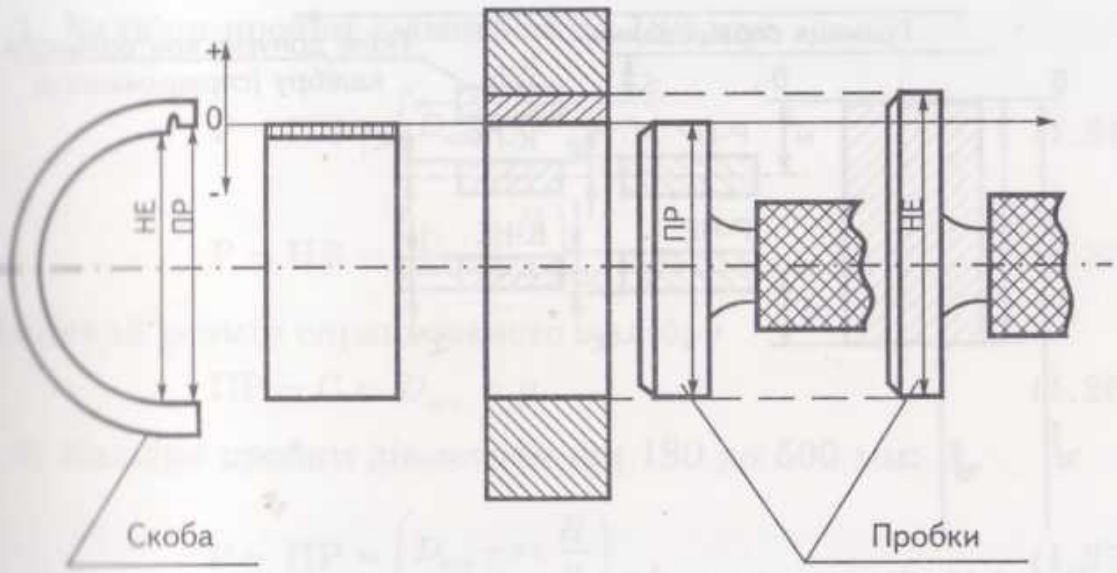


Рис. 1.12. Перевірка розмірів вала та отвору граничними калібрами

1.7.2. СХЕМИ РОЗТАШУВАННЯ ПОЛІВ ДОПУСКІВ РОБОЧИХ І КОНТРОЛЬНИХ КАЛІБРІВ

На схемі, згідно з ГОСТ 24853–81 [38], H – допуск на робочі калібри-пробки, H_1 – допуск на робочі калібри-скоби, $H_\text{Р}$ – допуск на контрольні калібри-пробки.

Для прохідних калібрів встановлена границя спрацювання. Спрацювання прохідної сторони робочого калібру з допуском до *IT*8 включно може виходити за границю поля допуску деталі на величину y – для пробок і y_1 – для скоб. Для прохідних калібрів з квалітетами від *IT*9 до *IT*17 границя спрацювання обмежується розмірами: D_min – для пробок, d_max – для скоб, тобто $y = y_1 = 0$.

Поля допусків H, H_1 усіх прохідних калібрів зсунуті до середини поля допуску деталі: для калібрів-пробок на величину z, для калібрів-скоб на величину z_1. При номінальних розмірах понад 180 мм поле допуску непрохідного калібру також зсунуте до середини поля допуску деталі: для пробок – на величину a, для скоб – на величину a_1. Для непрохідних калібрів розміром до 180 мм $a = a_1 = 0$. Схеми розташування полів допусків отвору і вала при контролі калібром-скобою зображені на рис. 1.13 і калібром-пробкою – на рис. 1.14 відповідно.

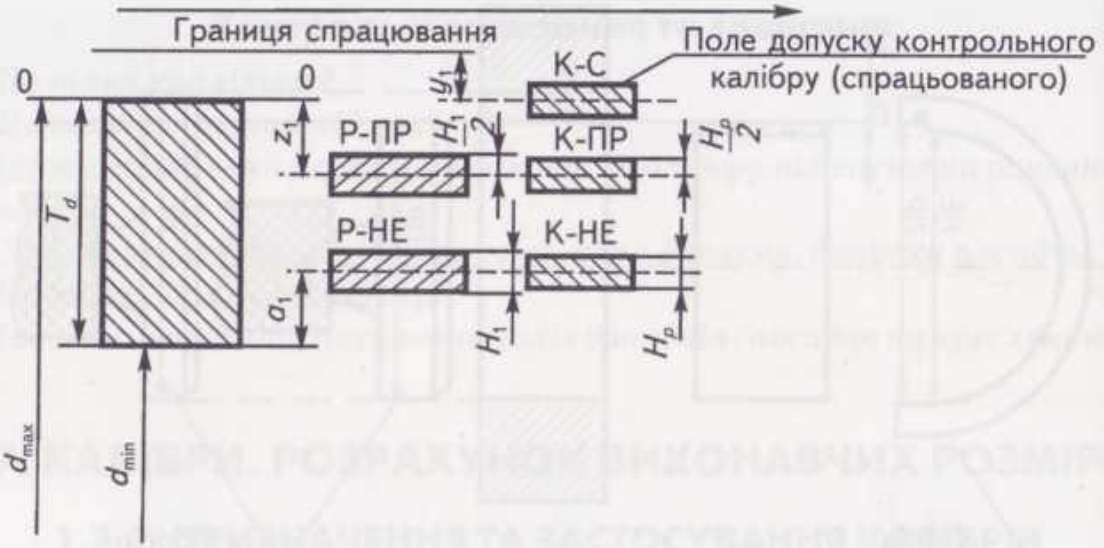


Рис. 1.13. Схема розташування полів допусків калібрів-скоб для валів



Рис. 1.14. Схема розташування полів допусків калібрів-пробок для отворів

1.7.3. РОЗРАХУНОК ВИКОНАВЧИХ РОЗМІРІВ

За виконавчий розмір калібру пробки прийнятий найбільший граничний розмір з від'ємним граничним відхилом.

За виконавчий розмір калібру скоби прийнятий найменший граничний розмір з додатним граничним відхилом.

Виконавчі розміри зазначають на кресленнях калібрів.

Формули для визначення виконавчих розмірів калібрів:

1. Калібри пробки діаметром до 180 мм:

$$\text{Р} - \text{ПР} = \left(D_{\min} + z + \frac{H}{2}\right)_{-H_1}, \tag{1.24}$$

$$\text{Р} - \text{НЕ} = \left(D_{\max} + \frac{H}{2}\right)_{-H_1}; \tag{1.25}$$

граничний розмір спрацьованого калібру

$$\text{ПР} - \text{С} = D_{\min} - y. \tag{1.26}$$

2. Калібри пробки діаметром від 180 до 500 мм:

$$\text{Р} - \text{ПР} = \left(D_{\min} + z + \frac{H}{2}\right)_{-H_1}, \tag{1.27}$$

$$\text{Р} - \text{НЕ} = \left(D_{\max} - \alpha + \frac{H}{2}\right)_{-H_1}; \tag{1.28}$$

граничний розмір спрацьованого калібру

$$\text{ПР} - \text{С} = D_{\min} - y + a. \tag{1.29}$$

3. Калібри скоби діаметром до 180 мм:

$$\text{Р} - \text{ПР} = \left(d_{\max} - z - \frac{H_1}{2}\right)_{+H_1}, \tag{1.30}$$

$$\text{Р} - \text{НЕ} = \left(d_{\min} - \frac{H_1}{2}\right)_{+H_1}; \tag{1.31}$$

граничний розмір спрацьованого калібру

$$\text{ПР} - \text{С} = d_{\max} + y_1. \tag{1.32}$$

4. Калібри скоби діаметром від 180 до 500 мм:

$$\text{Р} - \text{ПР} = \left(d_{\max} - z_1 - \frac{H_1}{2}\right)_{+H_1}, \tag{1.33}$$

$$\text{Р} - \text{НЕ} = \left(d_{\min} + \alpha - \frac{H_1}{2}\right)_{+H_1}; \tag{1.34}$$

граничний розмір спрацьованого калібру

$$\text{ПР} - \text{С} = d_{\max} + y_1 - \alpha_1. \tag{1.35}$$

5. Контрольні калібри діаметром до 180 мм:

$$К - ПР = \left(d_{max} - z_1 - \frac{H_p}{2} \right)_{-H_p}, \quad (1.36)$$

$$К - НЕ = \left(d_{min} + \frac{H_p}{2} \right)_{-H_p}; \quad (1.37)$$

граничний розмір спрацьованого калібру

$$К - С = d_{max} + y_1 + \frac{H_p}{2}. \quad (1.38)$$

6. Контрольні калібри діаметром від 180 до 500 мм:

$$К - ПР = \left(d_{max} - z_1 - \frac{H_p}{2} \right)_{-H_p}, \quad (1.39)$$

$$К - НЕ = \left(d_{min} + \alpha_1 + \frac{H_p}{2} \right)_{-H_p}; \quad (1.40)$$

граничний розмір спрацьованого калібру

$$К - С = d_{max} + y_1 - \alpha_1 + \frac{H_p}{2}. \quad (1.41)$$

Контрольні запитання та завдання

1. Яке призначення і застосування калібрів?
2. Зобразіть схему розташування полів допусків робочих і контрольних калібрів.
3. Подайте розрахунок виконавчих розмірів калібрів-пробок і калібрів-скоб.
4. Хто користується робочими граничними калібрами?
5. Для чого використовують контрольні калібри?

1.8. ПОСАДКИ З ЗАЗОРОМ

У рухомих з'єднаннях зазор служить для забезпечення переміщень деталей, розміщення змащувального шару, компенсації температурних деформацій, а також компенсацій відхилів форми та розташування поверхонь. Найбільш поширеним типом рухомих з'єднань є підшипники ковзання, що функціонують зі змащувальним матеріалом.

За функціональним призначенням та назвами є такі посадки з зазором: ковзна – $\frac{H}{h}$; рухома – $\frac{G}{g}$; ходова – $\frac{D}{d}$; легкоходова – $\frac{F}{f}$; широкоходова – $\frac{B}{b}$ і теплоходова – $\frac{A}{a}$.

Перелічені посадки різняться величиною S_{max} – найбільшого та S_{min} – найменшого зазорів, тобто для ковзної S_{min}=0, а для широкоходової посадки характерне найбільше значення гарантованого мінімального зазору – S_{min}>0.

1.8.1. ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОСАДОК З ЗАЗОРОМ

Розглянемо практичне застосування рекомендованих посадок з зазором в системі отвору.

Посадку $\frac{H6}{h5}$ призначають при високих вимогах до точності центрування (наприклад, піноль в отворі корпусу задньої бабки токарного верстата).

Посадка $\frac{H7}{h6}$ має перевагу вибору, коли ставлять менші вимоги до точності центрування (наприклад, змінних зубчастих коліс на валах у верстатах, отворів корпусів під підшипники у верстатах, валів коробок швидкостей у автомобілях і інших машинах чи механізмах).

Посадка $\frac{H8}{h7}$ має перевагу вибору для центруючих поверхонь валів-втулок, коли можна розширити допуски на їх виготовлення при знижених вимогах до співвісності. ЄСКД допускає застосування посадок $\frac{H}{h}$, утворених з полів допусків квалітетів 9...12 для з'єднань при низьких вимогах до точності центрування (наприклад, з'єднань шківів, зубчастих коліс, муфт, інших деталей на вал за допомогою шпонки при передачі обертального руху, за малих вимог до точності механізму і невеликих навантаженнях).

Посадки $\frac{H5}{g4}, \frac{H6}{g5}, \frac{H7}{g6}$ (остання має перевагу) мають найменший гарантований зазор зі всіх посадок з зазором. Їх застосовують для забезпечення високого ступеня центрування рухомих з'єднань, що вимагають гарантованого мінімального зазору

в парі вал–втулка (наприклад, шпинделя в опорах ділильної головки, в плунжерних парах дизельних двигунів, з'єднаннях турбін тощо).

Із всіх рухомих посадок $\frac{H7}{f7}$ має перевагу; $\frac{H8}{f8}$ і подібні посадки з квалітетами 6, 8 і 9 – застосовують у підшипниках ковзання малих і середніх за потужністю електродвигунів, у коробках швидкостей верстатів, центробіжних насосах, у двигунах внутрішнього згоряння та інших машинах.

Посадки $\frac{H7}{e8}, \frac{H8}{e8}$ мають перевагу перед $\frac{H7}{e7}$; посадки подібні їм, утворені з полів допусків квалітетів 8 і 9, забезпечують легкорухоме з'єднання при рідинному змащенні. Їх застосовують для валів, великих машин, що швидко обертаються. Наприклад, перші дві посадки застосовують для валів турбогенераторів і електромоторів, які працюють із великими навантаженнями. $\frac{H9}{e9}$ застосовують для великих підшипників, що насаджуються на вали механізмів у важкому машинобудуванні, наприклад, на вали зубчастих коліс, які вільно обертаються, та інші деталі, які вмикаються муфтами зчеплення. Для збільшення надійності машин цю посадку треба замінити аналогічною посадкою $\frac{H8}{e8}$.

Посадки $\frac{H8}{d9}, \frac{H9}{d9}$ мають перевагу; подібні їм посадки, утворені з полів допусків квалітетів 7, 10 і 11, застосовуються порівняно рідко. Наприклад, посадку $\frac{H7}{d8}$ застосовують при більшій частоті обертання і відносно малому тиску у великих підшипниках, а також у спряженні поршень–циліндр у компресорах. Посадку $\frac{H9}{d9}$ призначають для механізмів і машин з невисокою точністю центрування.

Посадки $\frac{H7}{c8}$ і $\frac{H8}{c9}$ характеризуються значними гарантованими зазорами, їх використовують для з'єднань з невисокими вимогами до точності центрування. Найбільш часто ці посадки призначають для підшипників ковзання (з різними температур-

ними коефіцієнтами лінійного розширення вала та втулки), що працюють при підвищених температурах (у парових турбінах, двигунах, турбокомпресорах, редукторах, інших машинах, де при роботі зазори значно зменшуються внаслідок того, що вал нагрівається і розширюється більше, ніж вкладиш підшипника).

Розрахунковий зазор у посадці, визначений при нормальній температурі, повинен бути збільшений на Δt, для компенсації температурної деформації деталей з'єднання при роботі механізму за формулою

$$\Delta t = b(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2)D, \qquad (1.42)$$

де t = 0,7...1 – коефіцієнт, що враховує вплив конструкції підшипника та умови охолодження на зазор; α_1, α_2 – температурні коефіцієнти лінійного розширення матеріалу вала та вкладиша підшипника; Δt_1, Δt_2 – різниця між дійсною (робочою) температурою вала та вкладиша і нормальною температурою (20 °С); D – номінальний діаметр з'єднання, мм.

При виборі посадок (на основі розрахунку) необхідно враховувати відношення $\frac{e}{d}$; що менше це відношення, то меншим повинен бути найменший зазор.

Контрольні запитання та завдання

1. Чим характеризуються посадки з зазором?
2. Окресліть області застосування посадок з зазором.
3. Назвіть посадки з зазором.
4. Наведіть приклади застосування посадок з зазором.
5. Які Ви знаєте зазори у рухомих з'єднаннях?

1.9. ПОСАДКИ З НАТЯГОМ

Посадки з натягом призначені для утворення нерухомих з'єднань і служать, як правило, для передавання крутного моменту від вала до тіла обертання.

За функціональним призначенням та назвами є такі посадки з натягом: легкопресова – $\frac{P}{p}$; пресові першого, другого і третього порядків – відповідно $\frac{R}{r}$, $\frac{S}{s}$, $\frac{T}{t}$; $\frac{Z}{z}$ – гаряча.

Перелічені посадки різняться між собою величиною N_{max} – найбільшого та N_{min} – найменшого натягів, тобто для гарячої посадки характерне найбільше значення мінімального гарантованого натягу – $N_{min}>0$.

1.9.1. ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОСАДОК З НАТЯГОМ

Посадка $\frac{H7}{p6}$ має перевагу під час вибору для з'єднань тонкостінних деталей і при дії невеликих навантажень; $\frac{H7}{r6}$ має перевагу під час вибору для з'єднань кондукторних втулок з корпусом кондуктора; $\frac{H7}{s7}$ має перевагу під час вибору для з'єднань центральної колони крану з основою; $\frac{H7}{u7}$ – має перевагу для з'єднань маточини і вінця черв'ячного колеса, втулок підшипників ковзання у виробах важкого машинобудування; $\frac{H8}{x8}, \frac{H8}{z8}$ – характеризуються найбільшими гарантованими натягами, а тому застосовуються для з'єднань, які сприймають значні навантаження та крутні моменти.

Вибір способу отримання з'єднання (під пресом, з нагріванням охоплюючої або охолодженням охоплюваної деталі) залежить від конструкції деталей, їх розмірів, необхідного натягу та інших факторів. Міцність з'єднань з натягом можна збільшити шляхом нанесення на деталі гальванопокриття, правильного вибору конструктивних форм деталей, стабілізації технологічних факторів при збиранні.

Надійність посадок з натягом залежить від механічних властивостей матеріалів з'єднаних деталей, шорсткості та відхилів форми їх поверхонь, конструктивних факторів, натягу, методу складання з'єднання, умов експлуатації. Багато з перелічених факторів складно нормалізувати й врахувати при обчисленні, тому у відповідальних випадках вибрану посадку рекомендується перевіряти експериментально. Посадку вважають придатною, якщо при найменшому натягу гарантується нерухомість з'єднання, а при найбільшому – міцність з'єднаних деталей. За цих умов з'єднання передає заданий крутний момент

або осьову силу, а деталі без руйнування отримують напруження, зумовлені натягом та іншими факторами.

Контрольні запитання та завдання

1. *Чим характеризуються посадки з натягом?*
2. *Де застосовують посадки з натягом?*
3. *Наведіть приклади застосування посадок з натягом.*
4. *Назвіть посадки з натягом.*
5. *Які ви знаєте натяги у нерухомих з'єднаннях?*

1.10. ПЕРЕХІДНІ ПОСАДКИ НА ЙМОВІРНІСТЬ ОТРИМАННЯ ЗАЗОРІВ І НАТЯГІВ

Трудомісткість складання і розбирання з'єднань з перехідними посадками, так, як і характер посадок, визначається ймовірністю отримання в них натягів і зазорів. При розрахунку ймовірності натягів і зазорів використовують нормальний закон розподілу розсіювання розмірів деталей при виготовленні (закон Гауса).

За функціональним призначенням та назвами є такі перехідні посадки: глуха – $\frac{K}{k}$; туга – $\frac{J}{j}$; напружена – $\frac{M}{m}$; щільна – $\frac{N}{n}$.

Перелічені посадки різняться між собою зростанням малих значень зазорів S_{min} від тугої до глухої, а також малих значень натягів N_{min} від напруженої до щільної посадок відповідно. Це означає, що $S_{min}>0$ у глухої посадки, ніж у тугої і $N_{min}>0$ у щільної посадки, ніж у напруженої відповідно.

1.10.1. ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПОСАДОК

Перехідні посадки $\frac{H}{k}, \frac{H}{j}, \frac{H}{m}, \frac{H}{n}$ використовують у нерухомих роз'ємних з'єднаннях для центрування змінних деталей, або деталей, які при необхідності можуть пересуватися вздовж вала. Ці посадки характеризуються малими зазорами й натягами, що дає змогу складати деталі при невеликих зусиллях. Для гарантії нерухомості однієї деталі відносно іншої з'єднання додатково кріплять шпонками, штопорними гвинтами та іншими

кріпильними засобами. Перехідні посадки передбачені тільки в квалітетах 4...8. Точність вала в цих посадках повинна бути на один квалітет вища за точність отвору.

При високих вимогах до точності центрування, а також при великих (особливо ударних) навантаженнях і вібраціях призначають посадки з більшим середнім натягом: $\frac{H}{n}, \frac{H}{m}$. Якщо з'єднання вимагають частішого розбирання (складання) вузла, коли він складніший (особливо за наявності підшипників кочення), коли меншим повинен бути натяг у з'єднанні, тоді треба призначати перехідні посадки $\frac{H}{k}, \frac{H}{j}$. Посадки $\frac{H}{n}$ характеризуються найбільшими середніми натягами з усіх перехідних. Їх призначають для з'єднань, що передають значні сили за наявності ударів і вібрацій, а також тонкостінних втулок, де неможливо застосовувати кріпильні деталі. З'єднання отримують за допомогою преса. Ці посадки призначають для з'єднань, які розбираються тільки при капітальному ремонті виробу.

Посадки $\frac{H}{m}$ характеризуються меншими середніми натягами, ніж посадки $\frac{H}{n}$, але для розбирання деталей ці посадки вимагають значних зусиль, тому їх призначають при високих статичних і невеликих динамічних навантаженнях, коли складання–розбирання з'єднання проводять рідко.

Посадки $\frac{H}{k}$ характеризуються середніми зазорами, близькими до нуля, що забезпечує добре центрування двох деталей. Їх призначають, наприклад, для шпонкових з'єднань, які застосовують для кріплення на валах шківів, зубчастих коліс, муфт зчеплення. Посадки $\frac{H}{j}$ дають в з'єднаннях переважно зазор. Їх застосовують для з'єднань, які часто розбирають, а також тоді, коли збирання складне.

Контрольні запитання та завдання

1. Як виконують розрахунок перехідних посадок?
2. Наведіть приклади застосування перехідних посадок.
3. Що відображає графік кривої Гауса?
4. У яких марках перехідних посадок переважає зазор?
5. У яких марках перехідних посадок переважає натяг?

1.11. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

1.11.1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Підшипниками називаються опори, або напрямні, що визначають положення частин, які рухаються (обертаються) відносно інших частин механізму. За способом тертя у спряженій парі їх поділяють на підшипники кочення (відносне переміщення тертьових поверхонь супроводжується тертям кочення) і підшипники ковзання (відносне переміщення тертьових поверхонь супроводжується тертям ковзання). Найбільш поширені у різних галузях (машинобудуванні, верстатобудуванні, автомобілебудуванні, сільськогосподарському машинобудуванні) підшипники кочення, які мають чимало переваг порівняно з підшипниками ковзання, а саме:

– низьку вартість внаслідок масового їх виготовлення;
– малі втрати на тертя і незначне їх нагрівання;
– високий рівень взаємозамінності у випадку їх заміни при ремонті машин.

З іншого боку, підшипники кочення чутливі до ударів, вібрацій при великих швидкостях обертання вала (корпусу).

За конструкціями підшипники поділяють на: кулькові, роликові, голчасті (однорядні, дворядні), а також спеціальні (з напрямним зовнішнім кільцем), упорні, радіально-упорні тощо. Для підшипників кочення за вантажністю встановлено розмірні серії: надлегка, середня та важка. За геометричною формою зовнішнього та внутрішнього кілець підшипники бувають циліндричними та конічними.

Підшипники кочення – найбільш поширені стандартні складальні одиниці. Їм властива повна зовнішня та внутрішня вза-

ємозамінність, що дає змогу швидко монтувати й замінювати їх після спрацювання. Згідно з ГОСТ 3395–89 [39], вибирають їх типи і конструктивне виконання, а за ДСТУ 3012–95 [43] – терміни та визначення підшипників кочення та ковзання.

Кулькові підшипники (рис. 1.15) характеризуються такими геометричними параметрами: D – зовнішній діаметр зовнішнього кільця, d – внутрішній діаметр внутрішнього кільця; B – ширина кільця; $в$ – робоча ширина посадочного місця, причому

$$в = B - 2r, \qquad (1.43)$$

де r – радіус монтажної фаски внутрішнього та зовнішнього кілець підшипника.

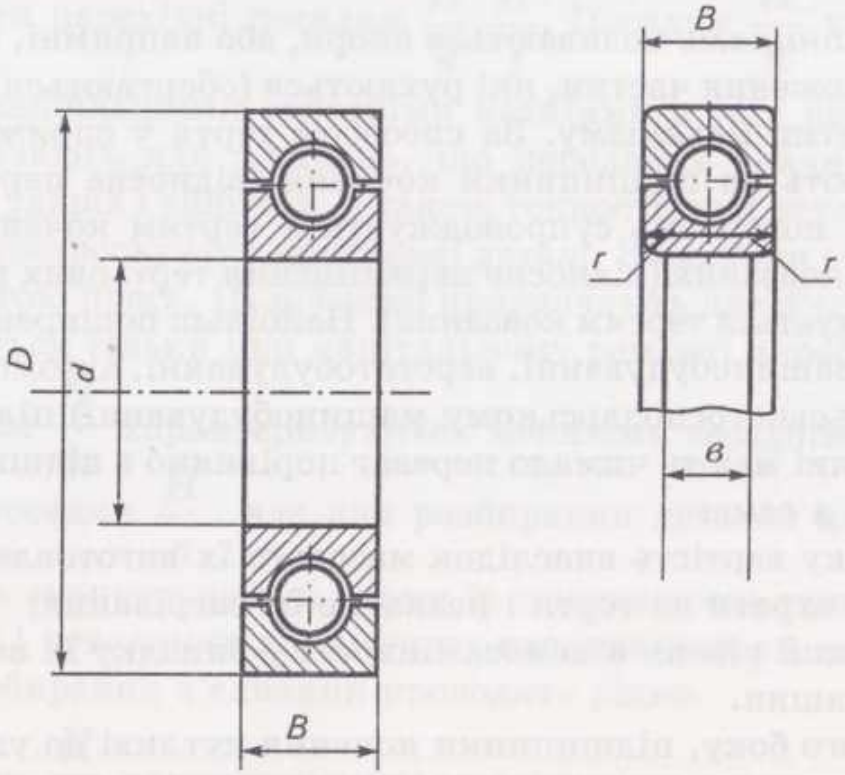


Рис. 1.15. Основні геометричні параметри кулькових підшипників

Якість підшипників кочення визначається точністю форми, приєднувальних розмірів та взаємного розташування поверхонь кілець, величиною мікронерівностей, а також точністю форми та розмірів тіл кочення. Згідно з ДСТУ ГОСТ 520:2003 [42], встановлено п'ять класів точності підшипників кочення: 0, 6, 5, 4, 2. Для більшості механізмів загального призначення застосовують підшипники нульового класу точності. Підшипники більш високих класів точності застосовують тоді, коли необ-

хідно забезпечити високу точність обертання вала (шпинделі шліфувальних, радіально-розточувальних верстатів, авіаційні двигуни, точні прилади). Клас точності підшипника кочення і його умовне позначення (номер) вказують за схемою, поданою на рис. 1.16 [10], наприклад, 6–310 (6 – клас точності; 310 – номер підшипника).



Рис. 1.16. Умовні позначення підшипників кочення

За номером підшипника можна визначити всі його геометричні параметри відповідно до стандарту ГОСТ 520–89 [44].

При експлуатації підшипників кочення можливі такі основні види навантажень на кільця: місцеве, циркуляційне, коливальне.

Місцеве навантаження кільця сталою за напрямком радіальною силою F_r постійно сприймається обмеженою ділянкою доріжки кочення цього кільця та передається обмеженій ділянці посадочної поверхні вала або корпусу (рис. 1.17, *а*).

Циркуляційне навантаження кільця радіальною силою послідовно сприймається всією поверхнею доріжки кочення й передається всій поверхні вала або корпусу (рис. 1.17, *б*).

Коливальне навантаження нерухомого кільця має рівнодійну двох радіальних навантажень (сталого F_r та обертового F_c, причому $F_r \le F_c$) і сприймається обмеженою ділянкою доріжки кочення (рис. 1.17, *в*).

Крім зазначених вище підкласів точності підшипників, згідно з ДСТУ ГОСТ 520:2003 [42], для кулькових і роликових радіальних і кулькових радіально-упорних підшипників, сьогодні встановлені шість класів точності у порядку їх підвищення: 0, 6, 5, 4, 2, Т (див. додаток В).

Для роликових конічних підшипників встановлені вісім класів точності в порядку її підвищення: 8, 7, 0, 6Х, 6, 5, 4, 2.

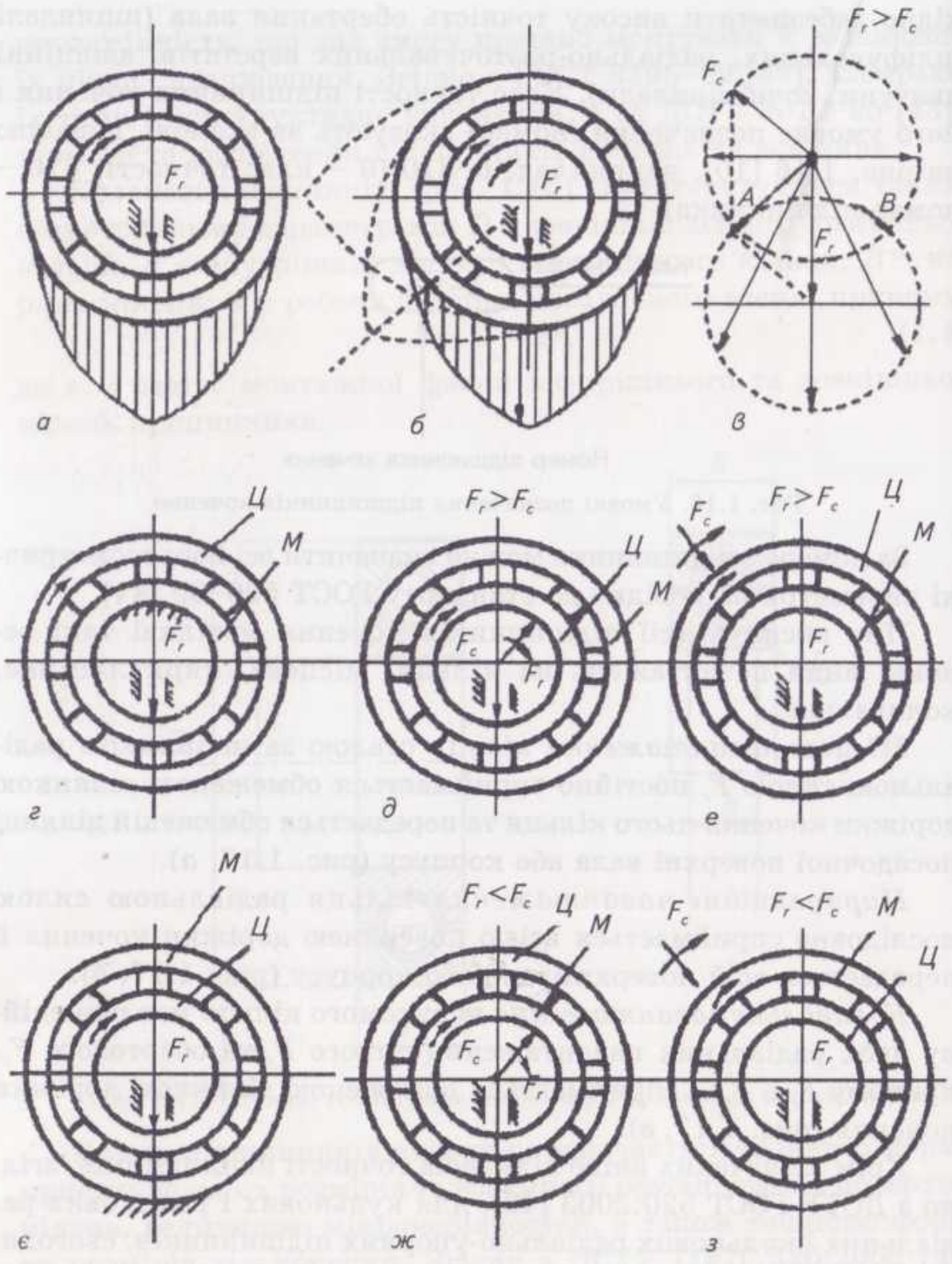


Рис. 1.17. Схеми навантажень зовнішнього кільця підшипника кочення: *а* – місцеве; *б* – циркуляційне; *в* – коливальне; *г–з* – залежність виду навантаження кілець від схеми діючих сил та їхнього обертання

1.11.2. УТВОРЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ПОСАДОК ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

З'єднання підшипників кочення з валами (осями) та корпусами виконують згідно з ГОСТ 3325–85 [40].

В основу утворення посадок підшипників кочення (рис.1.18,*а*) покладено такий принцип: для всіх класів точності прийнято, що верхній граничний відхил приєднувальних діаметрів дорівнює нулю. Схему полів допусків пасувальних розмірів підшипників з валом і отвором корпусу показано на рис. 1.18, *б* ($es = 0$; $ei \neq 0$) для зовнішнього кільця і ($ES = 0$; $EI \neq 0$) для внутрішнього кільця відповідно.

Таким чином, посадку з'єднання зовнішнього кільця з отвором корпусу призначають у системі основного вала, а посадку з'єднання внутрішнього кільця з валом – у системі основного отвору. При цьому поле допуску на діаметр d має від'ємне значення від нульової лінії (рис. 1.18, *б*). Такий штучний прийом тут застосовано для того, щоб не вводити спеціальних посадок, а використавши поля допусків $n6$, $m6$, $k6$ (або 5, 4 квалітетів), отримати у з'єднанні вал–внутрішнє кільце посадки з невеликим гарантованим натягом.

Оскільки застосування системи основного отвору для з'єднання внутрішнього кільця підшипника з валом і системи основного вала для з'єднання зовнішнього кільця підшипника з отвором корпусу є обов'язковим, то посадкою прийнято називати поле допуску на виготовлення вала або отвору.

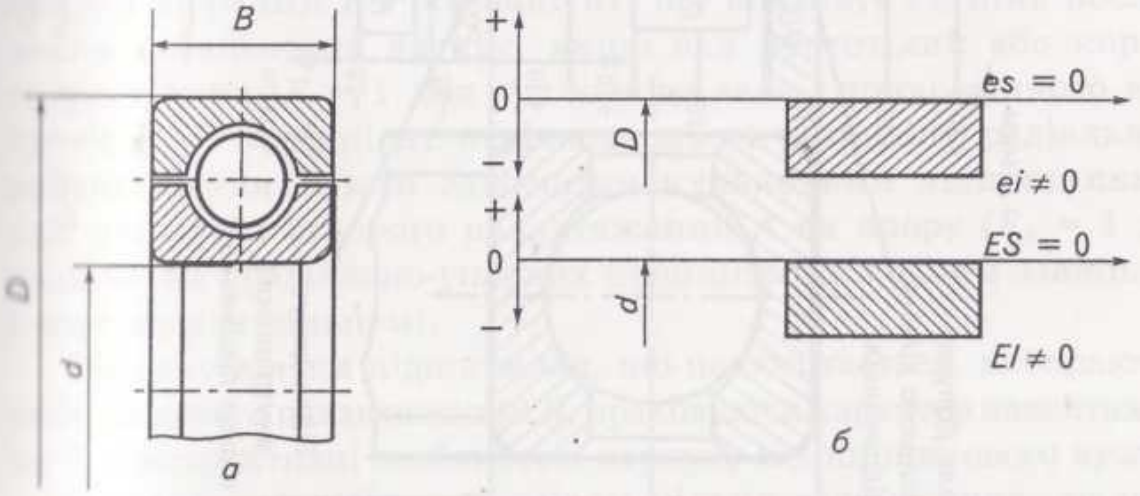


Рис. 1.18. Геометричні параметри кулькового підшипника (*а*); розташування полів допусків на діаметри його кілець (*б*)

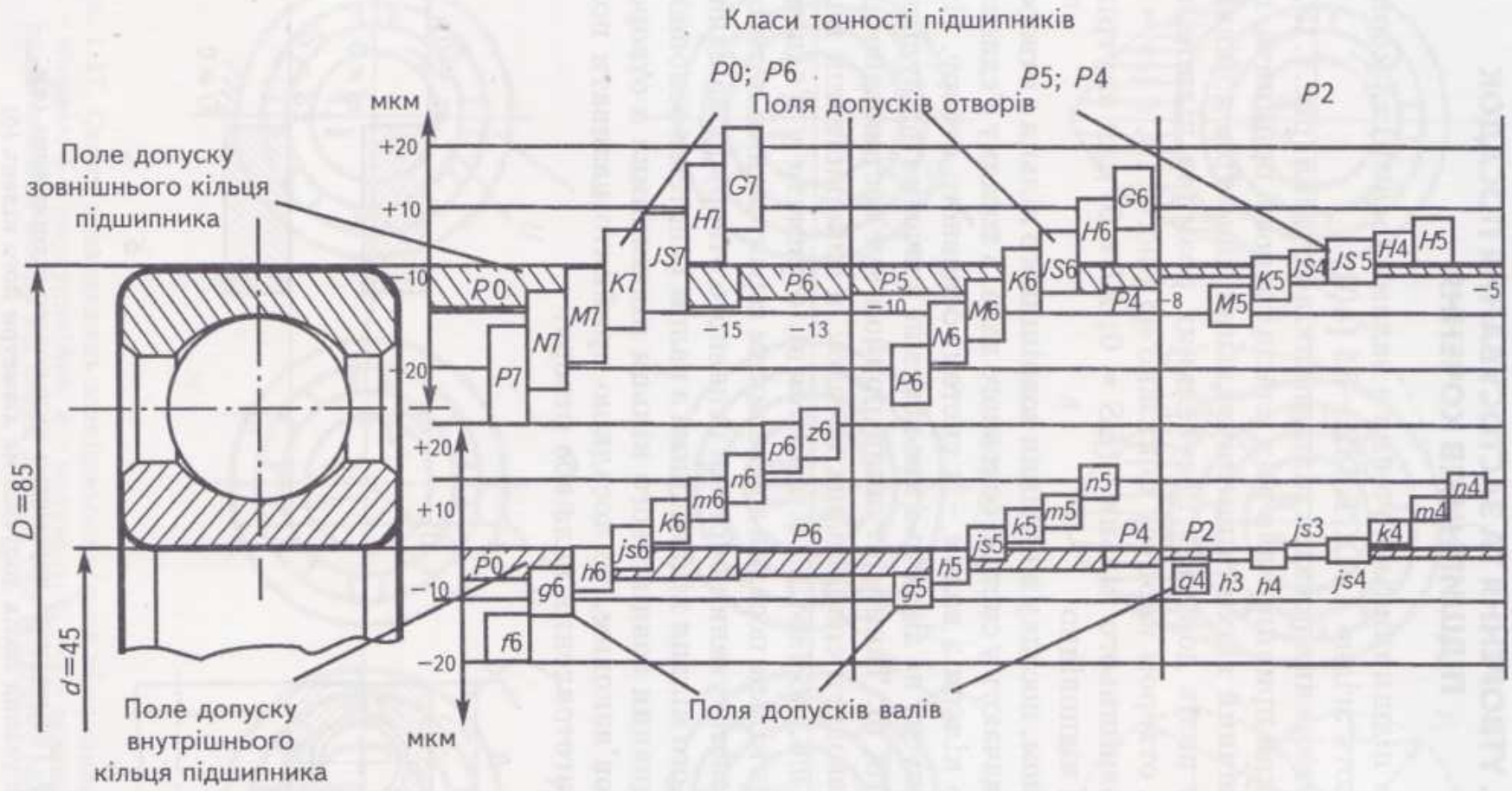


Рис. 1.19. Схема розташування полів допусків кілець підшипників і спряжених з ними деталей (валів і отворів)

Поля допусків валів залежно від класів точності підшипників кочення: *f*6, *g*6, *h*6, *js*6, *k*6, *m*6, *n*6, *p*6, *r*6 (класи точності 0, 6); *g*5, *h*5, *js*5, *k*5, *m*5, *n*5 (класи точності 5, 4); *g*4, *h*3, *h*4, *js*3, *js*4, *k*4, *m*4, *n*4 (клас точності 2) (див. нижній ряд посадок на рис. 1.19).

Поля допусків отворів корпусів залежно від класів точності підшипників кочення: *P*7, *N*7, *M*7, *K*7, *JS*7, *H*7, *G*7 (класи точності 0,6); *P*6, *N*6, *M*6, *JS*6, *K*6, *H*6, *G*6 (класи точності 4, 5); *M*5, *K*5, *JS*4, *JS*5, *H*4, *H*5 (клас точності 2) (див. верхній ряд посадок на рис. 1.19).

1.11.3. РОЗРАХУНОК ПОСАДОК ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ

При розрахунку і виборі стандартних посадок підшипників кочення необхідно враховувати умови роботи, тип і клас точності підшипника, частоту обертання, вид навантаження, шорсткість вала і корпусу та інші експлуатаційні фактори.

Основною характеристикою, за якою вибирають посадки на вал та корпус підшипника, що обертається, є інтенсивність радіального навантаження на посадковій поверхні кільця, яку визначають за формулою

$$P_R = \frac{R}{b} k_\partial \cdot F \cdot F_A, \qquad (1.44)$$

де R – радіальне навантаження (Н); b – робоча ширина посадкового місця (м); k_∂ – динамічний коефіцієнт посадки ($k_\partial = 1$ при перевантаженні до 150%, $k_\partial = 1{,}8$ при перевантаженні до 300% і вібрації); F – коефіцієнт, що враховує ступінь послаблення посадкового натягу, якщо вал пустотілий або корпус тонкостінний ($F = 1$ для суцільного вала і тонкостінного корпусу); F_A – коефіцієнт нерівномірності розподілу радіального навантаження R між здвоєними кульковими підшипниками при наявності осьового навантаження A на опору ($F_A = 1$ для радіальних і радіально-упорних підшипників з одним зовнішнім і внутрішнім кільцем).

Посадку кільця підшипника, що не обертається, вибирають з умов місцевого навантаження R, враховуючи характер навантаження й конструктивні особливості корпусу підшипникового вузла.

За величиною P_R та розміром кільця підшипника, згідно з ГОСТ 3325–85 [40], знаходять рекомендоване поле допуску посадкової поверхні вала або отвору корпусу, P_R, кН/м.

1.11.4. ПОЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ НА КРЕСЛЕНИКАХ

На кресленнях з підшипниковими вузлами посадки кілець підшипників прийнято позначати одним або двома полями допусків (рис. 1.20). За ГОСТ 3189–89 [41] маємо таке позначення посадок на підшипники кулькові та роликові одним полем допуску:

$\varnothing 50k6$ – посадка внутрішнього кільця на вал;

$\varnothing 90H7$ – посадка зовнішнього кільця в отвір корпусу;

позначення двома полями допусків:

$\varnothing 50\dfrac{L0}{k6}$ – посадка внутрішнього кільця на вал ($L0$ – поле допуску внутрішнього кільця, $k6$ – поле допуску на виготовлення вала);

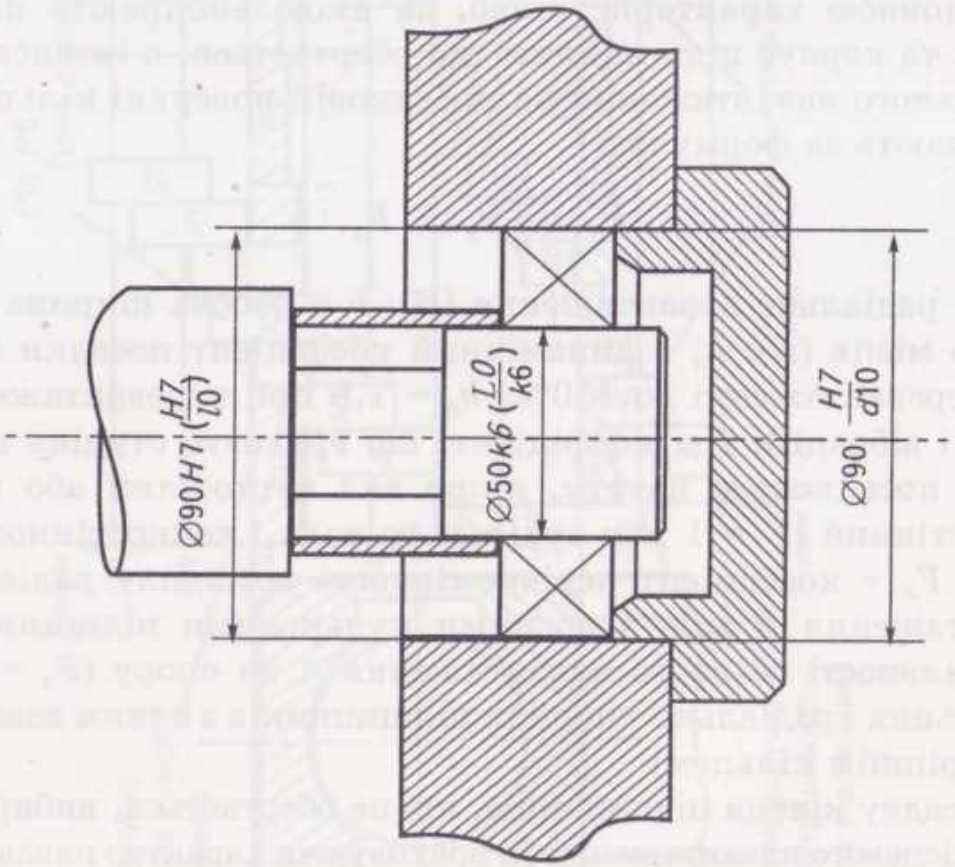


Рис. 1.20. Позначення посадок підшипникового вала на кресленику: внутрішнього кільця ($\varnothing 50L0/k6$); зовнішнього кільця ($\varnothing 90H7/l0$) підшипника кочення 0–210; посадка отвору корпусу з діаметром кришки – $\varnothing 90\ H7/d10$

$\varnothing 90 \frac{H7}{l0}$ – посадка зовнішнього кільця в отвір корпусу (*l*0 – поле допуску зовнішнього кільця, *H*7 – поле допуску на виготовлення отвору корпусу). Позначення *L*0 (*l*0) складається з двох компонентів: *L* (*l*) – від німецького слова *Lager* (підшипник), 0 – клас точності підшипника. В обох варіантах позначень: ∅50 – номінальний діаметр вала, ∅90 – номінальний діаметр отвору корпусу у міліметрах.

Шорсткість посадкових поверхонь валів і отворів корпусів під підшипники кочення вибирають за [2] та ГОСТ 3325–85 [40], вона не повинна значно відрізнятися від шорсткості посадкових (монтажних) поверхонь самих підшипників. Зі збільшенням діаметра посадкової поверхні підшипника та його класу точності дещо збільшується значення шорсткості за параметром R_a. Наприклад, для валів діаметрів до 80 мм і класів точності підшипників 0, 6, 5, 4 параметр R_a = 1,25; 0,63; 0,32; 0,32 мкм і для діаметрів від 80 до 300 мм значення шорсткості поверхонь R_a – 2,5; 1,25; 0,63; 0,63 мкм відповідно.

Для отворів корпусів деталей до 80 мм для перелічених класів точності підшипників – R_a = 1,25 і 0,63 мкм і для діаметрів від 80 до 300 мм – R_a = 2,5; 1,25 мкм відповідно.

Контрольні запитання та завдання

1. *Яке призначення мають підшипники кочення та ковзання?*
2. *Назвіть види підшипників кочення та опишіть їх будову.*
3. *Як розрахувати посадки підшипників кочення?*
4. *Як вибирають посадки для внутрішнього та зовнішнього кілець підшипників залежно від характеру навантаження?*
5. *Як позначають на кресленнях посадки підшипників кочення?*

1.12. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ З'ЄДНАНЬ З МЕТРИЧНОЮ НАРІЗЗЮ. ТРАПЕЦІЄПОДІБНА НАРІЗЬ

1.12.1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Нарізні з'єднання широко застосовуються в машинобудуванні, приладобудуванні, авіаційній, електротехнічній та інших галузях промисловості. Основне призначення нарізних з'єднань:

– для скріплення деталей (кріпильні, метричні та дюймові нарізі);

– для передачі розрахункових переміщень (трапецієподібні та прямокутні нарізі для виготовлення ходових гвинтів механізмів верстатів);

– для перетворення обертового руху гвинта у прямолінійний рух гайки (упорні нарізі в домкратах);

– для отримання герметичних з'єднань (трубні нарізі в трубопроводах, засувках, фланцях різноманітних посудин тиску) тощо.

За профілем перетину витка нарізні з'єднання поділяють на: трикутні, прямокутні, трапецієподібні, пилоподібні (упорні), спеціальні (круглі); за формою поверхні розрізняють: циліндричні та конічні (зовнішні й внутрішні); за напрямком гвинтового руху: праві та ліві; за кількістю ходів: однозахідні та багатозахідні.

Найширше застосовують метричні нарізі. Основним напрямом їх застосування є утворення рознімних з'єднань деталей машин при забезпеченні достатньої міцності та щільності з'єднань під час тривалої експлуатації.

У машинобудуванні найчастіше застосовується метрична нарізь з діаметрами від 1 до 600 мм. Профіль метричної нарізі стандартизований за ГОСТ 8724–2002 [45] та ДСТУ 2497–94 [46] (рис. 1.21), при цьому передбачені зрізи вершин нарізі: $\frac{H}{4}$ – для гайки, $\frac{H}{8}$ – для болта.

Висоту контура нарізі визначають за формулою

$$H = 0{,}866 \cdot P, \qquad (1.45)$$

де P – крок нарізі, мм.

До параметрів метричної нарізі також належать: $d(D)$ – зовнішній діаметр, $d_2(D_2)$ – середній діаметр, $d_1(D_1)$ – внутрішній діаметр, α – кут профілю нарізі ($\alpha = 60°$), P – крок нарізі. Відповідно до ГОСТ 16093–2004 [47], для діаметрів зовнішньої та внутрішньої нарізей точність регламентується ступенями точності. Для нарізних з'єднань встановлено три групи довжин згвинчування: S – короткі, N – нормальні, L – довгі. Довжина

згвинчування l – це довжина контакту зовнішньої та внутрішньої нарізей в осьовому напрямку. Довжини згвинчування в межах від $2{,}24 \cdot P \cdot d^{0{,}2}$ до $6{,}7 \cdot P \cdot d^{0{,}2}$ відносяться до групи N; менші за нормальні належать до групи S; більші – до групи L. Тут P і d – крок і зовнішній діаметр нарізі, мм.

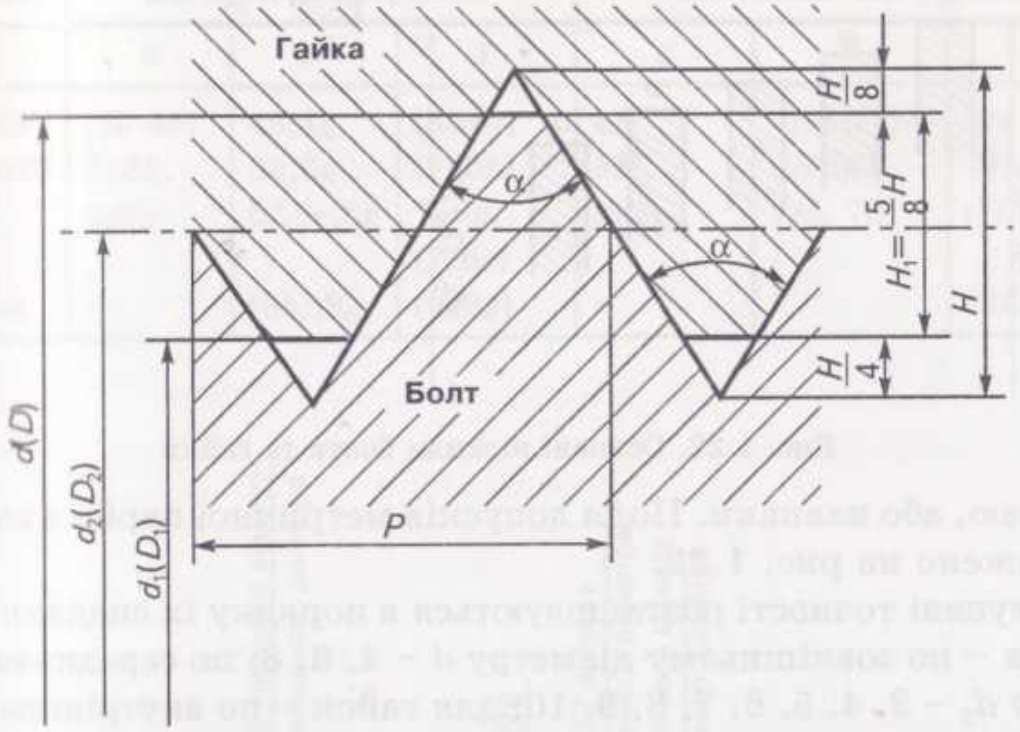


Рис. 1.21. Профіль та основні параметри метричної нарізі

Нарізі за виконанням умовно поділяють на: точні, середньої точності та грубої точності.

Точний клас рекомендується для відповідальних статично навантажених нарізних з'єднань.

Середній клас використовують для нарізей загального призначення.

Грубий клас – для нарізей, які нарізають на гарячокатаних заготовках, у довгих глухих отворах тощо.

1.12.2. ПОСАДКИ З ЗАЗОРОМ

Поля допусків метричної нарізі отримують поєднанням ступеня точності та основного відхилу. Посадки з зазором у нарізних з'єднаннях застосовують тоді, коли необхідно здійснювати обертання деталі із зовнішньою наріззю в деталі з внутрішньою

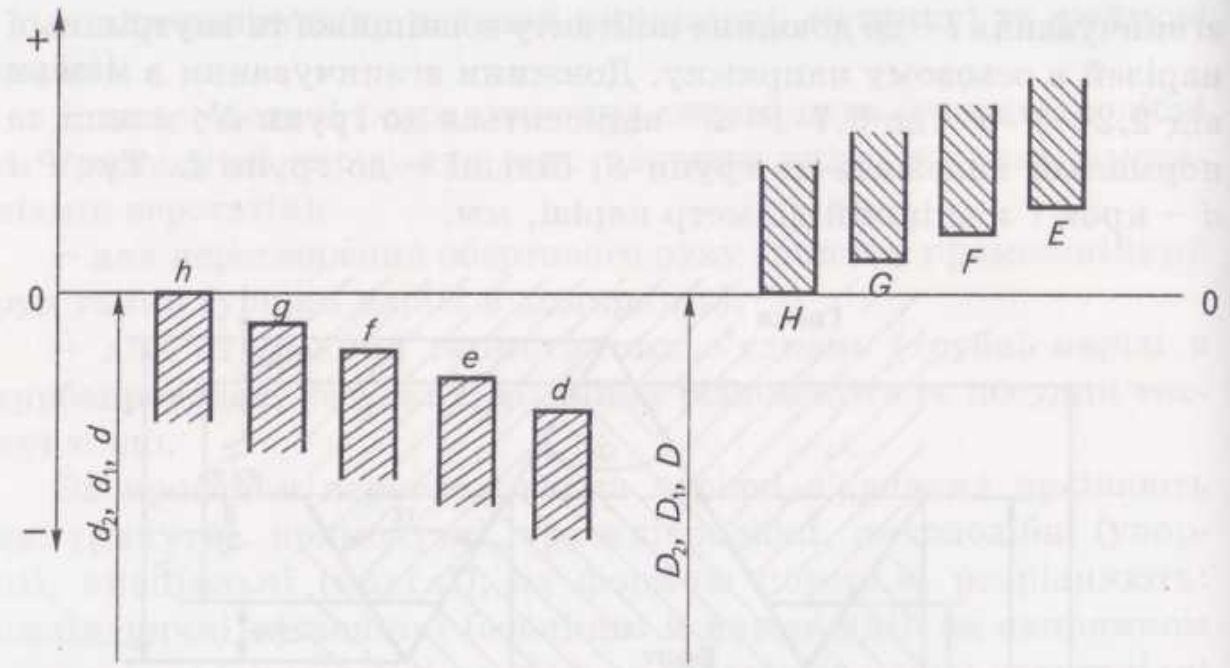


Рис. 1.22. Основні відхили болта та гайки

наріззю, або навпаки. Поля допусків метричної нарізі з зазором зображено на рис. 1.22.

Ступені точності розташовуються в порядку їх спадання: для болтів – по зовнішньому діаметру d – 4, 6, 8; по середньому діаметру d_2 – 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10; для гайок – по внутрішньому та середньому діаметрах D_1 (D_2) – 4, 5, 6, 7, 8, 9. Таким чином, позначення $6H$ означає поле допуску для гайки 6-го ступеня точності з основним відхилом H; позначення $7g$ означає поле допуску болта 7-го ступеня точності з основним відхилом g (рис. 1.22).

На внутрішній діаметр болта d_1 і зовнішній діаметр гайки D поля допусків не встановлюють. Довжини згвинчування S і L зазначають у технічних умовах або в позначенні нарізі, наприклад, $M12$-$7g6g$-30 означає: $M12$ – болт з метричною наріззю і номінальним діаметром 12 мм, поля допусків на діаметр d_2–$7g$, d–$6g$, довжина згвинчування 30 мм.

Рекомендовані посадки та ступені точності нарізних з'єднань зведено в табл. 1.3, а схеми розташування полів допусків гайок з гарантованим зазором і з нульовим зазором показані відповідно на рис. 1.23 і 1.24.

Схеми розташування полів допусків болтів з гарантованим зазором і нульовим зазором зображені відповідно на рис. 1.25, 1.26.

Таблиця 1.3

Рекомендовані поля допусків у нарізних з'єднаннях із зазором за ГОСТ 16093-2004 [47]

Клас точності	Зовнішня нарізь довжини згвинчування			Внутрішня нарізь довжини згвинчування		
	S	*N*	*L*	*S*	*N*	*L*
Точний	(3*h* 4*h*)	4*h*,4*g*	(5*h*4*h*)	4*H*	4*H*5*H*,5*H*	6*H*
Середній	5*h*6*h*, 5*g*6*g*	6*h*,6*g*, 6*f*,6*e*,6*g*	(7*h*6*h*), 7*g*6*g*, (7*e*6*e*)	5*H*, (5*G*)	6*H*,6*G* 7*H*, 7*G*	7*H*, (7*G*)
Грубий	–	(8*h*),8*g*	(9*g*8*g*)	–		8*H*, (8*G*)

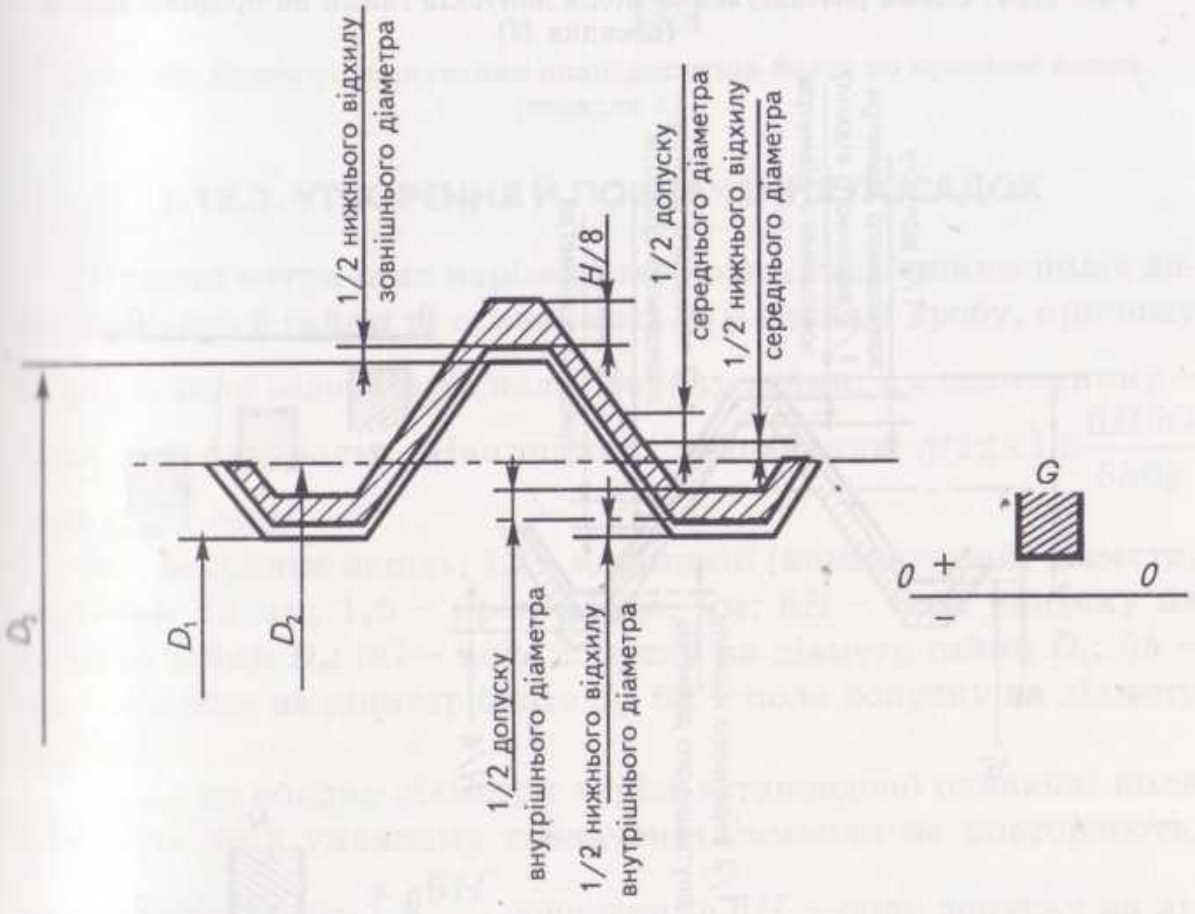


Рис. 1.23. Схема розташування полів допусків гайки по профілю нарізі (посадка *G*)

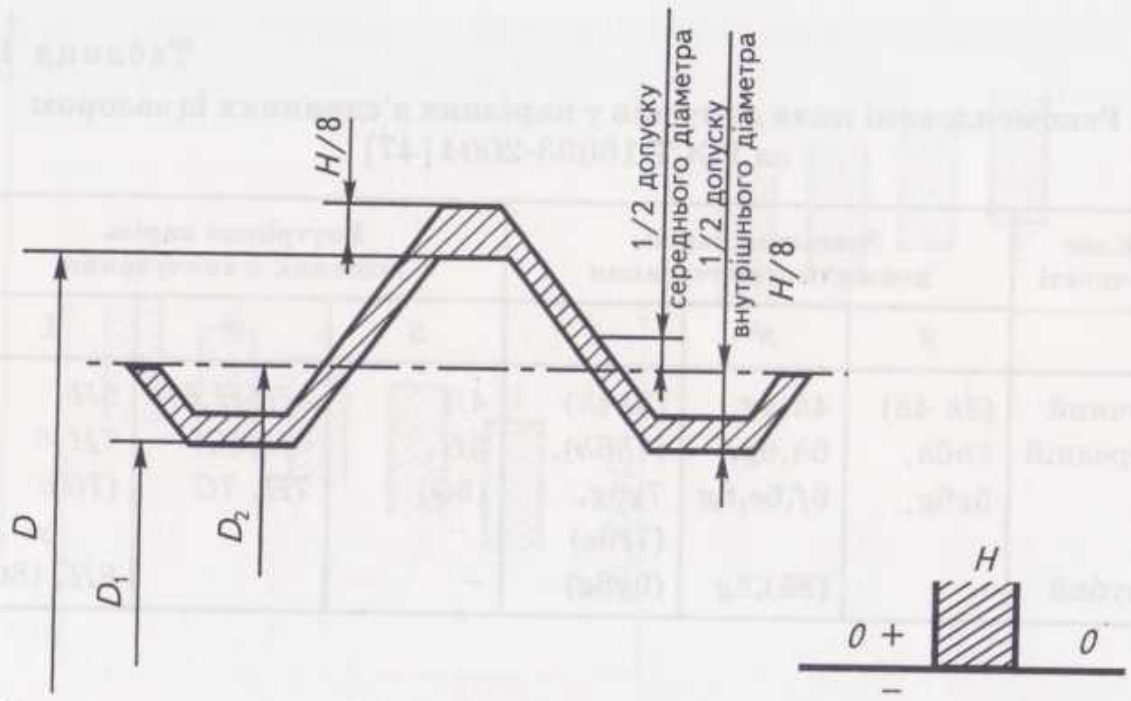


Рис. 1.24. Схема розташування полів допусків гайки по профілю нарізі (посадка *H*)

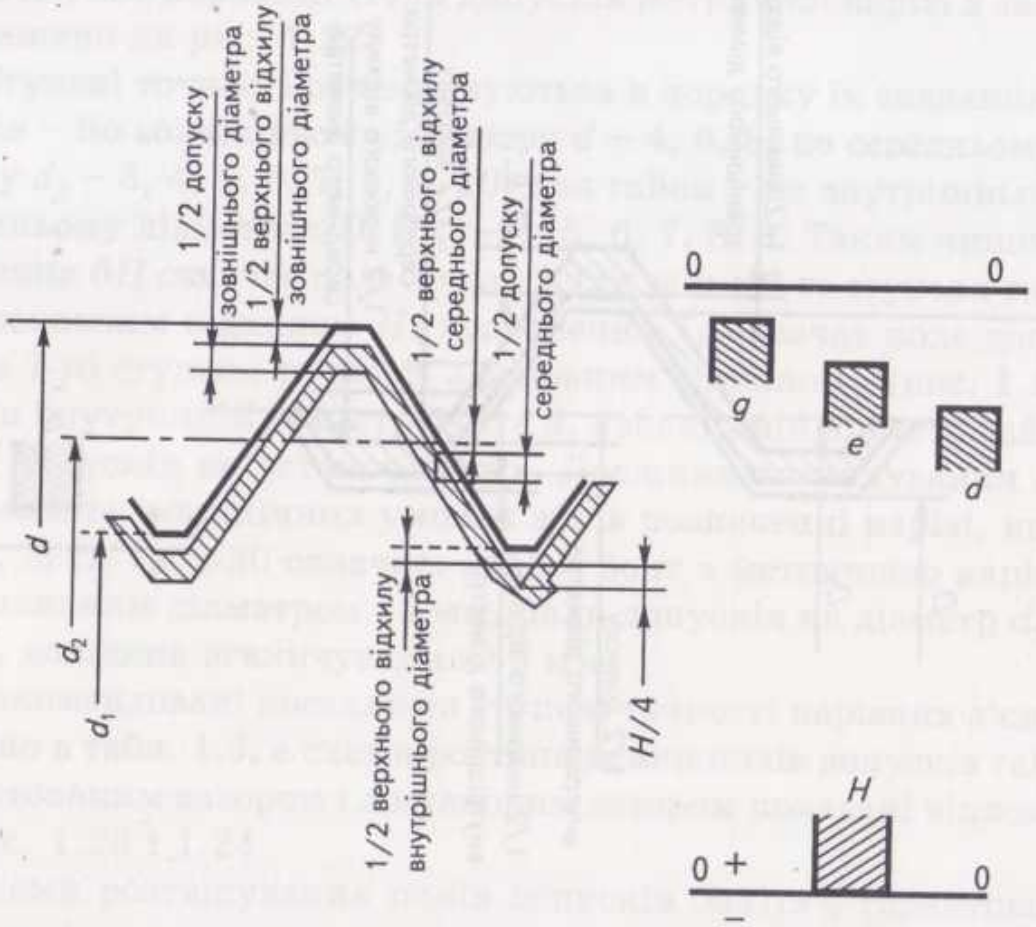


Рис. 1.25. Схема розташування полів допусків болтів по профілю нарізі (посадки *g*, *e*, *d*)

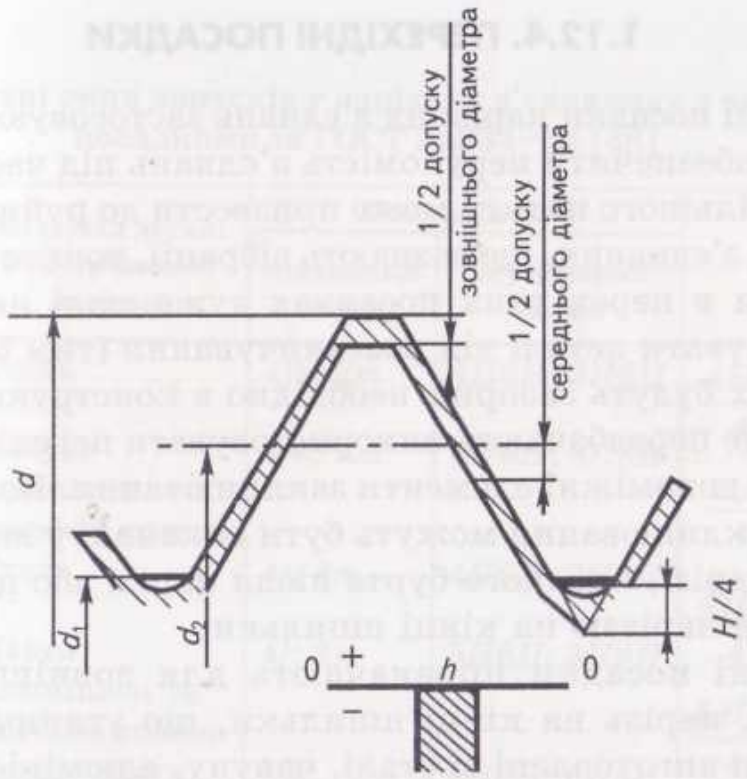


Рис.1.26. Схема розташування полів допусків болта по профілю нарізі (посадка h)

1.12.3. УТВОРЕННЯ Й ПОЗНАЧЕННЯ ПОСАДОК

Посадки метричних нарізей утворюють поєднанням полів допусків болта й гайки та позначають їх у вигляді дробу, причому в чисельнику зазначають поле допуску гайки, а в знаменнику – поле допуску болта. Наприклад, позначення $M12\times1{,}5\dfrac{6H5G}{5h6g}$ читається так:

M – метрична нарізь; 12 – зовнішній (номінальний) діаметр, дорівнює 12 мм; 1,5 – крок нарізі, мм; $6H$ – поле допуску на діаметр гайки D_2; $5G$ – поле допуску на діаметр гайки D_1; $5h$ – поле допуску на діаметр болта d_2; $6g$ – поле допуску на діаметр болта d.

Якщо на обидва діаметри нарізі встановлено однакові поля допусків, то в умовному позначенні символи не повторюють, наприклад, $M12\times1{,}5\dfrac{6H}{6g}$ означатиме $6H$ – поле допуску на діаметри гайки D_2, D_1; $6g$ – поле допуску на діаметри болта d_2, d.

1.12.4. ПЕРЕХІДНІ ПОСАДКИ

Перехідні посадки нарізних з'єднань застосовують тоді, коли необхідно забезпечити нерухомість з'єднань під час роботи, але створення більшого натягу може призвести до руйнування деталей (нарізні з'єднання, що зазнають вібрації, тонкостінні деталі).

Оскільки в перехідних посадках дуже малі натяги не можуть утримувати деталі від розгвинчування (тим більше, коли в з'єднаннях будуть зазори), необхідно в конструкції нарізного з'єднання, де передбачають використовувати перехідні посадки, застосувати допоміжні елементи заклинювання. Конструктивно елементи заклинювання можуть бути виконані у вигляді конічного збігу нарізі, плоского бурта після нарізі або циліндричної цапфи перед наріззю на кінці шпильки.

Перехідні посадки призначають для зовнішніх нарізей (наприклад, нарізь на кінці шпильки, що угвинчується), які можуть бути виготовлені зі сталі, чавуну, алюмінієвих і магнієвих сплавів. Існує чотири поля допуску для зовнішньої нарізі шпильки – $4jh$, $4j$, $4jk$, $2m$ і три поля допуску $3H$, $4H$, $5H$ – для внутрішньої нарізі гайки. Розташування полів допусків перехідних посадок зображено на рис. 1.27, а рекомендовані поля допусків зведені у табл. 1.4.

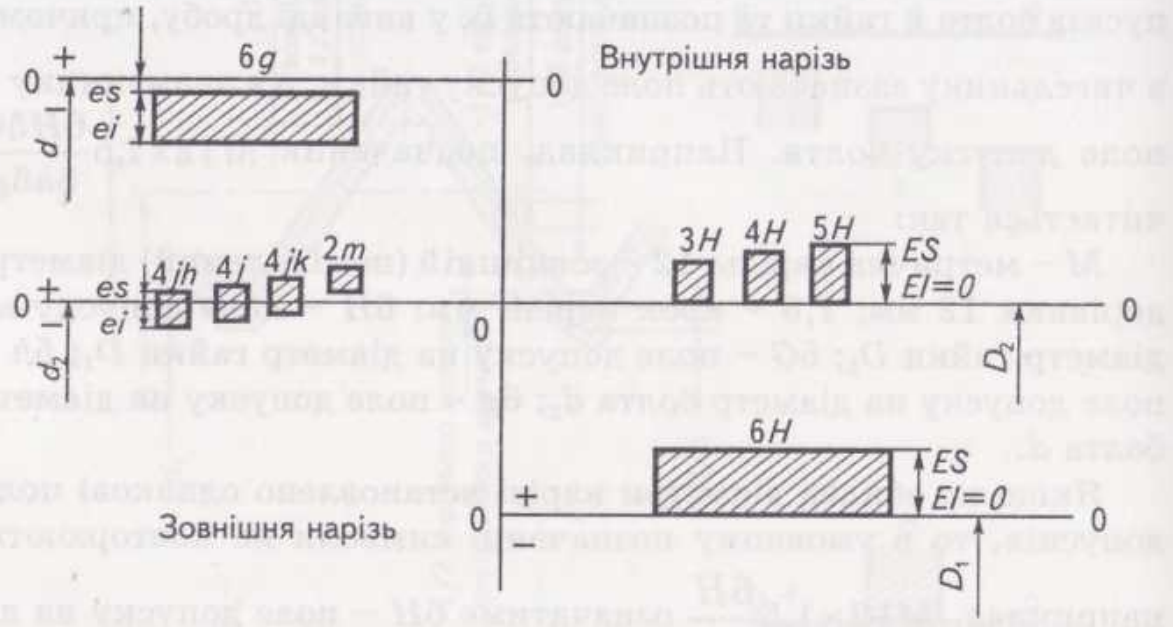


Рис. 1.27. Схема розташування полів допусків нарізних з'єднань з перехідними посадками

Таблиця 1.4

Рекомендовані поля допусків у нарізних з'єднаннях з перехідними посадками за ГОСТ 24834–81 [48]

Номінальний діаметр нарізі, мм	Матеріал деталі з внутрішньою нарізю	Поля допусків		Посадки
		зовнішньої нарізі	внутрішньої нарізі	
Від 5 до 16	Сталь	$4jk$; $2m$	$4H6H$; $3H6H$	$\frac{4H6H}{4jk}$; $\frac{3H6H}{2m}$
	Чавун, алюмінієві та магнієві сплави	$4jk$; $2m$	$5H6H$; $3H6H$	$\frac{5H6H}{4jk}$; $\frac{4H6H}{2m}$
Від 18 до 30	Сталь	$4j$; $2m$	$4H6H$; $3H6H$	$\frac{4H6H}{4jk}$; $\frac{4H6H}{2m}$
	Чавун, алюмінієві та магнієві сплави	$4j$; $2m$	$5H6H$; $3H6H$	$\frac{5H6H}{4jk}$; $\frac{3H6H}{2m}$
Від 33 до 45	Сталь, чавун, алюмінієві та магнієві сплави	$4jh$;	$5H6H$; $3H6H$	$\frac{5H6H}{4jk}$

Довжини згвинчування нарізних з'єднань з перехідними посадками повинні відповідати застосованим матеріалам деталей з внутрішньою нарізю і бути в межах: для сталі – $1...1{,}25d$, для чавуну – $1{,}25...1{,}5d$, для алюмінієвих і магнієвих сплавів – $1{,}5...2{,}0d$.

Відхил форми зовнішньої та внутрішньої нарізей, що визначається різницею між найбільшим і найменшим дійсним середніми діаметрами, не повинен перевищувати 25% допуску середнього діаметра. Обернена конусність не допускається.

Позначення поля допуску метричної нарізі з перехідними посадками: $M20-\frac{4H6H}{4j}$.

1.12.5. ПОСАДКИ З НАТЯГОМ

Посадки з натягом для нарізних з'єднань застосовують тоді, коли необхідно усунути можливість самовідгвинчування тільки за рахунок натягу без допоміжних елементів заклинювання. Встановлені посадки з натягом призначені тільки для зовнішніх нарізей



Рис. 1.28. Схема розташування полів допусків нарізних з'єднань з натягом

(нарізь на кінці шпильки, що угвинчується) зі сталі, спряжених з внутрішніми нарізями деталей із високоміцних сталей і титанових сплавів або чавуну, алюмінієвих і магнієвих сплавів (рис. 1.28).

Стандартом передбачені три поля допуску середнього діаметра d_2 для зовнішньої нарізі (шпильки) – $3n$, $3p$, $2r$ і одне поле допуску середнього діаметра D_2 – для внутрішньої нарізі (нарізний отвір – $2H$). Поля допусків зовнішньої нарізі d встановлені $6e$ і $6c$, а внутрішньої нарізі D_1–$4D$, $5D$, $4C$, $5C$, що забезпечує по зовнішньому діаметру зазор, а по середньому – натяг.

Оскільки навіть незначне збільшення натягу пришвидшує зростання напружень у з'єднанні, що може спричинити появу пластичних деформацій, виникає необхідність проведення селективного складання з сортуванням нарізних деталей на дві чи три розмірні групи; сортування слід проводити за середнім діаметром у середній частині довжини нарізі шляхом добору однойменних розмірних груп.

Рекомендовані поля допусків, їх сполучення, що утворюють посадки нарізних з'єднань з натягом, наведені в табл. 1.5. В дужках зазначено кількість груп сортування. Позначення запису поля допуску для метричної нарізі із натягом: $M20-\frac{2H5D(2)}{3p(2)}$.

Таблиця 1.5

Рекомендовані поля допусків у нарізних з'єднаннях з натягом за ГОСТ 4608–81 [49]

Матеріал деталі з внутрішньою нарізю	Поля допусків			Посадки		Додаткові умови
	зовнішньої нарізі	внутрішньої нарізі при кроках Р		при кроках Р		
		до 1,25 мм	понад 1,25 мм	до 1,25 мм	понад 1,25 мм	
Чавун і алюмінієві сплави	$2r$	$2H5D$	$2H5C$	$\frac{2H5D}{2r}$	$\frac{2H5C}{2r}$	–
Чавун, алюмінієві та магнієві сплави	$2p(2)$	$2H5D(2)$	$2H5C(2)$	$\frac{2H5D(2)}{3p(2)}$	$\frac{2H5C(2)}{3p(2)}$	Сортування на дві групи
Сталь, високоміцні та титанові сплави	$3n(3)$	$2H4D(3)$	$2H4м(3)$	$\frac{2H4D(3)}{3n(3)}$	$\frac{2H4C(3)}{3n(3)}$	Сортування на три групи

1.12.6. ВІДХИЛИ КРОКУ, КУТА ПРОФІЛЮ ТА ЇХ ДІАМЕТРАЛЬНА КОМПЕНСАЦІЯ

Основним параметром нарізного з'єднання, що забезпечує точність і визначає його характер, є *середній діаметр*.

Взаємне розташування контактних бічних поверхонь профілю залежить від дійсних значень, або відхилів середніх діаметрів, кроків нарізі та кутів нахилу профілю. Відхили кроку й половини кута профілю, що впливають на взаємозамінність, стандартом не нормуються. В усіх циліндричних нарізях з прямолінійними бічними поверхнями профілю відхили кроку й кута профілю для забезпечення згвинчування можуть компенсуватися відповідними змінами дійсного середнього діаметра нарізі.

Відхилом кроку нарізі ΔP_n називають різницю між дійсною та номінальною відстанями в осьовому напрямку між двома середніми точками будь-яких однойменних бічних поверхонь профілю в межах довжини згвинчування. Для того щоб згвинчування гайки з болтом стало можливим, потрібно зменшити середній діаметр d_2 нарізі болта або збільшити середній діаметр

нарізі D_2 гайки на f_p (на $f_p/2$ з кожного боку від осі). Тоді профіль болта збігатиметься з середньою лінією, яка пройде через D_2 гайки або d_2 болта.

Величину f_p називають діаметральною компенсацією похибки кроку нарізі; значення ΔP_n і f_p – вимірюють у мікрометрах. Водночас існують формули підрахунку ΔP_n та f_p з урахуванням кута профілю нарізі:

– для метричної нарізі ($\alpha = 60°$) $f_p = 1{,}732 \cdot \Delta P_n$;

– для трубної нарізі ($\alpha = 55°$) $f_p = 1{,}921 \cdot \Delta P_n$;

– для трапецієподібної нарізі ($\alpha = 30°$) $f_p = 3{,}732 \cdot \Delta P_n$;

– для упорної нарізі ($\beta = 30°$; $\gamma = 3°$) $f_p = 1{,}175 \cdot \Delta P_n$.

Аналізуючи похибки кута профілю нарізі, вимірюють не кут, а половину кута профілю $\alpha/2$, який для метричної нарізі дорівнює 30°. Вимірювання кута $\alpha/2$ дає змогу визначити величину α і перекіс нарізі.

Відхил половини кута профілю нарізі $\Delta\alpha/2$ болта або гайки (для нарізей з симетричним профілем) – це різниця між дійсними та номінальними значеннями $\alpha/2$. При симетричному профілі нарізі відхил $\Delta\alpha/2$ знаходять як середнє арифметичне абсолютних значень відхилів обох половин кута профілю (з правим і лівим нахилами твірних витка: $\Delta\alpha/2 = 0{,}5 \cdot (\Delta\alpha/2_{\text{прав}} + \Delta\alpha/2_{\text{лів}})$.

Згвинчування нарізних деталей, що мають похибку кута профілю $\Delta\alpha/2$, можливе лише за наявності необхідного зазору по середніх діаметрах їхньої нарізі, тобто діаметральної компенсації f_a цієї похибки. Компенсація може бути отримана при зменшенні середнього діаметра нарізі болта або збільшенні середнього діаметра нарізі гайки на величину f_a. У цьому випадку профіль витка збігатиметься з середньою лінією, яка пройде через D_2 гайки або через d_2 болта, і згвинчування стане можливим.

Величину f_a визначають за формулами (f_a, мкм; P, мм; $\Delta\alpha/2$, кутові хвилини):

– для метричної нарізі ($\alpha = 60°$): $f_a \approx 0{,}29 \cdot P \cdot \Delta\alpha/2$;

– для трубної нарізі ($\alpha = 55°$): $f_a \approx 0{,}35 \cdot P \cdot \Delta\alpha/2$;

– для трапецієподібної нарізі ($\alpha = 30°$): $f_a \approx 0{,}582 \cdot P \cdot \Delta\alpha/2$;

– для упорної нарізі: ($\beta = 30°$; $\gamma = 3°$) $f_a \approx 0{,}46 \cdot P \cdot (\Delta\beta + 0{,}75\Delta\gamma)$.

1.12.7. ЗВЕДЕНИЙ СЕРЕДНІЙ ДІАМЕТР

Для спрощення контролю нарізі та розрахунку допусків введено поняття середнього діаметра нарізі, який впливає на згвинчуваність величин d_2 (D_2), f_p, f_α.

Значення середнього діаметра нарізі, збільшене для зовнішньої нарізі й зменшене для внутрішньої на сумарну діаметральну компенсацію кроку та кута профілю, називають *зведеним середнім діаметром*.

Згвинчуваність можна вважати забезпеченою, якщо різниця середніх діаметрів нарізі болта й гайки не менша за суму діаметральних компенсацій кроку й половини кута профілю обох деталей.

Зведений середній діаметр:

– для зовнішньої нарізі: $d_{2зв} = d_{2вим} + f_p + f_\alpha$;

– для внутрішньої нарізі: $D_{2зв} = D_{2вим} - (f_p + f_\alpha)$,

де $D_{2\,вим}$ і $d_{2\,вим}$ – виміряні (дійсні) значення середнього діаметра внутрішньої та зовнішньої нарізей.

Для згвинчування болта з гайкою необхідна діаметральна компенсація як додатна, так і від'ємна f_p та f_α, а тому в першій формулі визначення зведеного середнього діаметра похибок f_p та f_α приймають зі знаком плюс, а в другій – зі знаком мінус.

Зазор в нарізному з'єднанні визначається різницею дійсних значень зведених середніх діаметрів внутрішньої та зовнішньої нарізей.

1.12.8. ТРАПЕЦІЄПОДІБНА НАРІЗЬ

Трапецієподібну нарізь з зовнішнім і внутрішнім профілем застосовують у відповідних деталях (ходових гвинтах, валах металорізальних верстатів, випробувальних машинах, установках). За міцністю витка на зріз вона краща від прямокутної, а тим паче від трикутної нарізі. Елементи трапецієподібної нарізі регламентує ГОСТ 9484–81 [50].

Допуски та посадки трапецієподібної нарізі регламентують ГОСТ 9562–81 [51] – для однозахідної і ГОСТ 24739–81 [52] – для багатозахідної.

Номінальний профіль і розташування полів допусків трапецієподібної нарізі зображено на рис. 1.29. Встановлені основні

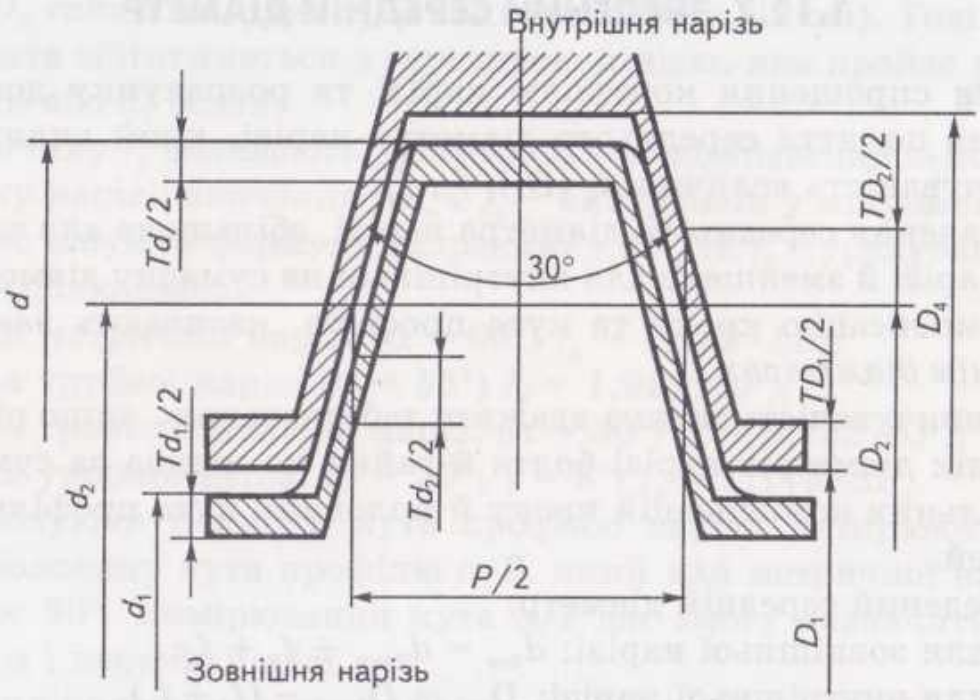


Рис. 1.29. Профіль і основні параметри трапецієподібної нарізі

відхили середнього діаметра гвинтів однозахідної нарізі c, e, g, h та багатозахідної c, e, g; для середнього D_2, внутрішнього D_1 і зовнішнього D діаметрів нарізі гайки – посадка H; для зовнішнього d і внутрішнього d_2 діаметрів нарізі болта – посадка h. Верхній відхил зовнішнього діаметра гайки, граничні відхили окремо кроку та кута профілю не встановлені. Допуски середнього діаметра трапецієподібної нарізі є сумарними. Поля допусків однозахідної та багатозахідної нарізей встановлені в точному, середньому та грубому класах; довжини згвинчування поділяються на дві групи: нормальні N й довгі L. Посадки застосовують тільки в системі отвору. Приклади позначення точності багатозахідної нарізі $T_r20\times4(P2)$–8H – позначення поля допуску гайки; $T_r20\times4(P2)$–8e – позначення поля допуску гвинта; $T_r20\times4(P2)-\frac{8H}{8e}$ – позначення посадки (цифра 4 – хід нарізі, P – крок, 2 – числове значення кроку). Приклади позначення точності однозахідної нарізі: $T_r40\times6$–7e, $T_r40\times6$–7H, $T_r40\times6-\frac{7H}{7e}$.

Чинні стандарти, геометричні параметри для різних видів нарізей і приклади їх позначень на кресленнях зведено у табл. 1.6. Там перелічено такі її види: метрична, дюймова, трубна,

Таблиця 1.8

Основні параметри деяких стандартних нарізей і приклади їх позначень на кресленнях

Вид нарізі	Стандарт	Інтервали діаметрів, мм (або дюйми)	Інтервали кроків, мм (або кількість ниток на 1″)	Стандарт на допуски нарізі	Класи точності	Приклади позначень на кресленнях нарізних деталей
Метрична з великими кроками Метрична з дрібними кроками	ГОСТ 8724–2002 ГОСТ 9150–2002	1–68 1–600	0,25–6 0–6	ГОСТ 16093–81 ГОСТ 6357–81	Точний, середній, грубий Точний, середній, грубий	*M*-10-5*H*/4*h* *M*-10-7*H*/7*h* *M*-10-8*H*/8*g* *M*10×1,56*H*/6*h* *M*10×2–7*H*/7*h* *M*10×2,5–8*G*/8*g*
Дюймова з кутом профілю $\alpha = 55°$	ГОСТ 6357–81	(1/8″–6″) (1/16″–6″)	(28–11 на 1″)	ГОСТ 6357–81	*A*, *B*	Труб. 2 кл А Ст. – 2–А Ст. – А/А*
Трубна циліндрична	ГОСТ 6357–81	(1/8″–6″)	(28–11 на 1″)	ГОСТ 6357–81	*A*, *B*	Труб. 2 кл А Ст. – А/А*, Ст. – 2*A*
Трапецієподібна однозахідна	ГОСТ 9484–81	8–640	1,5–48	ГОСТ 6357–81	–	*Tr*32×6–7*e* *Tr*32×6–7*H*
Упорна	ГОСТ 10177–82	10–640	2–48	ГОСТ 10177–82	–	*S*80×10–7*h* *S*80×10–7*AZ*
Метрична для діаметрів 0,25...0,9 мм	ГОСТ 9050–81	0,25–0,9	0,075–0,225	ГОСТ 9000–81	Точний	*M*0,5–4*H*45 *M*0,5–5*h*5
Конічна дюймова з кутом профілю $\alpha = 60°$	ГОСТ 6111–52	(1/16″–6″)	27–11 $^1/_2$ на 1	ГОСТ 6111–52	Один ступінь точності	К3/4″ ГОСТ 6111–52
Трубна конічна з кутом профілю $\alpha = 55°$	ГОСТ 6211–81 ГОСТ 6211–81	1/8″–6 1/16″–6	28–11 на 1″	ГОСТ 6211–81	–"–	Труб. 2 ГОСТ 6211–81 R_c2; *R*2

трапецієподібна, упорна, метрична дрібна, конічна дюймова, трубна конічна.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть види нарізей та їх призначення.
2. Перелічіть основні елементи зовнішньої та внутрішньої нарізей.
3. Як утворюються поля допусків у посадках з зазором для метричної нарізі?
4. Як позначають посадки з зазором для метричної нарізі на кресленнях?
5. Як утворюються поля допусків у перехідних посадках для метричної нарізі?
6. Як позначають на кресленнях перехідні посадки для метричної нарізі?
7. Як утворюються поля допусків у посадках з натягом для метричної нарізі?
8. Як позначають посадки з натягом для метричної нарізі на кресленнях?
9. Наведіть приклади позначення трапецієподібної нарізі на кресленику.
10. Які ви знаєте назви нарізних з'єднань?

1.13. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ

1.13.1. З'ЄДНАННЯ З ПРИЗМАТИЧНОЮ ШПОНКОЮ

Шпонкові з'єднання призначені для передачі обертових моментів між валами і втулками, а також для фіксування взаємного розташування з'єднуваних деталей. З іншого боку – виготовлення пазів (особливо на валу чи втулці) послаблює їх переріз за рахунок створення концентраторів напружень, що може призвести до руйнування шпонкових деталей. Для уникнення цього явища передбачено виготовлення шпонки із низькоміцної сталі, розрахованої на зріз або зминання при виникненні напружень, більших від розрахункових моментів.

Серед різноманітних шпонок (сегментних, клинових, круглих, циліндричних, спеціальних) найбільш поширені призматичні.

Згідно з ГОСТ 23360–78 [53] та ДСТУ ISO-286-2:2002 [35] основними параметрами з'єднання з призматичною шпонкою (рис. 1.30) є: b – ширина шпонки, ширина пазів вала і втулки;

h – висота шпонки; l – довжина шпонки; t_1 і t_2 – глибина пазів вала й втулки відповідно; $d - t_1$ – розмір послабленого перерізу вала зі шпонковим пазом; $d + t_2$ – розмір послабленого перерізу втулки зі шпонковим пазом; $(d + t_2) - h = H$ – зазор між висотою шпонкового паза з'єднання й висотою шпонки відповідно. Його наявність завжди є обов'язковою з експлуатаційних міркувань для шпонкових з'єднань. Види конструкцій призматичних шпонок, які використовують для складання шпонкових з'єднань, зображено на рис. 1.31 [10].

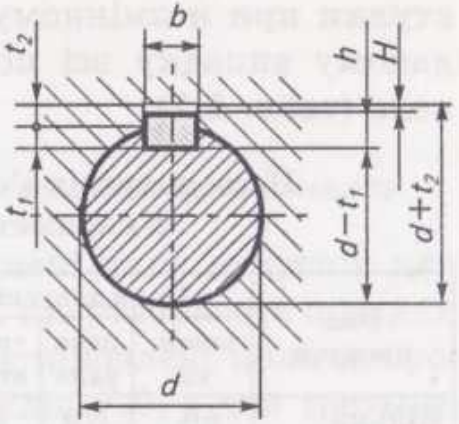


Рис. 1.30. Основні елементи та параметри з'єднання з призматичною шпонкою

Призматичні шпонки призначені для з'єднання з валом зубчастих коліс, шківа, маховиків, муфт, причому з'єднання ці можуть бути нерухомими або рухомими. За шириною шпонки (розміром b) на практиці виокремлюють три різновиди посадок для шпонкових з'єднань:

вільна – застосовують в утруднених умовах складання або для одержання рухомих з'єднань з рівномірними й легкими режимами роботи;

нормальна – застосовують для одержання нерухомих з'єднань, що не потребують частого розбирання та не сприймають ударних реверсивних навантажень;

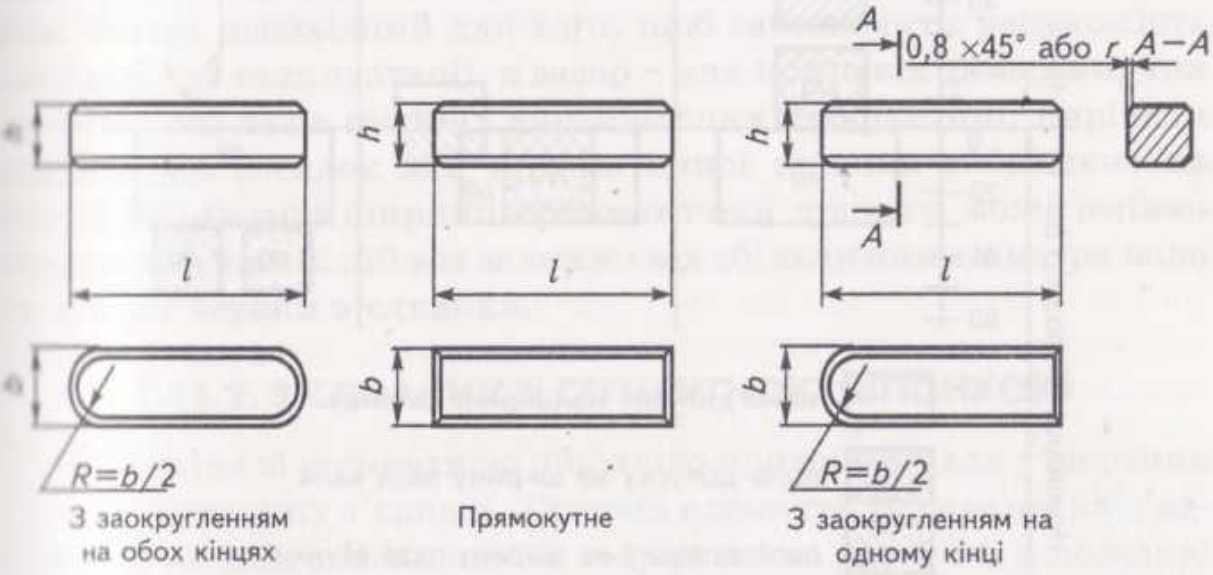


Рис. 1.31. Ескізи призматичних шпонок з проставленими розмірами

щільна – застосовують для одержання нерухомих з'єднань з гарантованим натягом шпонки в пазах вала та втулки, які передбачають реверсивні поштовхи з ударними навантаженнями (рис. 1.32).

Зазначимо, що в усіх перелічених з'єднаннях шпонка за шириною b завжди при складанні у пазі вала виконується напресуванням, тобто отримуємо посадку з натягом.

Посадки отримують зміною полів допусків пазів вала та втулки при незмінному полі допуску шпонки за шириною. У даному випадку всі посадки отримують у системі основного вала (табл. 1.7).

Таблиця 1.7

Поля допусків з'єднань з призматичними шпонками за параметром b за ГОСТ 23360–78 [53]

Вид посадки	Поля допусків			Призначення посадки
	шпонки	паза вала	паза втулки	
Вільна	$h9$	$H9$	$D10$	Для напрямних шпонок
Нормальна	$h9$	$N9$	$JS9$	Для серійного та масового виробництва
Щільна	$h9$	$P9$	$P9$	Для одиничного й серійного виробництва



Рис. 1.32. Схема розташування полів допусків і посадок шпонкових з'єднань

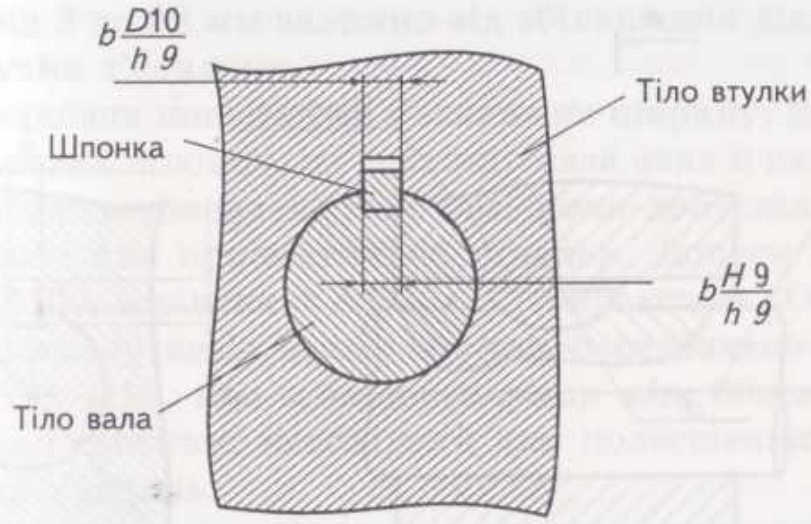


Рис. 1. 33. Позначення посадок призматичних шпонок на кресленику

Для першого виду з'єднань встановлені поля допусків для паза на валу $H9$ і для паза у втулці $D10$, що утворюють посадки з зазором. Для другого виду з'єднань встановлені поля допусків для паза на валу $N9$ і для паза у втулці J_S9, а для третього виду – однакові поля для паза на валу й у втулці $P9$. З'єднання другого й третього видів утворюють перехідні посадки.

Довжині шпонки l відповідає поле допуску $h14$, а довжині паза вала – $h15$. Висота шпонки h, як правило, має поле допуску $h11$.

Таким чином, шпонки з'єднують з валами нерухомою посадкою з натягом, а з втулками – рухомою посадкою з зазором. Натяг необхідний для того, щоб забезпечити нерухомість шпонки при експлуатації, а зазор – для компенсації неминучих неточностей пазів після їх виготовлення на практиці. Варіанти позначення посадок для призматичної шпонки зображено на рис. 1.33. Розмір ширини призматичної шпонки може змінюватися в межах 6...50 мм залежно від збільшення діаметра вала та отвору втулки з'єднання.

1.13.2. З'ЄДНАННЯ ЗІ СЕГМЕНТНОЮ ШПОНКОЮ

З'єднання зі сегментною шпонкою призначені для утворення тільки нерухомих з'єднань. Основні елементи та параметри з'єднання зі сегментною шпонкою зображені на рис.1.34, а можливі види виконань сегментних шпонок – на рис.1.35.

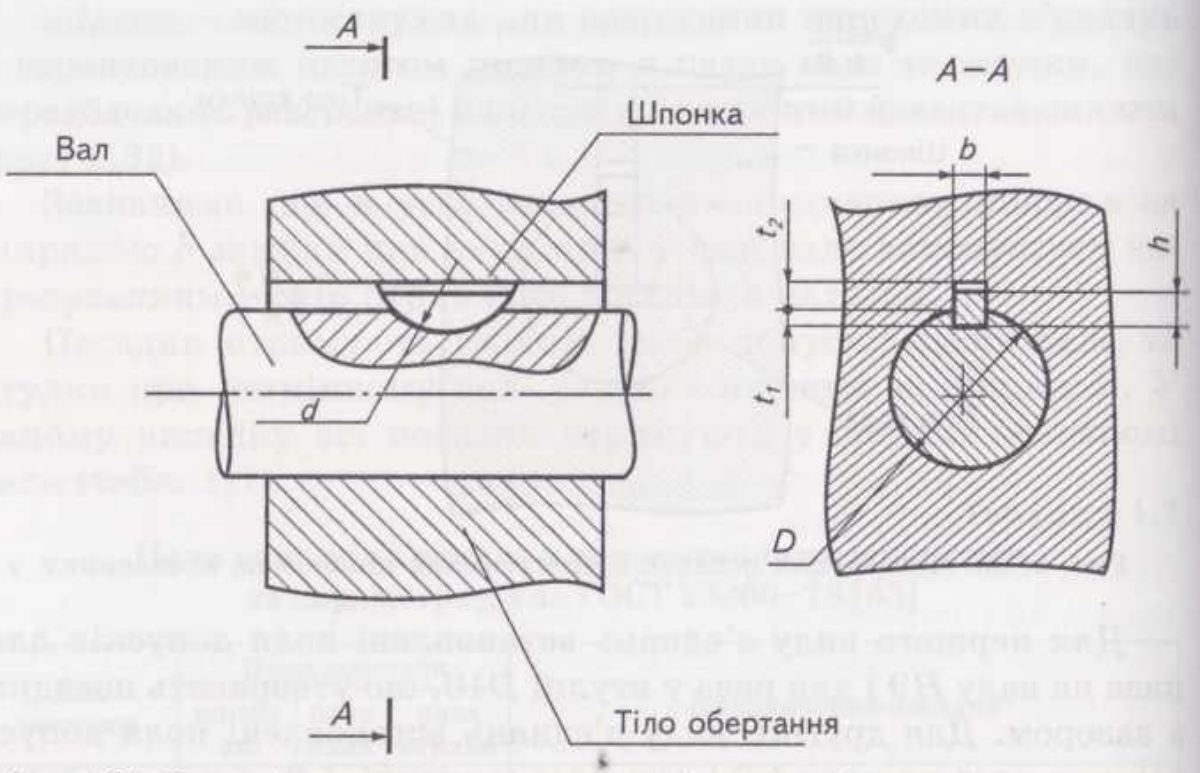


Рис. 1.34. Основні елементи та параметри з'єднання зі сегментною шпонкою

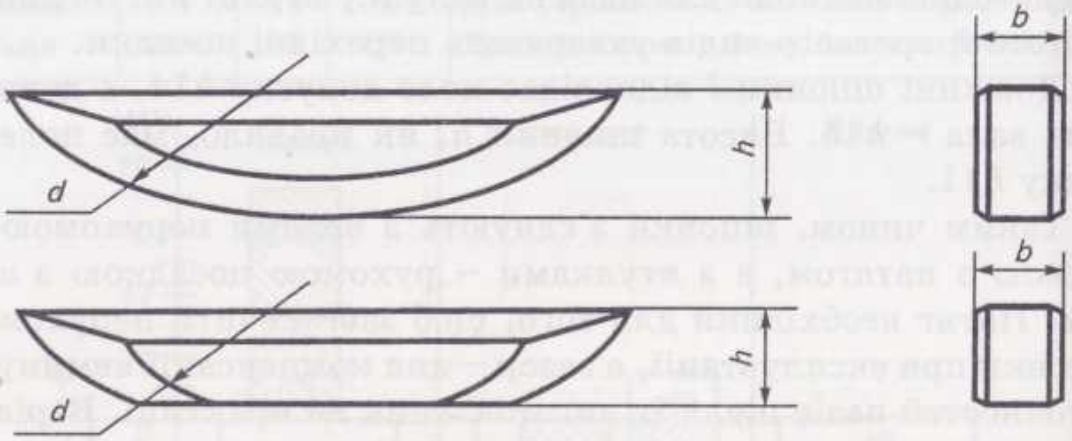


Рис. 1.35. Види виконань сегментних шпонок

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 24071–97 [54] та ДСТУ ГОСТ 24069:2005 [55], для сегментних шпонок передбачено два призначення: нормальне і щільне з'єднання, а також допуски на шпонкові пази (ДСТУ ГОСТ 24071:2005 [56]).

Для сегментних шпонок встановлені такі поля допусків: на її ширину b – посадку $h9$, на ширину паза вала – $P9$, $N9$, на ширину паза втулки – $JS9$, $P9$. На висоту сегментної шпонки h встановлено поле допуску $h11$, а на параметр d – поле допуску $h12$. Розмір ширини сегментної шпонки може змінюватися

в межах від 3 до 38 мм залежно від збільшення діаметра вала, отвору втулки з'єднання.

Для клинових шпонкових з'єднань на ширину, висоту й довжину клинових шпонок, на довжину паза вала й глибину пазів вала і втулки встановлені такі самі поля допусків і граничні відхили, як і для призматичних шпонок. Допуск на кутовий розмір (∠1:100, дорівнює ± АТ 10/2) добирають за ГОСТ 8908–81 [68]. На ширину пазів вала і втулки передбачено лише одне поле допуску Д10, яке забезпечує зазор між бічними поверхнями пазів і шпонки, необхідний для полегшення складання шпонкових з'єднань.

Значення основних відхилів і допусків для полів допусків визначають за ДСТУ 2500–94 [36].

На кресленнях граничні відхили елементів шпонкового з'єднання з клиновою шпонкою призначають за загальними правилами; особливістю є те, що з одного боку клинової шпонки вказують посадку шпонки з пазом вала, а з другого – з пазом втулки.

Контрольні запитання та завдання

1. Яке призначення з'єднань з призматичною шпонкою?
2. Яке призначення з'єднань з сегментною шпонкою?
3. Яке призначення з'єднань з клиновою та тангенціальною шпонками?
4. Як вибирають поля допусків з'єднань з призматичною шпонкою залежно від виду посадки?
5. Як вибирають поля допусків з'єднань з сегментною шпонкою залежно від виду посадки?
6. Як вибирають поля допусків з'єднань з клиновою та тангенціальною шпонками залежно від виду посадки?

1.14. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ШЛІЦЬОВИХ З'ЄДНАНЬ З ПРЯМОБІЧНИМ ПРОФІЛЕМ

1.14.1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Шліцьові з'єднання мають надзвичайно велике значення для сучасного машинобудування. На відміну від шпонкових, вони не тільки здатні передавати великі обертові моменти, а й дають змогу здійснювати відносне переміщення з'єднуваних деталей уздовж осі, легко складаються чи розбираються під час ремонту.

Існує три різновиди шліцьових з'єднань: з прямобічним, евольвентним і трикутним профілем шліців. Найчастіше використовують шліцьові з'єднання з прямобічним профілем, що пояснюється простим його виготовленням. Евольвентний профіль шліца порівняно з прямобічним є міцнішим, тому такі з'єднання застосовують у силових передачах механізмів. Найменш поширені шліцьові з'єднання з трикутним профілем, які зазвичай застосовують у передачах механізмів з невеликими крутними моментами. Наприклад, рульовий механізм в автомобілі.

Детальніше розглянемо шліцьові прямобічні з'єднання, які можуть бути як рухомими, так і нерухомими. Залежно від величини обертового моменту, згідно з ГОСТ 1139-80 [57], їх поділяють на три типи: легкий, середній та важкий.

Основними параметрами прямобічних шліцьових з'єднань є (рис. 1.36) є: D – зовнішній діаметр; d – внутрішній діаметр; b – ширина шліців (товщина шліца вала і ширина западини втулки). Перелічені розміри цих параметрів є однаковими номінальними розмірами для шліцьових вала і втулки.

У прямобічних шліцьових з'єднаннях передбачено центрування (прилягання) шліцьових деталей за одним з їх параметрів: за зовнішнім D і внутрішнім d діаметрами та за бічними поверхнями шліців (зубців) за розміром b. Якщо центрування з'єднання здійснюють за одним із перелічених параметрів, то між поверхнями інших нецентруючих параметрів передбачені зазори, якими можна скомпенсувати похибки форми та взаємного розташування елементів шліцьових деталей.

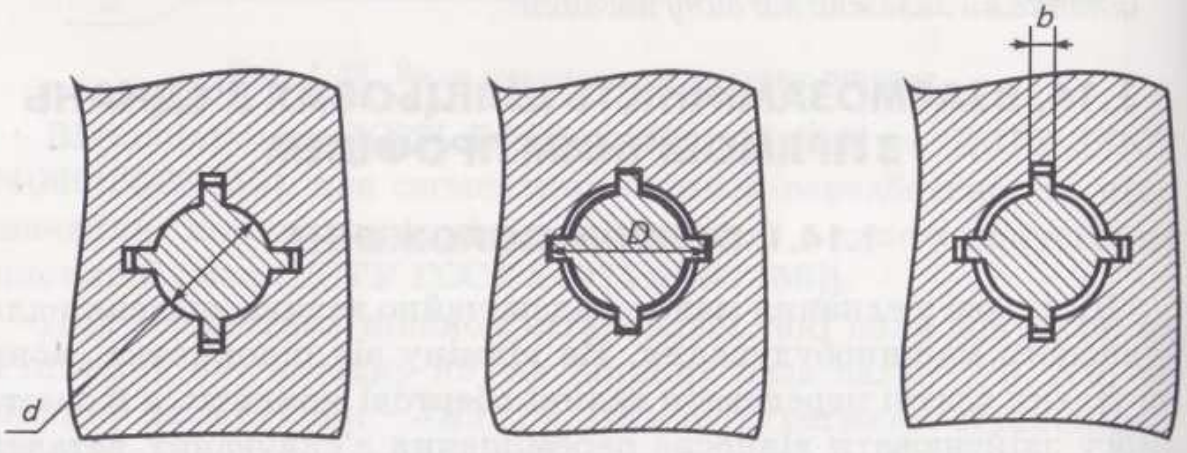


Рис. 1.36. Види центрувань шліцьових з'єднань з прямобічним профілем

Розглянемо види центрувань шліцьових з'єднань з прямобічним профілем з урахуванням вимог щодо забезпечення їх співвісності (рис. 1.36).

Шліцьові з'єднання з прямобічним профілем застосовують для передачі великих крутних моментів і при високих вимогах щодо співвісності з'єднуваних деталей.

Центрування за внутрішнім діаметром d застосовують тоді, коли твердість поверхонь вала і втулки висока. Це найбільш точний вид центрування, його використовують тільки для рухомих з'єднань.

Центрування за зовнішнім діаметром D застосовують тоді, коли твердість поверхні вала вища від твердості поверхні втулки. Цей вид центрування забезпечує високу точність; його застосовують як для рухомих, так і для нерухомих з'єднань, які передають малі крутні моменти.

Центрування за бічними сторонами зубців b застосовують для передачі знакозмінних навантажень (реверсивний рух) і великих крутних моментів. Цей вид центрування дає змогу рівномірно розподілити навантаження між зубцями, але не забезпечує високої точності центрування й тому рідко застосовується.

1.14.2. УТВОРЕННЯ ПОЛІВ ДОПУСКІВ

Для центрувальних поверхонь валів встановлено основні відхили d, e, f, g, h, а також квалітети 5, 6, 7, 8, 9 для утворення перехідних посадок. Поля допусків центрувальних поверхонь втулок $H6$, $H7$, $H8$ – для діаметрів D та $F8$, $D9$, $D10$, $JS10$ – для параметра b. Окрім цього, встановлені поля допусків на нецентрувальні діаметри d, D.

Рекомендовані поля допусків і посадок при центруванні за ГОСТ 1139–80 [57], для розміру D: посадки втулки $H7$; вала $f7$; $js6$; з'єднання $\frac{H7}{f7}; \frac{H7}{js6}$. Для розміру b: посадки втулки $F8$; $JS10$; вала $f7$; $f8$, $js7$; з'єднання $\frac{F8}{f7}; \frac{F8}{f8}; \frac{JS10}{js7}$.

Рекомендовані поля допусків і посадок при центруванні, за ГОСТ 1139–80, для розміру d: посадки втулки $H7$; вала $f7$; $g6$; з'єднання $\frac{H7}{f7}; \frac{H7}{g6}$. Рекомендовані поля допусків і посадок при центруванні, за ГОСТ 1139–80, для розміру b: посадки втулки $F8$; $D9$; $D10$; $F10$; вала $js7$; $e8$; $f8$; $d9$; з'єднання $\frac{F8}{js7}; \frac{D9}{e8}; \frac{D10}{f8}, \frac{F10}{d9}$, а також на нецентрувальні діаметри (табл. 1.8).

Таблиця 1.8

Поля допусків на нецентрувальні діаметри d, D за ГОСТ 1139–80 [57]

Нецентрувальний діаметр	Вид центрування	Поле допуску	
		вала	втулки
d	за D або b	див. d_1 в табл. 4.71 [2]	$H11$
D	за d або b	$a11$	$H12$

1.14.3. ПОЗНАЧЕННЯ ШЛІЦЬОВИХ З'ЄДНАНЬ З ПРЯМОБІЧНИМ ПРОФІЛЕМ

До параметрів шліцьового з'єднання з прямобічним профілем належать, наприклад: кількість зубців ($z = 8$), внутрішній діаметр ($d = 36$ мм), зовнішній діаметр ($D = 40$ мм), ширина шліца ($b = 7$ мм), а також посадки за параметрами:

$$d\left(\frac{H7}{e8}\right), D\left(\frac{H12}{a11}\right), b\left(\frac{D9}{f8}\right).$$

При позначенні літера відповідає центрувальному параметру, потім вказують кількість шліців, номінальні розміри d, D, b шліцьових вала та втулки, посадок для з'єднання або полів допусків для цих деталей.

При центруванні за параметром d позначення набуде такого вигляду:

$$d-8\times36\frac{H7}{e8}\times40\frac{H12}{a11}\times7\frac{D9}{f8}\ (\text{ГОСТ 1139–80}).$$

Допускається для нецентрувальних параметрів не вказувати посадки, наприклад, при центруванні за параметром D матимемо:

$$D-8\times36\times40\frac{H8}{h7}\times7\frac{F8}{h9}\ (\text{ГОСТ 1139–80}),$$

те ж саме при центруванні за параметром b:

$$b-8\times36\times40\frac{H12}{a11}\times7\frac{D9}{h8}\ (\text{ГОСТ 1139–80}).$$

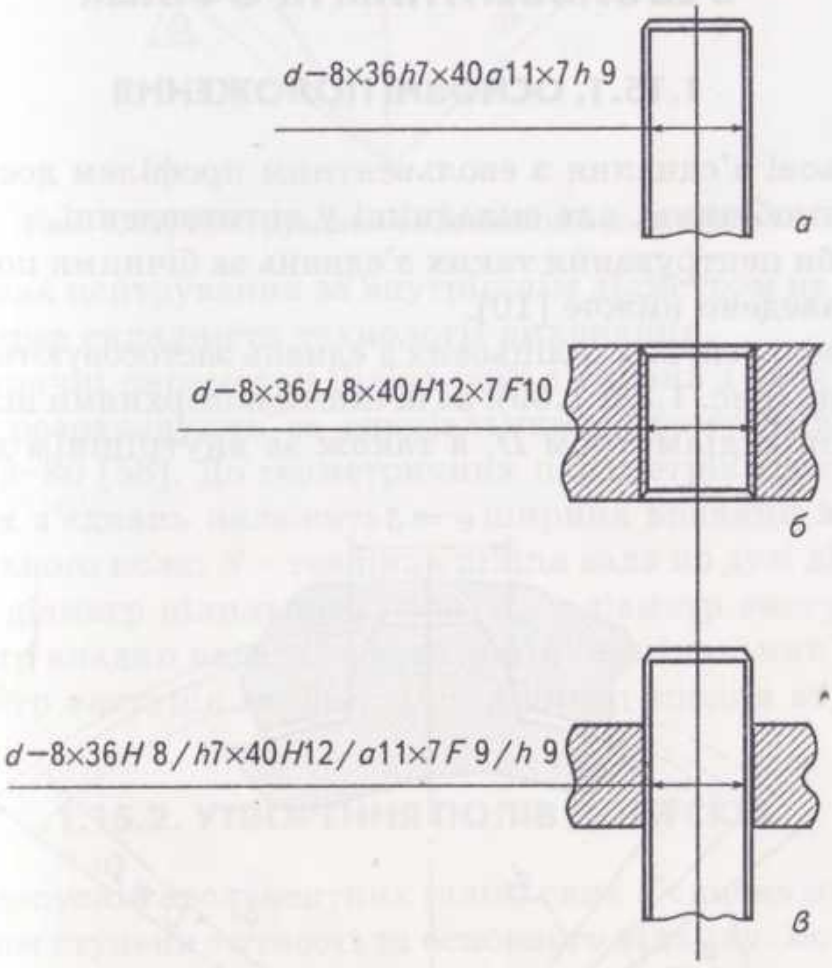


Рис. 1.37. Позначення шліцьового з'єднання на кресленнях:
а – шліцьовий вал; *б* – шліцьовий отвір; *в* – шліцьове з'єднання

Приклад детального позначення для шліцьового вала (*а*), шліцьової втулки (*б*) і шліцьового з'єднання (*в*) зображено на рис. 1.37, центрування за d.

Контрольні запитання та завдання

1. *Назвіть види шліцьових з'єднань і їх основні параметри.*
2. *Коли застосовують прямобічні шліцьові з'єднання?*
3. *Як вибирають поля допусків залежно від способу центрування?*
4. *Назвіть види посадок, які призначають на прямобічні шліцьові з'єднання.*
5. *Як позначають шліцьові з'єднання з прямобічним профілем на кресленнях?*

1.15. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ШЛІЦЬОВИХ З'ЄДНАНЬ З ЕВОЛЬВЕНТНИМ ПРОФІЛЕМ

1.15.1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Шліцьові з'єднання з евольвентним профілем досконаліші, ніж з прямобічним, але складніші у виготовленні.

Способи центрування таких з'єднань за бічними поверхнями шліців наведено нижче [10].

Для евольвентних шліцьових з'єднань застосовують такі види центрувань (рис. 1.38; 1.39): за бічними поверхнями шліців e (S), за зовнішнім діаметром D, а також за внутрішнім діаметром

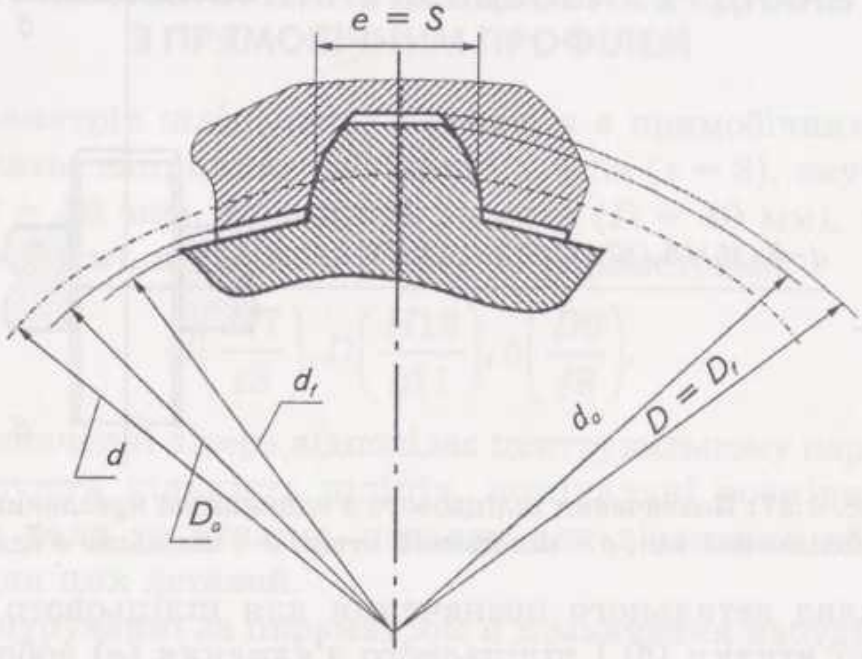


Рис.1.38. Центрування за бічними поверхнями шліців $e = S$

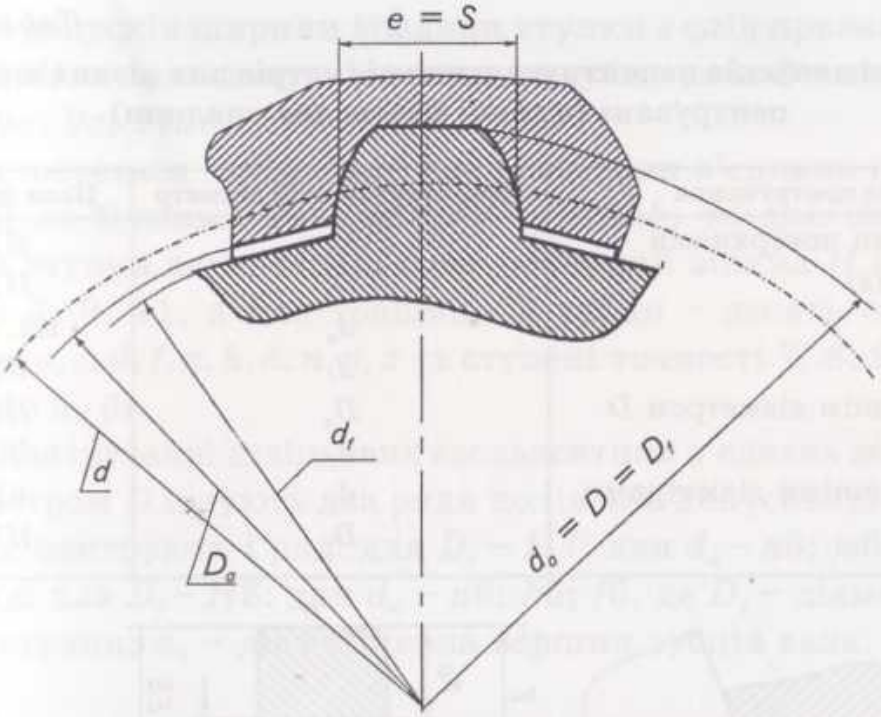


Рис. 1.39. Центрування за зовнішнім діаметром D

d_f (D_a), однак центрування за внутрішнім діаметром не рекомендується через складність технології виконання.

Геометричні параметри шліцьових з'єднань з евольвентним профілем розраховують за спеціальними формулами згідно з ГОСТ 6033–80 [58]. До геометричних параметрів евольвентних шліцьових з'єднань належать: e – ширина впадини втулки по дузі ділильного кола; S – товщина шліца вала по дузі ділильного кола; d – діаметр ділильного кола; d_a – діаметр виступів вала, d_f – діаметр впадин вала; D – зовнішній (номінальний) діаметр; D_a – діаметр виступів втулки; D_f – діаметр впадин втулки.

1.15.2. УТВОРЕННЯ ПОЛІВ ДОПУСКІВ

Поля допусків евольвентних шліцьових з'єднань отримують поєднанням ступеня точності та основного відхилу. Встановлені поля допусків на ширину впадини втулки T_e, ширину шліца T_s, сумарний допуск T, що враховує відхил форми та розташування елементів профілю, зображено на рис. 1.40, а посадки для нецентрувальних діаметрів для різних видів центрувань евольвентних з'єднань подані в табл. 1.9.

Таблиця 1.9

Поля допусків нецентрувальних діаметрів для різних видів центрувань (плоска форма дна впадини)

Вид центрування	Нецентрувальний діаметр	Поля допусків
За бічними поверхнями шліців e (s)	D_f	$H16$
	D_a	$H11$
	d_a	$d9$, $h12$
	d_f	$h16$
За зовнішнім діаметром D	D_a	$H11$
	d_f	$H16$
За внутрішніми діаметрами d_f (D_a)	d_a	$h12$
	D_f	$H16$

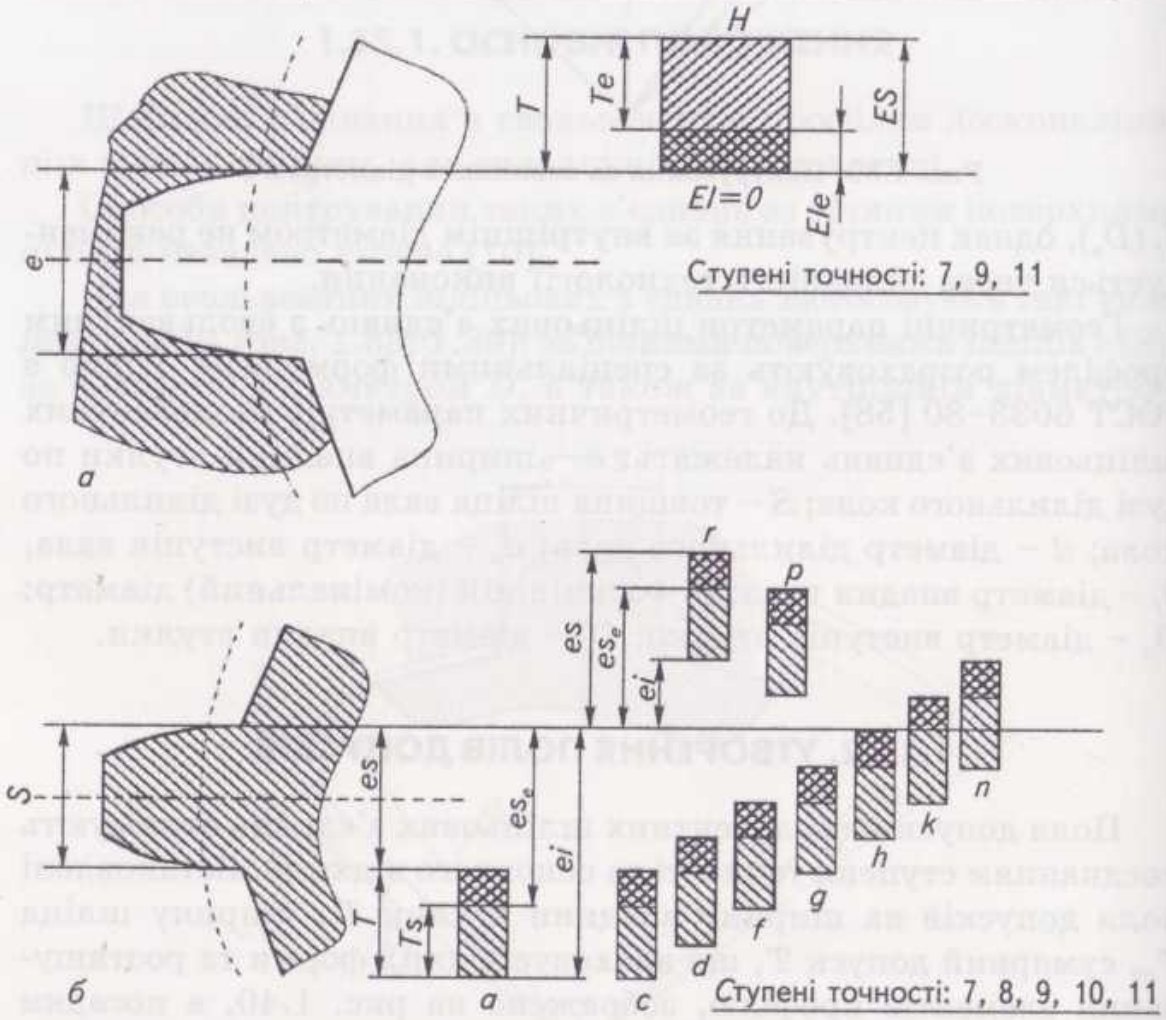


Рис. 1.40. Поля допусків для евольвентних шліцьових з'єднань при центруванні за бічними поверхнями шліців ширини впадин втулки ($а$), товщини вала ($б$)

Поля допусків ширини впадини втулки e слід призначити за $9H$ або $11H$, а поля допусків товщини зубця вала S – відповідно $9h$, $9g$, $9d$, $9c$, $11a$.

Що стосується шліцьових евольвентних з'єднань при центруванні за бічними поверхнями зубців b, то для ширини e впадини втулки встановлені один основний відхил H і ступені точності 7, 9, 11, а для товщини S зубця – десять основних відхилів: $a, c, d, f, g, h, k, n, p, z$ та ступені точності 7, 8, 9, 10, 11 (рис. 1.40 *а*, *б*).

При центруванні шліцьових евольвентних з'єднань за зовнішнім діаметром D існують два ряди полів для допусків діаметрів, за якими центрують I ряд: для D_f – $H7$; для d_a – $n6$; $js6$; $h6$; $g6$; $f6$; II ряд: для D_f – $H8$: для d_a – $n6$; $h6$; $f6$, де D_f – діаметр кола впадин втулки; d_a – діаметр кола вершин зубців вала.

1.15.3. ПОЗНАЧЕННЯ ШЛІЦЬОВИХ З'ЄДНАНЬ З ЕВОЛЬВЕНТНИМ ПРОФІЛЕМ

За ГОСТ 6033–80 [58], при позначенні шліцьових евольвентних з'єднань вказують: номінальний діаметр з'єднання D, модуль зубця m, посадку і посилання на стандарт.

При центруванні за бічними поверхнями шліців $9H/9g$:

$$50 \times 2 \times \frac{9H}{9g}.$$

Позначення втулки цього з'єднання: $50\times2\times9H$; позначення вала: $50\times2\times9g$, де 50 мм – номінальний діаметр; 2 мм – модуль зубця; $9H$ – допуск на параметр e; $9g$ – допуск на параметр s.

При центруванні за зовнішнім (номінальним) діаметром: D_f з посадкою за діаметром центрування $\frac{H7}{g6}$:

$$50 \times 2 \times \frac{H7}{g6}.$$

Позначення втулки цього з'єднання: $50\times2\times H7$; позначення вала: $50\times2\times g6$, де 50 мм – номінальний діаметр; 2 мм – модуль

зубця; $H7$ – допуск на параметр $D = D_f$; $g6$ – допуск на параметр d_a.

При центруванні за внутрішнім діаметром d_f з посадкою за діаметром центрування $\frac{H7}{g6}$:

$$i50 \times 2 \times \frac{H7}{g6}.$$

Позначення втулки цього з'єднання: $i50 \times 2 \times H7$; позначення вала цього з'єднання: $i50 \times 2 \times g6$, де 50 мм – номінальний діаметр; 2 мм – модуль зубця; $H7$ – допуск на параметр D_a; $g6$ – допуск на параметр d_f, i – вказує на центрування за внутрішнім діаметром.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть основні елементи евольвентних шліцьових з'єднань.
2. Коли застосовуються евольвентні шліцьові з'єднання?
3. Як вибирають поля допусків залежно від способу центрування?
4. Назвіть марки посадок для евольвентних шліцьових з'єднань.
5. Як позначають шліцьові з'єднання з евольвентним профілем зубця на кресленнях?

1.16. ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС І ПЕРЕДАЧ

1.16.1. ЗАГАЛЬНІ ДАНІ ПРО ЗУБЧАСТІ КОЛЕСА ТА ПЕРЕДАЧІ

Зубчасті передачі у різних галузях техніки застосовують для передавання крутних моментів на валах; для здійснення обертальних рухів валів з паралельними осями та осями, які перетинаються, а також для перетворення обертального руху зубчастого колеса в поступальний рух зубчастої рейки (ДСТУ 3423–96) [63].

За формою зубчастого колеса та взаємного розташування осей валів зубчасті передачі поділяють на: циліндричні з зовнішнім і внутрішнім зчепленням (осі паралельні); конічні (осі перехресні); гвинтові, гіпоїдні, черв'ячні та рейкові; для останніх маємо зчеплення зубчастого колеса з рейкою, діаметр якої $\to \infty$. Якщо механізму потрібен поворот на деякий кут, маємо зчеплення зубчастого колеса з зубчастим сектором.

За розташуванням і формою зубців зубчасті передачі поділяють на: прямозубі, косозубі та шевронні. За профілем зубця на: евольвентні та циклоїдні (зчеплення Новікова – по дузі ділильного кола). За швидкістю руху на валах: тихохідні, середньошвидкісні (всі зубчасті передачі загального призначення), а також швидкохідні – з великими коловими швидкостями.

За характером обертання зубчасті колеса будь-якої зубчастої передачі є ведучі (першого вала) і ведені (другого вала). Колесо передачі з меншою кількістю зубців називають шестернею, а з більшою – колесом. Якщо кількість зубців пари коліс однакова, то шестернею називають те колесо, яке веде.

Точність виготовлення зубчастих коліс регламентують стандартами залежно від виду передачі, наприклад: ДСТУ ISO 1328-1:2006 [59] та ДСТУ ISO 1328-2:2006 [60] для циліндричних – дванадцять ступенів точності, шість видів спряжень на бічний зазор (H, E, D, C, B, A), вісім видів допусків (h, d, c, b, a, z, y, x); для конічних передач – дванадцять ступенів точності, п'ять видів спряжень на бічний зазор (H, C, F, E, D); для черв'ячних передач – дванадцять ступенів точності, п'ять видів спряжень для колеса та черв'яка (H, E, D, C, B, A) і вісім видів допусків (h, d, c, b, a, z, y, x); для рейкових передач – десять ступенів точності, п'ять видів спряжень для рейки та циліндричного зубчастого колеса (H, C, F, E, D) і вісім видів допусків (h, d, c, b, a, z, y, x).

Водночас кожен ступінь точності має чотири норми точності:

кінематична точність колеса та передачі;

плавність роботи колеса та передачі;

контакт зубців у передачі;

бічний зазор у передачі (вид спряження).

Окрім цього, кожна норма точності характеризується низкою показників, за якими визначають похибки, наприклад: найбільшу кінематичну похибку – F_{ir}'; накопичену похибку кроку – F_r; накопичену похибку k кроків – F_{pkr}; похибку обкату – F_{cr}; радіальне биття – F_{rr}; коливання довжини загальної нормалі – W_r; коливання міжосьової відстані за один оберт колеса – F_{ir}''; найбільшу кінематичну похибку передачі – F_{ior}.

У такій же послідовності визначають похибки для норм плавності роботи, колеса та передачі, контакту зубців у передачі, а також на бічний зазор у передачі. Зазначимо, що за цими показниками визначають ступінь точності виготовленого зубчастого колеса для чотирьох норм точності.

Основною характеристикою зубчастого колеса є модуль: $m = \frac{d}{z}$ – через співвідношення ділильного діаметра d до кількості зубців z; $m = \frac{D_{\text{зовн.}}}{z+2}$ – через співвідношення зовнішнього діаметра $D_{\text{зовн.}}$ до кількості зубців $z + 2$; $m = \frac{p}{\pi}$ – через співвідношення колового кроку зубців p до числа π; $(\pi \cdot d = p \cdot z)$.

Модуль є лінійною величиною, виражається в міліметрах і являє собою довжину ділильного кола, що припадає на один зубець зубчастого колеса.

Нижче детально розпишемо взаємозамінність циліндричних зубчастих коліс і передач, оскільки останні найчастіше використовуються на практиці [10].

Треба зазначити, що наведені співвідношення щодо визначення модуля m дають однакове його значення, яке необхідно заокруглити до цілого числа. Наприклад: m=2,91 мм, приймається m=3 мм.

1.16.2. КІНЕМАТИЧНА ТОЧНІСТЬ

Кінематична точність зубчастих передач визначається кінематичною похибкою колеса, радіальним биттям зубчастого вінця, коливанням довжини загальної нормалі та міжосьової відстані за один оберт колеса (див. додаток Г, табл. 1–3).

Кінематичною похибкою зубчастого колеса F'_{ir} називається найбільша похибка кута повороту колеса в межах його повного оберту. Кінематична похибка обмежується допуском F'_i, причому

$$F'_i = F_p + f_f\,, \tag{1.46}$$

де F_p – допуск на накопичену похибку кроку по колесу; f_f – допуск на похибку профілю.

Накопиченою похибкою кроку по колесу F_{pr} називають найбільшу похибку у взаємному розташуванні двох однойменних профілів зубців обводу колеса. Накопичена похибка кроку по колесу обмежується допуском F_p. Схема визначення похибки кута повороту досліджуваного та еталонного зубчастих коліс зображена на рис. 1.41.

Похибкою кута повороту досліджуваного зубчастого колеса називають різницю між дійсним f_2 і номінальним f_3 кутами повороту, що виражається довжиною дуги ділильного кола (за умови f_1 кута повороту еталонного колеса)

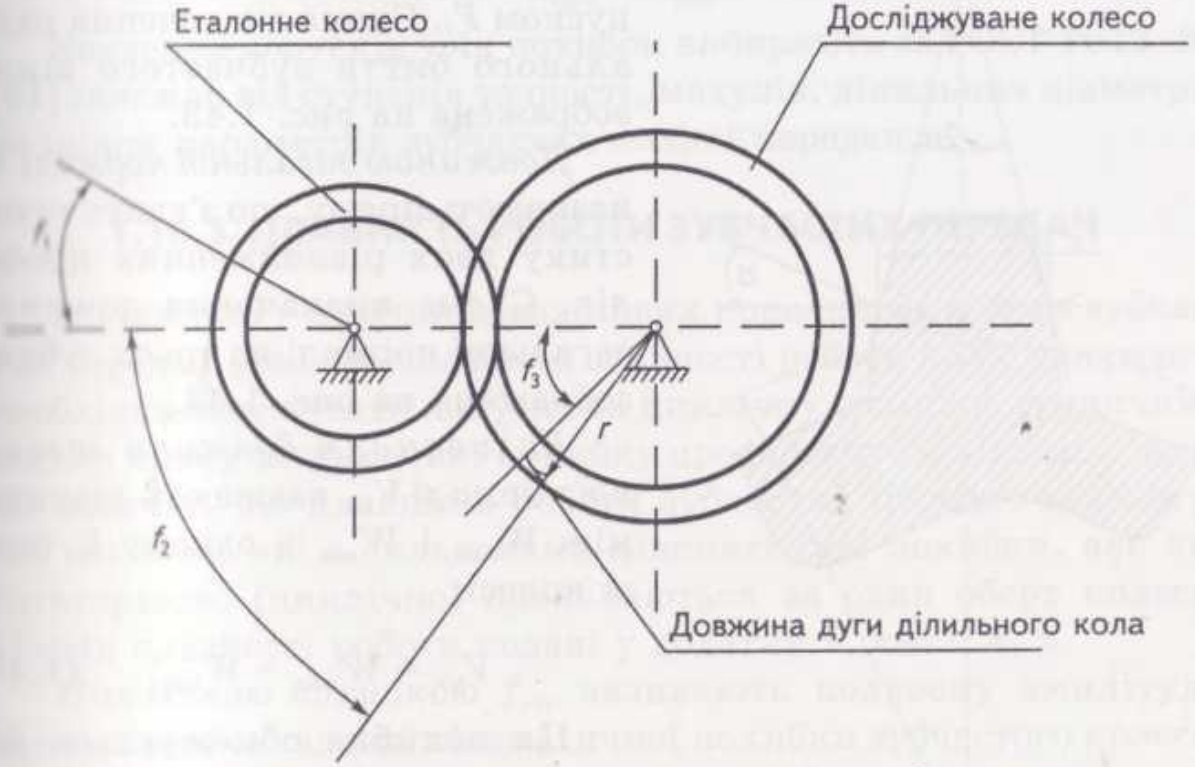


Рис. 1.41. Визначення похибки кута повороту досліджуваного зубчастого колеса

$$F_{k.n.} = (f_2 - f_3)\, r. \tag{1.47}$$

Графік зміни кінематичної похибки за один оберт зубчастого колеса зображено на рис. 1.42.



Рис. 1.42. Визначення кінематичної похибки зубчастого колеса за один оберт

Радіальним биттям зубчастого вінця F_{rr} називають найбільше коливання відстаней від постійних хорд зубців (впадин) до осі обертання. Радіальне биття зубчастого вінця обмежується допуском F_r. Схема визначення радіального биття зубчастого вінця зображена на рис. 1.43.

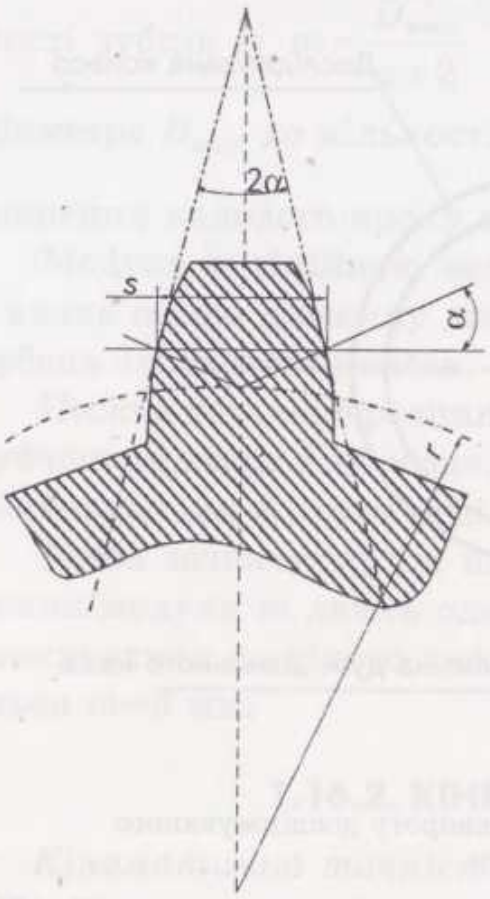


Рис. 1.43. Визначення радіального биття зубчастого вінця колеса

Довжиною загальної нормалі W називають пряму, що з'єднує точки стику двох різнойменних профілів. Схема визначення довжини загальної нормалі на трьох зубцях зображена на рис. 1.44.

Коливанням довжини загальної нормалі V_{wr} вважають різницю між W_{max} і W_{min} в одному й тому ж колесі:

$$V_{wr} = W_{max} - W_{min}. \qquad (1.48)$$

Ця похибка обмежується допусками, які встановлюють за ГОСТ 1643–81 [61], залежно від ступенів точності, модуля, ділильних діаметрів, зубчастих коліс і передач.

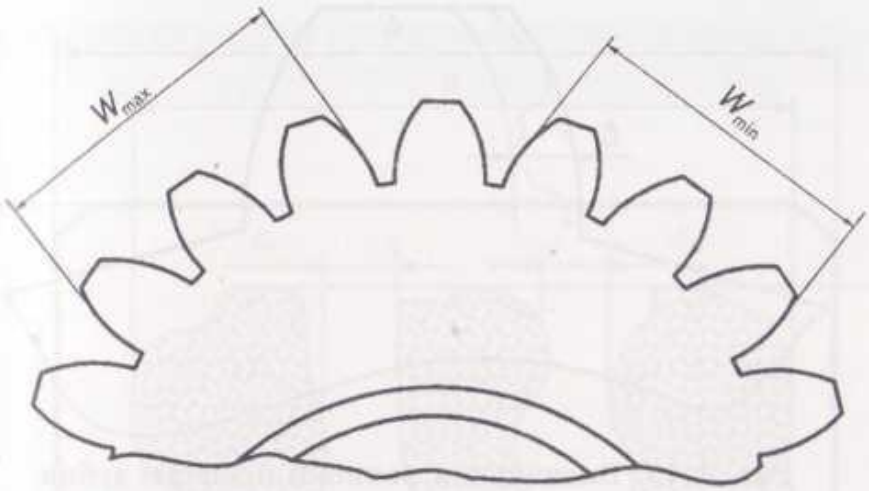


Рис. 1.44. Визначення довжини загальної нормалі зубчастого колеса

Коливанням міжосьової відстані за один оберт зубчастого колеса F''_{ir} називають різницю між найбільшою a_{max} і найменшою a_{min} дійсними міжосьовими відстанями вимірювального зубчастого колеса з контрольованим зубчастим колесом установки:

$$F''_{ir} = a_{max} - a_{min} . \qquad (1.49)$$

Значення допусків усіх похибок вибирають за ГОСТ 1643–81 [61] залежно від ступенів точності, модулів, ділильних діаметрів та інших параметрів зубчастих коліс і передач.

1.16.3. ПЛАВНІСТЬ РОБОТИ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

Плавність – це один із важливих показників роботи зубчастих передач. Для забезпечення плавності роботи коліс у передачі необхідно обмежувати допусками циклічну похибку, граничний відхил кроку зачеплення, похибку профілю зуба, відхил кроку. Це означає, що плавність роботи зубчастих передач залежить від похибок, які є складовими кінематичної похибки, але які багаторазово (циклічно) проявляються за один оберт колеса. Норми плавності роботи подані у додатку Г, табл. 4, 5.

Циклічною похибкою f_{zkr} називають подвоєну амплітуду гармонічної складової кінематичної похибки зубчастого колеса. Циклічну похибку обмежують допуском f_{zk}.

Відхили кроку зчеплення f_{pbr} – це різниця між дійсним і номінальним кроками зчеплення. Відхили кроку зчеплення обмежуються допуском f_{pb}, який задається граничними відхилами цього кроку.

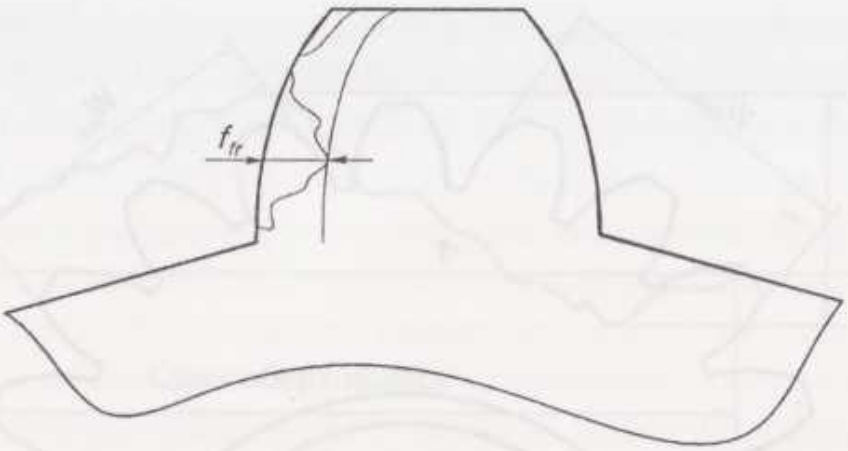


Рис. 1.45. Визначення похибки профілю зубця

Похибка профілю зубця f_{fr} – це відстань по нормалі між двома найближчими номінальними торцевими профілями зубця, між якими розміщується дійсний профіль зубця зубчастого колеса. Похибка профілю зубця обмежується допуском f_f. Схема визначення похибки профілю зубця зображена на рис. 1.45.

Відхилом кроку f_{ptr} називають різницю між дійсним кроком і розрахунковим торцевим кроком при його повороті на один номінальний кутовий крок. Цей відхил обмежується граничним відхилом кроку, що виражається допуском f_{pt}.

1.16.4. КОНТАКТ СПРЯЖЕНИХ ЗУБЦІВ КОЛІС

Контакт спряжених зубців коліс характеризує концентрацію навантаження на окремих ділянках бічних поверхонь зубців. Практично цей показник визначається плямою контакту (рис. 1.46). Пляма контакту, одержана на кожному зубці, свідчить про характер контакту зубців і рівномірність розподілу навантажень. Збільшення повноти контакту, тобто площі плями контакту на робочих поверхнях зубців, підвищує надійність передач. Норми контакту зубців у передачі подані у ГОСТ 1643–81 [61] та додатку Г, табл. 6, 7.

Рівномірний розподіл плями контакту на робочій поверхні зубців також підвищує надійність передач. Комплексним показником повноти контакту зубців є сумарна пляма, тобто частина активної бічної поверхні зуба, на якій помітні сліди прилягання його до зубців спряженого колеса в передачі після обертання її при заданому навантаженні.

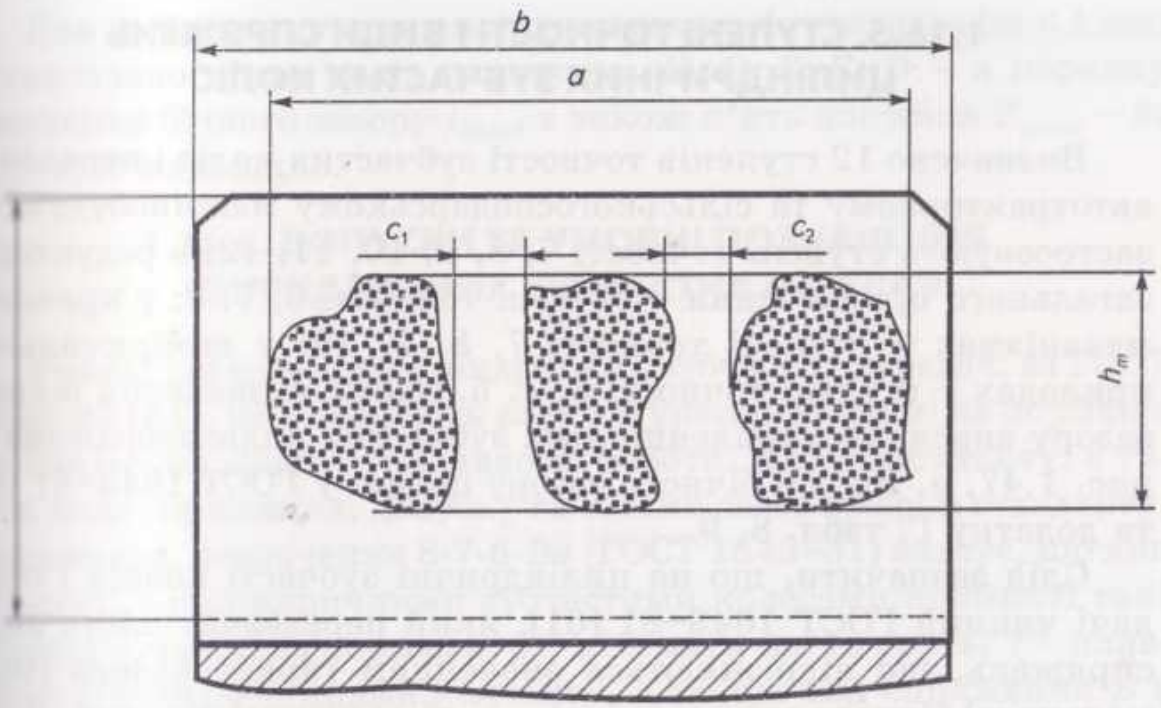


Рис. 1.46. Основні параметри плями контакту зубця

Пляма контакту оцінюється відносною довжиною за формулою

$$\left[\frac{\left(a-\sum c_1\right)}{b}\right]\cdot 100\%, \qquad (1.50)$$

де a – відстань між крайніми точками плями контакту; c – розриви між плямами і відносною висотою

$$\frac{h_m}{h_p}\cdot 100\%, \qquad (1.51)$$

де h_m – середня висота плями; h_p – висота зубця.

Для забезпечення необхідної точності прилягання зубців коліс встановлені допуски на похибки напрямку зубця F_{br}, непаралельності осей f_{xr}, перекошення осей f_{yr}.

На повноту контакту зубців зубчастої передачі впливають перекошення осей у вертикальній і горизонтальній площинах, точність зубонарізних верстатів і інструментів, точність виготовлених пристроїв для базування заготовок під зубооброблку тощо.

1.16.5. СТУПЕНІ ТОЧНОСТІ І ВИДИ СПРЯЖЕНЬ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Визначено 12 ступенів точності зубчастих коліс і передач. В автотракторному та сільськогосподарському машинобудуванні застосовують ступені точності 7, 8, 9, 10, 11, 12; в редукторах загального призначення – ступені точності 6, 7, 8; у кранових механізмах – ступені точності 7, 8, 9, 10; у вимірювальних приладах – ступені точності 3, 4, 5. Схема визначення бічного зазору внаслідок зчеплення двох зубчастих коліс зображена на рис. 1.47, *а*. Норми бічного зазору подані у ГОСТ 1643–81 [61] та додатку Г, табл. 8, 9.

Слід зазначити, що на циліндричні зубчасті колеса і передачі чинний ГОСТ 1643–81 [61], який передбачає шість видів спряжень, що відрізняються значенням гарантованого (мінімального) бічного зазору $j_{n\min}$: A – зі збільшеним зазором, B – із нормальним зазором, C – зі зменшеним зазором, D – з малим зазором, E – із дуже малим зазором, H – з нульовим зазором і вісім допусків $T_{j\min}$: x, y, z, a, b, c, d, h відповідно. Види спряжень зубчастих коліс з $m > 1$ показано на рис. 1.47, *б*.

Можна зазначити, що величина бічного зазору не залежить від точності виготовлення зубчастих коліс, а визначається, як правило, класами на міжосьову відстань в передачі та товщиною зубців коліс. Для з'єднань H, E – II клас, а для D, C, B, A – класи III, IV, V, VI в порядку зменшення точності.

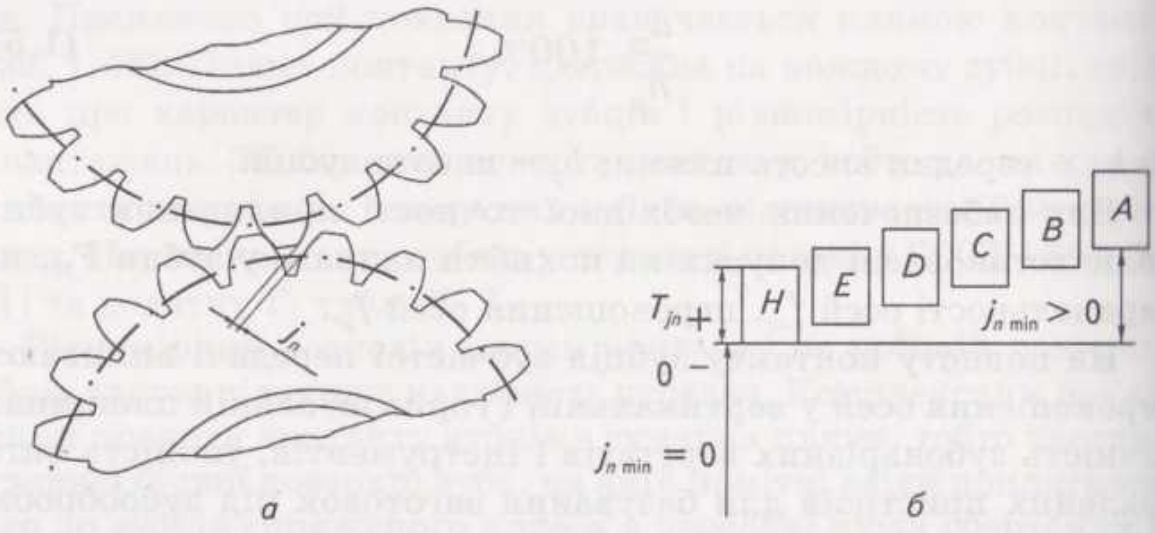


Рис. 1.47. Визначення бічного зазору (*а*); види спряжень зубчастих коліс (*б*)

Для дрібномодульних циліндричних коліс і передач ($m < 1$ мм) встановлено п'ять видів спряжень: H; G; F; E; D – в порядку зростання бічного зазору $j_{n\min}$, а також п'ять допусків $T_{j_{n\min}} - h$; f; e; d відповідно.

1.16.6. ДОПУСКИ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

Умовні позначення циліндричних зубчастих передач, за ГОСТ 1643–81 [61], передбачають запис ступенів точності за нормами кінематичної точності, плавності роботи, плями контакту, а також виду спряження, допуску на бічний зазор і марки стандарту. Наприклад, позначення 8-7-6-*Ba* (ГОСТ 1643–81) вказує, що для передачі з циліндричними зубчастими колесами прийняті такі ступені точності за нормами: 8 – кінематична точність, 7 – плавність роботи, 6 – пляма контакту, а також вид спряження B з допуском на бічний зазор a, взятий із сусіднього спряження A.

Якщо на всі норми точності встановлено однакові ступені точності й допуск бічного зазору відповідає прийнятому виду спряження, то в позначенні ступінь точності вказують тільки один раз, а допуск бічного зазору окремо не зазначають. Наприклад, позначення 7-С (ГОСТ 1643–81) означатиме ступінь точності за нормами кінематичної точності, плавності роботи та плями контакту – 7, вид спряження C з допуском на бічний зазор c, який не пишуть.

Коли йдеться про контроль однойменних профілів зубців, то застосовують норми за ДСТУ ISO/TR 10064-1:2006 [62], а для контролю зубчастих передач, визначення їх похибок і термінів застосовують норми за ДСТУ 3423–96 [63].

Контрольні запитання та завдання

1. *Назвіть види зубчастих коліс і передач.*
2. *Чим оцінюють точність виготовлених зубчастих коліс?*
3. *Що розуміють під кінематичною точністю зубчастих передач?*
4. *Охарактеризуйте плавність роботи зубчастих передач.*
5. *Як визначають пляму контакту спряжених зубців коліс?*
6. *Які ступені точності й види спряжень циліндричних зубчастих коліс ви знаєте?*
7. *Запишіть формули для підрахунку модуля зубчастого колеса.*
8. *Як позначають точність циліндричних зубчастих коліс на кресленнях?*

1.17. КУТОВІ РОЗМІРИ ТА ДОПУСКИ

1.17.1. ВИДИ РОЗМІРІВ ТА ПАРАМЕТРИ КОНУСА

Кутові розміри визначають положення поверхонь деталей, бувають *незалежними* та *залежними*. *Незалежні кути* не зв'язані розрахунковими залежностями з іншими розмірами деталі. Вони регламентовані стандартом ГОСТ 8908–81 [68]. *Залежні* (*нормальні*) *кути* зведені до трьох рядів. До першого ряду входять дев'ять кутів: 0°, 5°, 15°, 20°, 30°, 45°, 60°, 90°, 120°. До другого ряду входять 11 кутів: 0°30′; 1°; 2°; 3°; 4°; 6°; 7°; 8°; 10°; 40°; 75°, а до третього – 24 кути: 0°15′; 0°45′; 1°30′; 2°30′; 9°; 12°; 18°; 22°; 25°; 35°; 50°; 55°; 65°; 70°; 80°; 85°; 100°; 110°; 135°; 150°; 165°; 180°; 270°; 360°. При виборі кутів слід надавати перевагу першому ряду перед другим, а другому – перед третім. При вимірюванні розмірів кутів найбільш поширеною є градусна міра: градус (°), мінута (′) і кутова секунда (″). *Градус* – це площинний кут, що дорівнює 1/360 частин центрального кута, який спирається на повне коло, або один градус дорівнює 60 мінутам. Одна мінута дорівнює 60 кутовим секундам. У системі СІ додатковою одиницею кутового розміру прийнятий *радіан*. *Кут в один радіан* – площинний кут між двома радіусами круга, який відтинає на колі дугу, довжина якої дорівнює радіусу цього кола. Кут в 360° = 2π радіан; 1 рад. = 57°17′44,8″. Основні параметри зовнішнього конуса зображені на рис. 1.48.

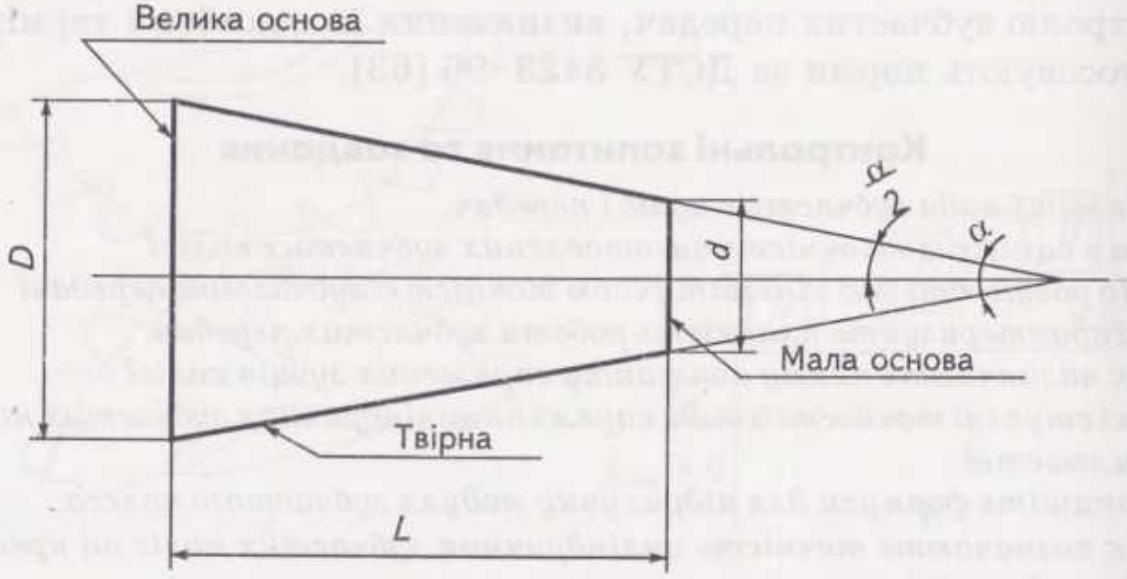


Рис. 1.48. Основні параметри зовнішнього конуса

Зовнішній конус характеризується такими параметрами: D – діаметр великої основи; d – діаметр малої основи; α – кут конуса; $\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ – кут нахилу (дорівнює половині кута конуса); L – довжина конуса.

Взаємозалежності між параметрами конуса:

$$tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)=\frac{(0{,}5D-0{,}5d)}{L},\ 2tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)=C \text{ – конусність;} \qquad (1.52)$$

$$\frac{C}{2}=tg\left(\frac{\alpha}{2}\right)=i \text{ – нахил.} \qquad (1.53)$$

Конусність часто вказують у вигляді відношення $1 : x$, де x – відстань між поперечними перерізами конуса, у яких різниця діаметрів дорівнює 1 мм, наприклад, $C = 1 : 20$.

1.17.2. ДОПУСКИ КУТІВ

Допуск кута – це різниця між найбільшим α_{max} і найменшим α_{min} граничними кутами. Позначається допуск кута літерами AT (від англ. *Angle Tolerance*). AT_α – допуск кута, виражений у градусах, мінутах, секундах (AT'_α – заокруглене значення); AT_h – допуск кута, виражений довжиною відрізка на перпендикулярі, що протилежний куту AT_α на відстані L_1 від вершини цього кута, AT_D – допуск кута, виражений різницею діаметрів у двох нормальних до осі конуса перерізах на заданій відстані L між ними. Характерні допуски кутів зображено на рис. 1.49; 1.50 *а*, *б*.

При конусності не більш ніж 1 : 3 допуски кутів призначають залежно від номінальної довжини конуса L, причому $AT_D \approx AT_h$.

При конусності понад 1 : 3 допуски кутів призначають залежно від довжини твірної L, причому

$$AT_D=\frac{AT_h}{\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, AT_h=AT_\alpha \cdot L_1 \cdot 10^{-3}, \qquad (1.54)$$

де AT_α – у мікрорадіанах, L_1 – у міліметрах, AT_h – у мікрометрах, α – номінальний кут конуса.

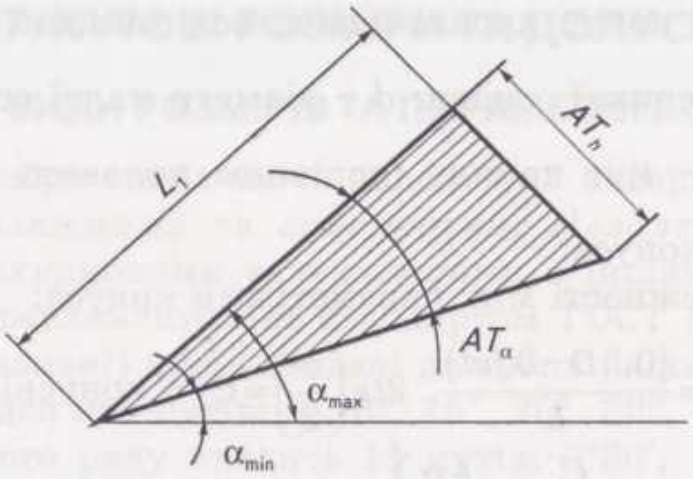
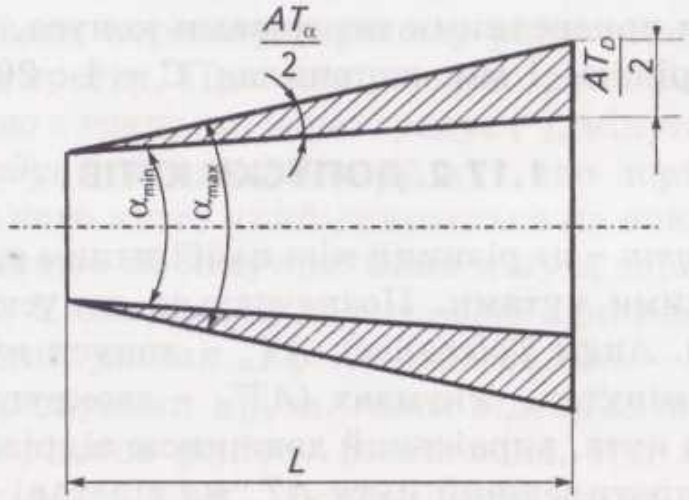
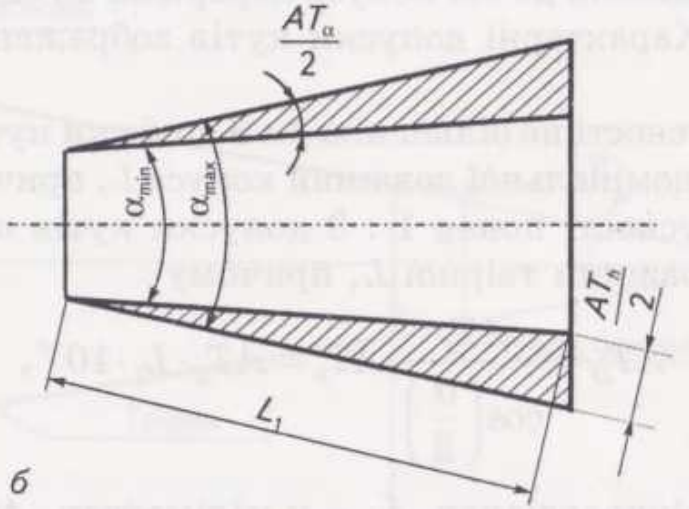


Рис. 1.49. Допуски кутів AT_α, AT_h



а



б

Рис. 1.50. Допуски кутів AT_D (*а*); AT_α, ATh (*б*)

1.17.3. СТУПЕНІ ТОЧНОСТІ ДОПУСКІВ КУТІВ І КОНУСІВ

За ГОСТ 8908–81 [68], встановлено 17 ступенів точності допусків кутів у порядку спадання точності. При позначенні допуску кута заданого ступеня точності до позначення допуску кута додають числове значення відповідного ступеня точності (*AT*5, *AT*9).

Ступені точності призначають: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – для кутових мір і калібрів; 7 – для деталей високої точності й точного центрування; 8, 9 – для деталей високої точності, що передають великі крутні моменти; 10, 11, 12, 13 – для деталей нормальної точності; 14 – для деталей зниженої точності; 15,16,17 – для нормування допусків вільних кутових розмірів. Варіанти розташування допусків кутів зображено на рис. 1.51.

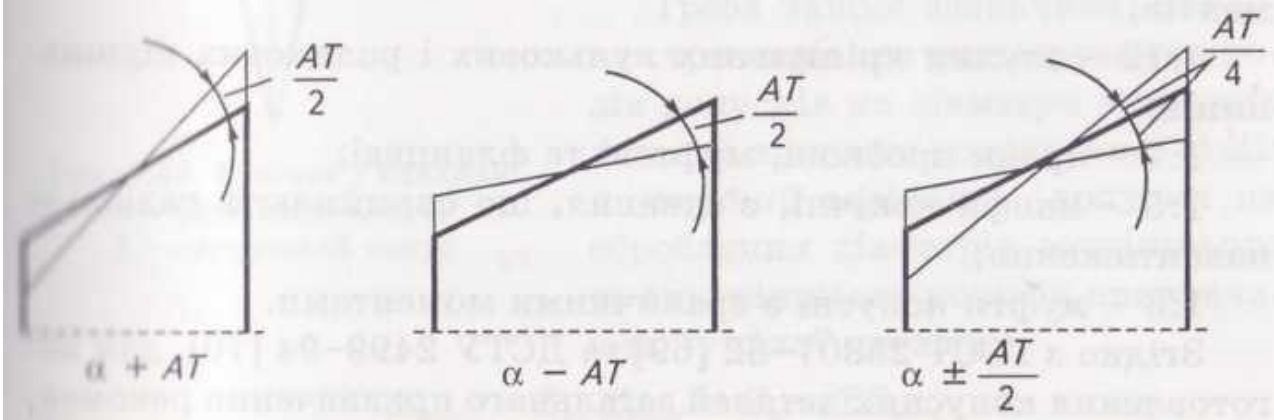


Рис. 1.51. Варіанти розташування допусків кутів

Допуски кутів і конусів можуть бути розташовані у плюс ($+AT$), у мінус ($-AT$) або симетрично відносно номінального кута ($\pm\frac{AT}{2}$).

1.17.4. ДОПУСКИ ТА ПОСАДКИ КОНУСІВ

Конічні з'єднання поділяють на: *рухомі* (крани запірної арматури, засувки), *нерухомі* (конічні опори – суцільні, трубчасті); інструментальні конуси свердл, розверток, зенкерів, мітчиків тощо), *щільні* – (штуцери газу, води, плунжерні пари, золотники тощо).

Слід зазначити, що залежно від сфери застосування контактні поверхні конічних з'єднань завжди шліфують і при необхідності з метою забезпечення високого центрування та герметичності – піддають притиранню за допомогою пристроїв з пастами ДОІ.

Основні величини конусності при виготовленні конусних деталей: 1:100; 1:50; 1:20; 1:10; 1:5; 1:3; їм відповідають значення кутів конусів у градусах – 34′22,6″; 1°8′45,2″; 2°52′1″; 5°43′29,3″; 11°25′16,3″; 18°55′28,7″.

Сфера застосування нормальних конусів:

1:100 – нерозбірні з'єднання, клинові шпонки;

1:50 – конічні штифти, хвостовики калібрів-пробок;

1:30 – конуси насадних розверток, зенкерів і оправок для них;

1:20 – болти конусів і метричні конуси мірильних інструментів;

1:12 – втулки кріпильних кулькових і роликових підшипників;

1:7 – крани пробкові, муфтові та фланцеві;

1:5 – цапфи конічні, з'єднання, що сприймають радіальні навантаження;

1:3 – муфти конусні з граничними моментами.

Згідно з ГОСТ 25307–82 [69] та ДСТУ 2499–94 [70], для виготовлення конусних деталей загального призначення рекомендують поля допусків TD і для зовнішніх конусів з рухомими, нерухомими та перехідними посадками: $d, e, x, h, js, k, m, s, f$ – 7, 8, 9, 10, 11, 12 ступенів (квалітетів) точності; а також на внутрішні конуси: H, JS, N – 7, 8, 9, 10, 11, 12 ступенів точності. Тут TD – допуск за номінальним значенням діаметра більшої основи конуса; TD_S – допуск за номінальним значенням діаметра в заданому перерізі конуса.

Оскільки виготовлення конусних деталей супроводжується певними похибками, то необхідно встановлювати зв'язок між допуском на їх виготовлення і допуском на базову відстань конічного з'єднання (рис. 1.52).

Якщо за розрахункові діаметри прийняти D_e – для зовнішнього конуса; D_i – для внутрішнього конуса, то номінальне значення базової відстані конічного з'єднання становитиме:

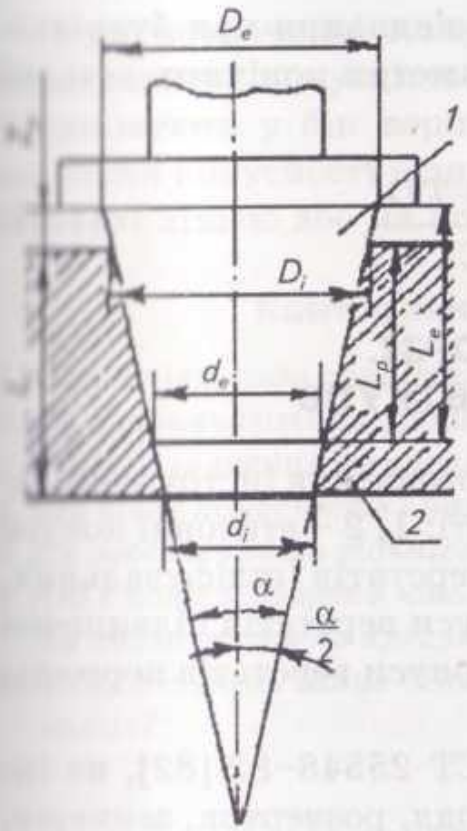


Рис. 1.52. Конічне з'єднання:
1 – зовнішній конус;
2 – внутрішній конус

$$Z_p = \frac{D_e - D_i}{C}, \qquad (1.55)$$

де C – конусність конічного з'єднання.

Якщо у конічному з'єднанні зовнішній діаметр конуса (вал) буде виготовлений під максимальний $D_{e\max}$ розмір, а внутрішній діаметр конуса (отвір) – під мінімальний $D_{i\min}$ розмір, то базова відстань буде максимальною:

$$Z_{p\max} = \frac{D_{e\max} - D_{i\min}}{C}. \qquad (1.56)$$

Треба також зазначити, що існує три варіанти розташування полів допусків на діаметри конічних деталей відносно номінальної лінії:

перший варіант – допуски на оброблення діаметрів зовнішнього та внутрішнього конусів призначають "у тіло" деталей:

$$Z_{p\max} = Z_p;\ Z_{p\min} = Z_p - TZ_p;$$

другий варіант – допуски на оброблення діаметрів зовнішнього та внутрішнього конусів призначають "з тіла" деталей:

$$Z_{p\max} = Z_p + TZ_p;\ Z_{p\min} = Z_p;$$

третій варіант – допуски на оброблення діаметрів зовнішнього та внутрішнього конусів розташовують по один бік відносно номінального розміру. Тут можливі два випадки: допуск зовнішнього конуса призначають "з тіла" деталі, а внутрішнього – "в тіло" деталі: $Z_{p\max} = Z_p + \frac{TD_e}{C};\ Z_{p\min} = Z_p - \frac{TD_i}{C}$; або допуск зовнішнього конуса розташовують "у тіло" деталі, а внутрішнього – "з тіла" деталі: $Z_{p\max} = Z_p + \frac{TD_e}{C};\ Z_{p\min} = Z_p - \frac{TD_i}{C}$.

Допуск базової відстані конічного з'єднання при будь-якому розташуванні полів допусків на діаметри конічних деталей визначається формулою

$$TZ_p = Z_{p\max} - Z_{p\min} = \frac{TD_e + TD_i}{C}. \qquad (1.57)$$

1.17.5. КОНУСИ МОРЗЕ. ПОЗНАЧЕННЯ КОНУСІВ І КУТІВ

Згідно з ГОСТ 9953–82 [84], для виготовлення інструментальних конусів існує п'ять ступенів точності: 1, 2 – еталонні конуси (кутоміри); 3 – конуси високоточних верстатів (шліфувальних, координатно-розточувальних); 4 – конуси верстатів підвищеної точності та інструментів для них; 5 – конуси верстатів нормальної точності та інструментів для них.

Згідно з ГОСТ 8593–81 [71] та ГОСТ 25548–82 [82], на інструментальні конуси (хвостовики свердл, розверток, зенкерів, інструментальних конусних втулок для пінолів чи шпинделів свердлильних, токарних, фрезерних та інших верстатів, верстатних пристроїв тощо), регламентують довжину твірної конуса L за вісьмома конусами Морзе: L = 4; 6; 80; 100; 120; 180; 200; 260.

Окрім цього, для дев'яти конусів Морзе: 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8 – регламентують значення діаметрів великої основи конуса $Д$ = 9; 12; 19; 22; 24; 31; 44; 63; 85 мм відповідно.

Згідно з ГОСТ 9953–82 [84], для дев'яти укорочених конусів Морзе: В7; В10; В12; В16; В18; В22; В24; В32; В45 – регламентують значення діаметрів великої основи конуса $Д$ = 7; 10; 12; 16; 19; 22; 24; 32; 45 мм відповідно.

Нормальні конуси на кресленнях записують так: Морзе З *АТ*7 ГОСТ 8593–81. Запис укорочених конусів: Морзе В16 *АТ*6 ГОСТ 9953–82, де *АТ* – допуск; 7; 6 – ступені точності.

Нахили й конусності позначають так: перед розмірним числом, що визначає нахил, ставлять знак "$\angle$", гострий кут якого спрямований у бік нахилу. Нахил позначають безпосередньо над зображенням поверхні нахилу або на поличці виносної лінії, де записують співвідношення 1:Х (1:50; 1:100; і т.д.).

При позначенні конусності перед розмірним числом, що характеризує конусність, ставлять знак "Δ", гострий кут якого спрямовують у бік вершини конуса. Знак конуса та числове значення конусності у вигляді співвідношення 1:X ставлять над осьовою лінією або на поличці виносної лінії.

Контрольні запитання та завдання

1. *Перелічіть види розмірів і параметри конуса.*
2. *Як призначають допуски на кутові розміри?*
3. *Яке призначення ступенів точності допусків кутів?*
4. *Що таке конусність і нахил? Їх позначення на кресленнях.*
5. *Як забезпечують точність в конічних з'єднаннях?*
6. *Які є конуси Морзе в конічних з'єднаннях?*
7. *Як позначають на кресленнях конуси Морзе?*
8. *Як виконують запис деталей інструментальних конусів на кресленнях?*

1.18. НОРМУВАННЯ ВІДХИЛІВ ФОРМИ ТА РОЗТАШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

1.18.1. ВІДХИЛИ ФОРМИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

Відхили форми циліндричних поверхонь проставляють на кресленнях згідно з ДСТУ 2498–94 [72] або ГОСТ 24642–81 [73].

Розглянемо характеристику цих відхилів.

Відхил від округлості – це найбільша відстань Δ від точок реального профілю до прилеглого кола. Допуск округлості T – це найбільше допустиме значення відхилу від округлості.

Овальність – це відхил від округлості, за якого реальний профіль являє собою овалоподібну фігуру, найбільший і найменший діаметри якої взаємно перпендикулярні, причому

$$\Delta = \frac{d_{max} - d_{min}}{2}. \qquad (1.58)$$

Багатогранник – це відхил від округлості, за якого реальний профіль є багатогранною фігурою. Можливі варіанти відхилів від округлості зображені на рис. 1.53.



Рис. 1.53. Відхили від округлості:
а – загальний вигляд; *б* – овальність; *в* – багатогранник

Відхил від циліндричності – це найбільша відстань Δ від точок реальної поверхні до прилеглого циліндра в межах нормованої ділянки *L*. Поле допуску циліндричності визначається простором, обмеженим співвісними циліндрами *1* і *2*, які відстають один від одного на відстань, що дорівнює допуску циліндричності *T*. Можливі варіанти відхилів від циліндричності зображені на рис. 1.54.

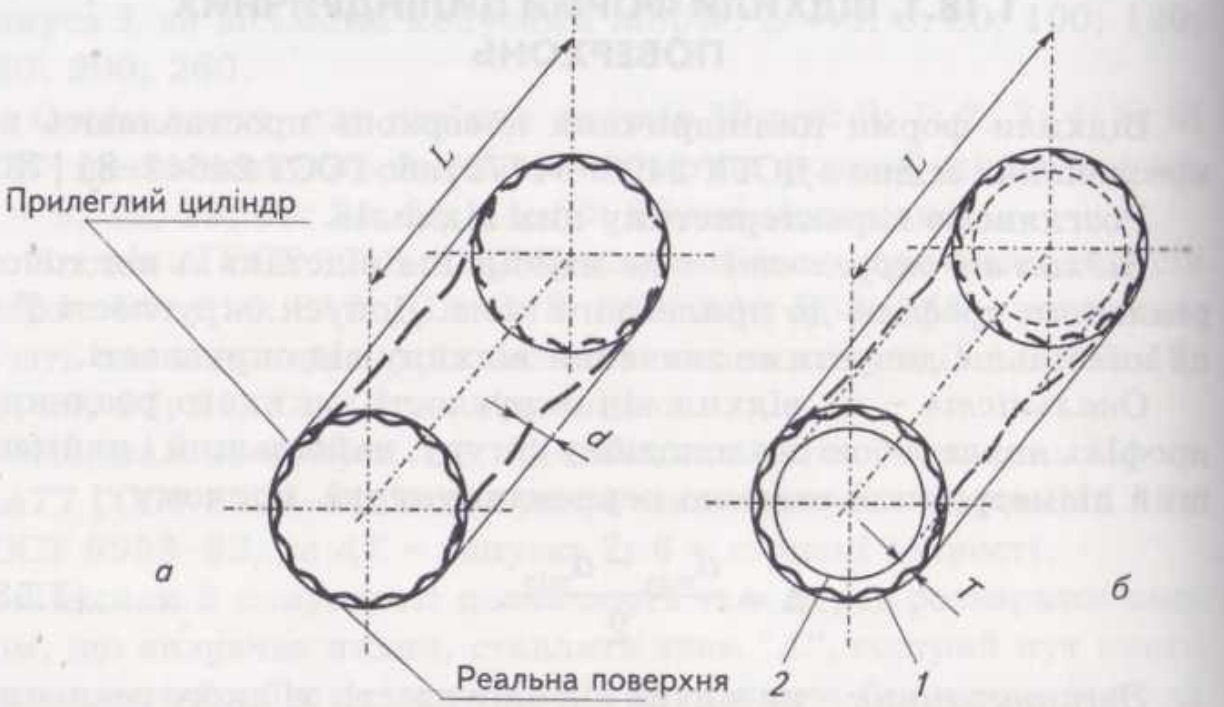


Рис. 1.54. Відхили від циліндричності:
а – визначення відхилу Δ; *б* – визначення допуску *T*

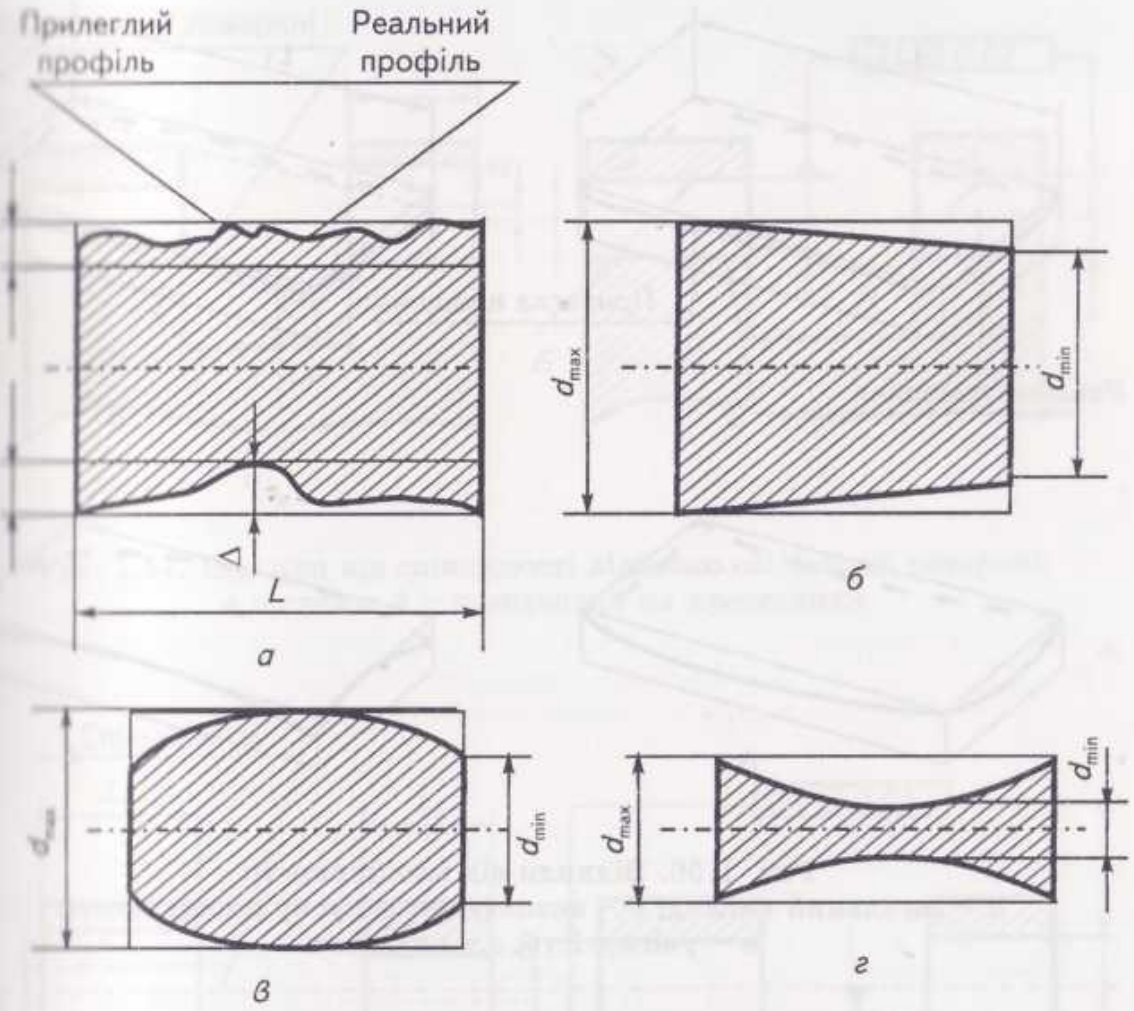


Рис. 1.55. Відхили профілю поздовжнього перерізу: *а* – загальний вигляд; *б* – конусоподібність; *в* – випуклість; *г* – увігнутість

Відхил профілю поздовжнього перерізу – це найбільша відстань Δ від точок реальної поверхні до номінальної (прилеглої) поверхні у площині, що проходить через спільну вісь поверхонь. Можливі варіанти відхилів профілю в напрямку поздовжнього перерізу зображені на рис. 1.55.

1.18.2. ВІДХИЛИ ФОРМИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ

Відхили від площинності визначають як найбільшу відстань Δ від точок реальної поверхні до прилеглої площини в межах нормованої ділянки. Поле допуску площинності – це частина простору, обмежена двома паралельними площинами, що віддалені одна від одної на відстань *T*. Можливі варіанти відхилів від площинності зображені на рис. 1.56.

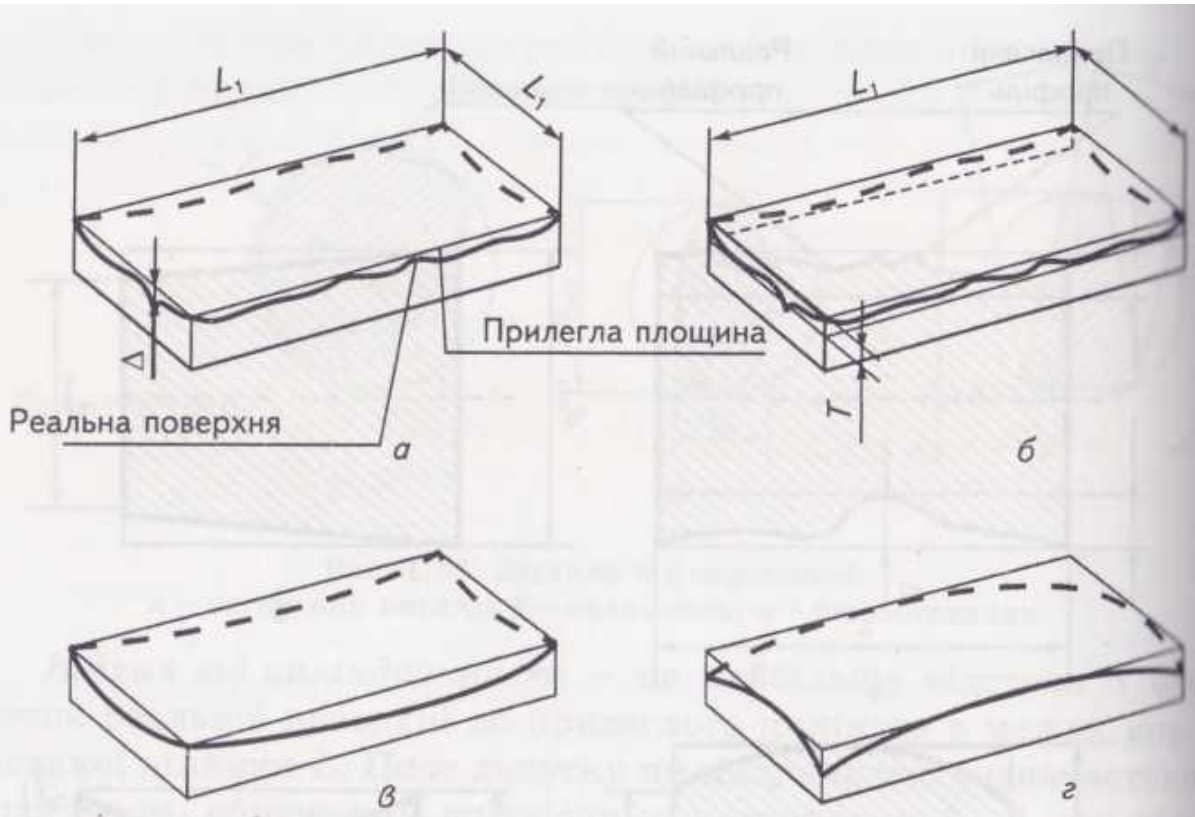


Рис. 1.56. Відхили від площинності:
а – загальний вигляд; *б* – визначення допуску площинності;
в – увігнутість; *г* – опуклість

1.18.3. ВІДХИЛИ РОЗТАШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ

Відхил розташування – це відхил реального розташування поверхні певного елемента від номінального. Неточності взаємного розташування поверхонь є результатом незбігу технічних і конструкторських баз. Базою може бути поверхня, її твірна або точка. На рис. 1.57.–1.62 зображені різновиди відхилів розташування поверхонь [10].

Відхили від співвісності відносно осі базової поверхні – це відстань Δ між осями даної та базової поверхонь на довжині нормованої ділянки L (рис. 1.57).

Відхил від співвісності відносно загальної осі – це найбільша відстань (Δ_1, Δ_2, ...) між віссю даної поверхні обертання та загальною віссю двох чи кількох поверхонь обертання на довжині нормованої ділянки (L_1, L_2, ...) (рис. 1.58).

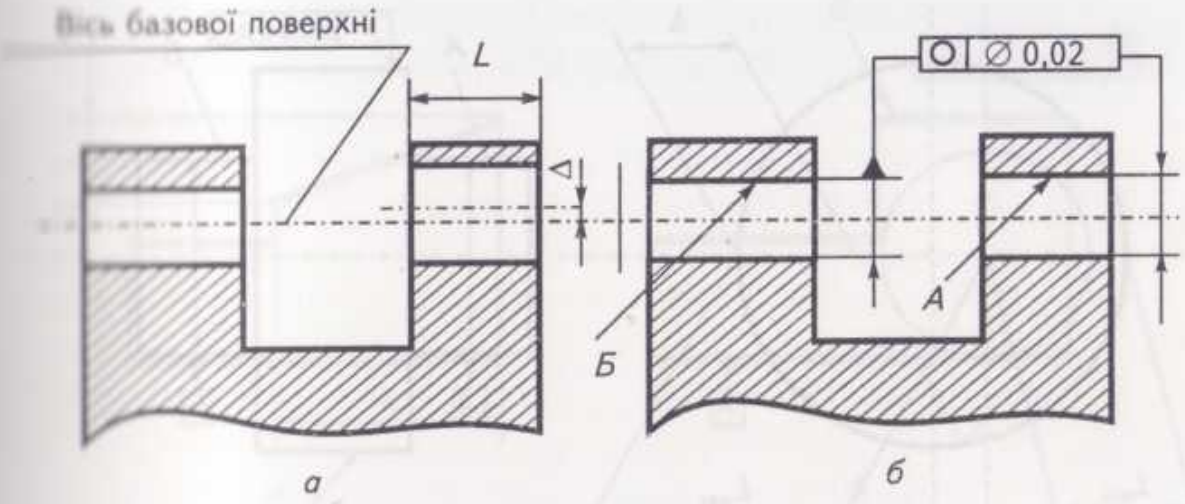


Рис. 1.57. Відхили від співвісності відносно осі базової поверхні:
а – схема; *б* – позначення на кресленику

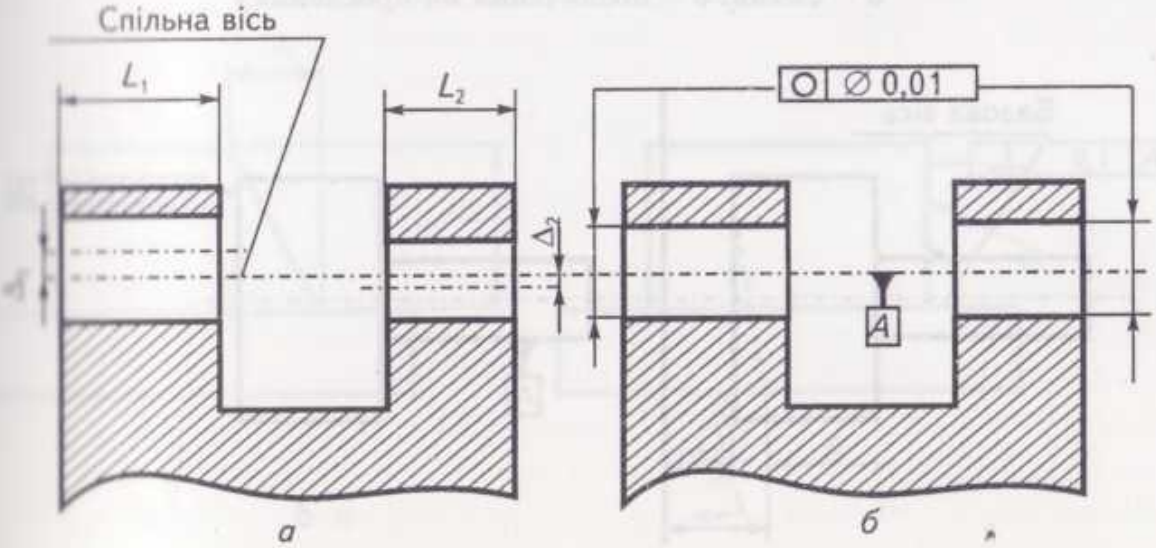


Рис. 1.58. Відхили від співвісності відносно загальної осі:
а – схема; *б* – позначення на кресленику

Радіальне биття (Δ) – це різниця найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю поверхні обертання до базової осі у перерізі, перпендикулярному до цієї осі (рис. 1.59).

Торцеве биття (Δ) – це різниця найбільшої та найменшої відстаней від точок реального профілю торцевої поверхні до площини, перпендикулярної до базової осі (рис. 1.60).

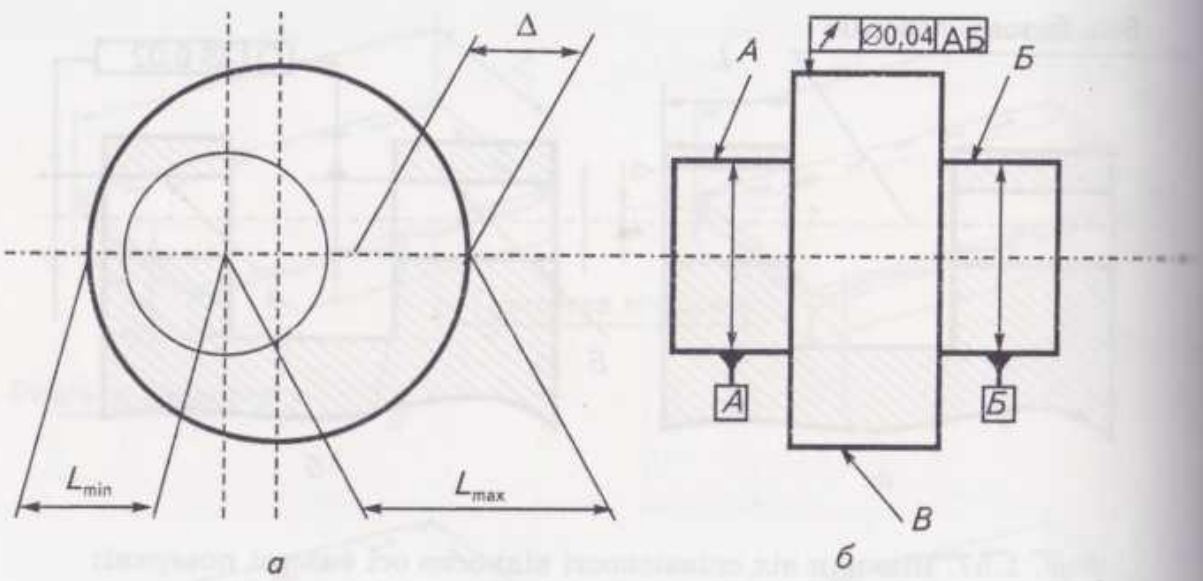


Рис. 1.59. Радіальне биття:
а – схема; *б* – позначення на кресленику

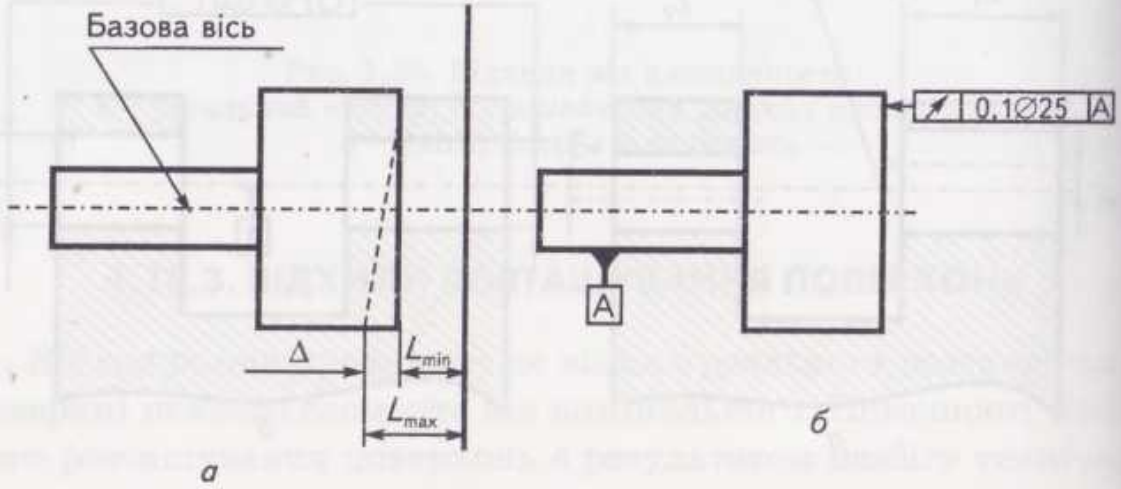


Рис. 1.60. Торцеве биття:
а – схема; *б* – позначення на кресленику

Відхил від паралельності площин (Δ) – це різниця найбільшої та найменшої відстаней між площинами в межах нормованої ділянки L (рис. 1.61).

Відхил від перпендикулярності площин (Δ) – це відхил кута між площинами від прямого кута, що виражається в лінійних одиницях на довжині нормованої ділянки L (рис. 1.62).

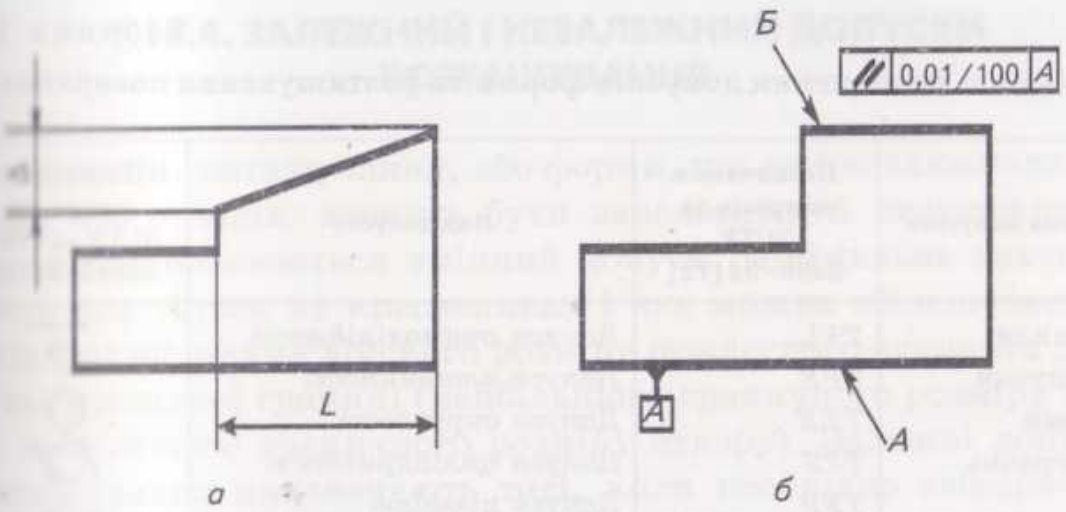


Рис. 1.61. Відхил від паралельності площин:
а – схема; *б* – позначення на кресленику
(допуск паралельності поверхні *Б* відносно поверхні *А*
становить 0,01 мм, $L = 100$ мм)

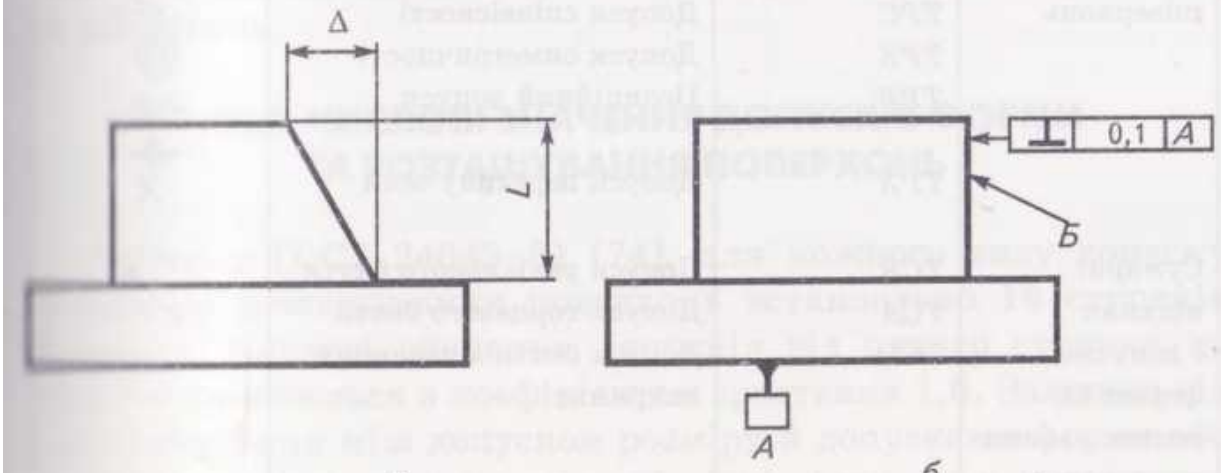


Рис. 1.62. Відхил від перпендикулярності площин:
а – схема; *б* – позначення на кресленику
(допуск перпендикулярності
поверхні *Б* відносно поверхні *А*
становить 0,1 мм)

Умовні позначення (символи) допусків форми поверхонь та їх взаємного розташування на кресленнях відповідно до стандартів подано у табл. 1.10.

Таблиця 1.10

Умовні позначення допусків форми та розташування поверхонь

Група допусків	Позначення допусків за ДСТУ 2498–94 [72]	Вид допуску	Позначення символів ДСТУ за ГОСТ 24642–81 [73]
Відхили і допуски форми поверхонь	*TFL*	Допуск прямолінійності	
	TFE	Допуск площинності	
	TEK	Допуск округлості	
	TFZ	Допуск циліндричності	
	TFP	Допуск профілю поздовжнього перерізу	
Відхили і допуски розташування поверхонь	*TPA*	Допуск паралельності	
	TPR	Допуск перпендикулярності	
	TPN	Допуск нахилу	
	TPC	Допуск співвісності	
	TPS	Допуск симетричності	
	TPP	Позиційний допуск	
	TPX	Допуск перетину осей	
Сумарні відхили і допуски форми та розташування поверхонь	*TCR*	Допуск радіального биття	
	TCA	Допуск торцевого биття	
	TCD	Допуск биття в заданому напрямку	
	TCTR	Допуск повного радіального биття	
	TCTA	Допуск повного торцевого биття	
	TCL	Допуск форми заданого профілю	
	TCE	Допуск форми заданої поверхні	

Основні норми щодо невказаних допусків форми та розташування поверхонь регламентує ГОСТ 25069–81 [83].

1.18.4. ЗАЛЕЖНИЙ І НЕЗАЛЕЖНИЙ ДОПУСКИ РОЗТАШУВАННЯ

Допуски розташування, або форми, що встановлюються для валів або отворів, можуть бути залежними й незалежними. *Залежним* називається змінний допуск, мінімальне значення якого вказується на кресленнях і яке можна збільшувати на відповідний відхил дійсного розміру прилеглого елемента деталі від прохідної границі (найбільшого граничного розміру вала чи найменшого граничного розміру отвору). Залежні допуски розташування призначають тоді, коли необхідно забезпечити складання деталей, які спряжені одночасно по кількох поверхнях з заданими зазорами або натягами.

Незалежним називають допуск розташування (форми), числове значення якого стале для всіх деталей, що виготовляються за цим кресленником, і не залежить від дійсних розмірів їх поверхонь.

1.18.5. ЧИСЛОВІ ЗНАЧЕННЯ ДОПУСКІВ ФОРМИ ТА РОЗТАШУВАННЯ ПОВЕРХОНЬ

Згідно з ГОСТ 24643–81 [74], для кожного виду допуску форми та розташування поверхонь встановлено 16 ступенів точності. Числові значення допусків від одного ступеня до другого змінюються з коефіцієнтом зростання 1,6. Залежно від співвідношення між допуском розміру й допусками форми або розташування встановлюють такі рівні відносної геометричної точності:

A – нормальна відносна геометрична точність (допуски форми, або розташування, становлять приблизно 60% допуску розміру);

B – підвищена відносна геометрична точність (допуски форми, або розташування, становлять приблизно 40% допуску розміру);

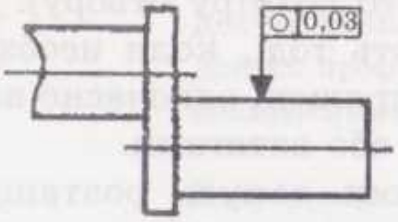
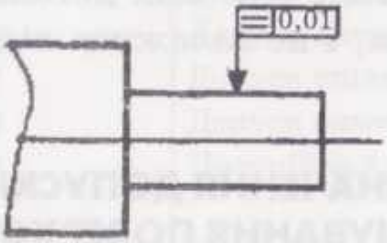
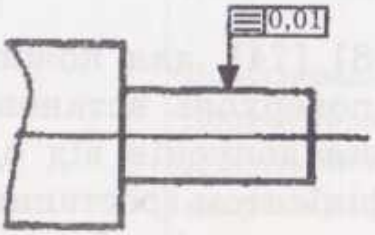
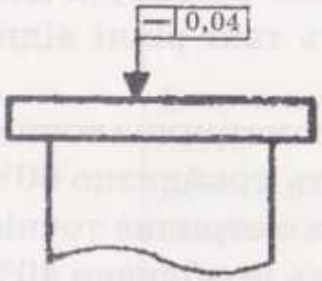
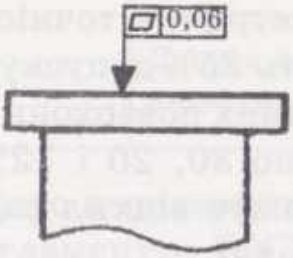
C – висока відносна геометрична точність (допуски форми, або розташування, становлять 25% допуску розміру).

Допуски форми циліндричних поверхонь відповідають рівням *A, B, C*, становлять приблизно 30, 20 і 12% допуску розміру, оскільки допуск форми обмежує відхил радіуса, а допуск розміру – відхил діаметра поверхні.

Норми взаємозамінності на допуски форми, розташування поверхонь та загальні вимоги до методів вимірювань визначають за ГОСТ 28187–89 [75]. Регламентовані позначення допусків форми поверхонь деталей циліндричної форми (валів, втулок), а також плоских деталей більш складної геометричної форми подано в табл. 1.11, 1.12 [10].

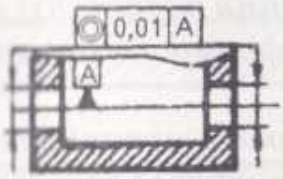
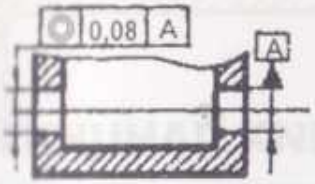
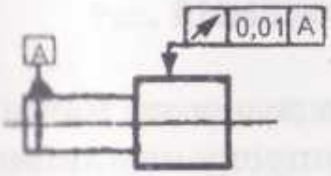
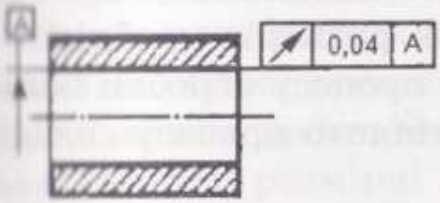
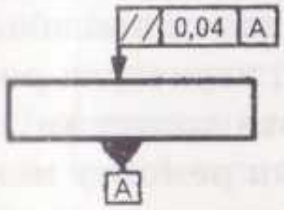
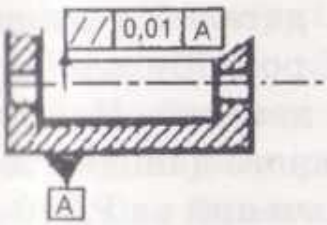
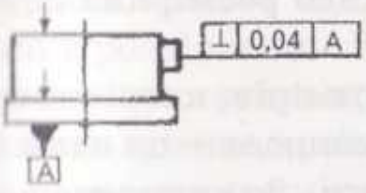
Таблиця 1.11

Приклади позначення допусків форми поверхонь

Назва відхилу	Позначення на кресленнях	Пояснення позначень
Відхил від округлості		Допуск округлості – 0,03 мм
Відхил від циліндричності		Допуск циліндричності – 0,01 мм
Відхил профілю поздовжнього перерізу		Допуск профілю поздовжнього перерізу циліндричної поверхні – 0,01 мм
Відхил від прямолінійності		Допуск прямолінійності – 0,04 мм
Відхил від площинності		Допуск площинності – 0,06 мм

Таблиця 1.12

Приклади позначення допусків розташування

Позначення на кресленнях	Пояснення позначень
	Допуск співвісності отворів відносно спільної осі *А* не більше 0,01мм
	Допуск співвісності даного отвору відносно осі отвору *А* не більше 0,08 мм
	Реальне биття циліндричної поверхні відносно осі поверхні *А* не більше 0,01мм
	Торцеве биття відносно осі поверхні *А* не більше 0,04 мм
	Допуск паралельності площин відносно поверхні *А* не більше 0,04 мм
	Допуск паралельності спільної осі отворів відносно поверхні *А* не більше 0,01 мм
	Допуск перпендикулярності вертикальної площини поверхні відносно площини *А* не більше 0,04 мм

Контрольні запитання та завдання

1. *Як умовно позначають відхили форми циліндричних поверхонь?*
2. *Як умовно позначають відхили форми плоских поверхонь?*
3. *Як умовно позначають відхили розташування поверхонь?*
4. *Як на кресленнях проставляють відхили форми та розташування поверхонь?*
5. *Що таке залежний і незалежний допуски розташування поверхонь?*
6. *Перелічіть рівні відносної геометричної точності поверхонь.*

1.19. РОЗРАХУНОК РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ

1.19.1. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

Для забезпечення правильної роботи вузла чи машини слід дотримуватись у певних значеннях допуску не лише діаметральних, а й лінійних розмірів. Встановлювати правильне співвідношення лінійних граничних розмірів необхідно для правильної побудови технологічного процесу обробки деталі, а також правильної побудови технологічного процесу складання деталей у вузли, а вузлів у машину.

Визначення правильного співвідношення граничних взаємопов'язаних лінійних розмірів, спільних для однієї або кількох деталей, що утворюють вузол або машину, називають *розмірним аналізом*. Розмірним аналізом визначають допустимі похибки на стадії конструювання, виготовлення чи ремонту механізмів і машин. Загалом він зводиться до складання та розрахунку розмірних ланцюгів, оскільки розміри деталей у вузлах взаємопов'язані та взаємозалежні, зміна розміру однієї деталі зумовлює зміну у розташуванні інших деталей. Найпростіше утворення лінійного розмірного подетального ланцюга зображене на рис. 1.63, а його розрахунок визначений за РД50-635-87 [86]. Основні поняття та визначення щодо розмірних ланцюгів подані у [76].

Розмірний ланцюг – це сукупність розмірів, котрі утворюють замкнутий контур. *Ланка розмірного ланцюга* – це один із розмірів, що входить до розмірного ланцюга. *Замикальна ланка* –

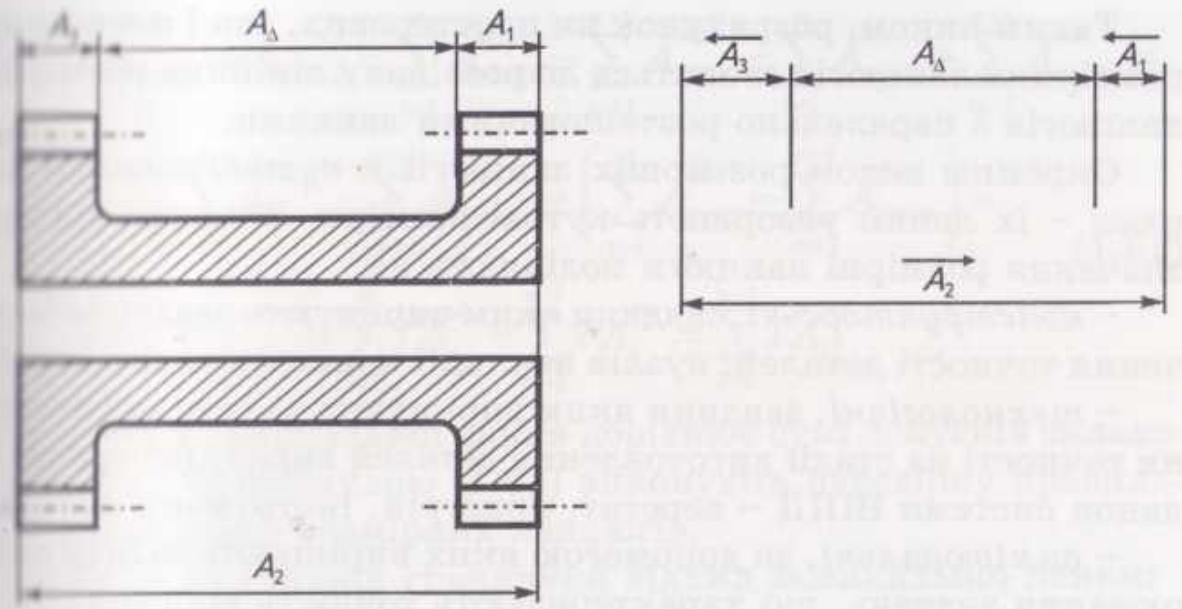


Рис. 1.63. Приклад утворення розмірного ланцюга

це вихідний розмір при постановці задачі або останній, котрий визначається внаслідок розрахунку (A_Δ). *Збільшувальна ланка* – це розмір, при збільшенні якого замикальна ланка збільшується (A_3). *Зменшувальна ланка* – це розмір, при збільшенні якого замикальна ланка зменшується (A_1, A_3).

Розрізняють *подетальні* (на одну деталь) і *складальні* (на кілька деталей) розмірні ланцюги.

За взаємним розташуванням розмірів розмірні ланцюги поділяють на: лінійні (вздовж лінії – вісь x); площинні (вздовж лінії – осі x, y); просторові (вздовж лінії – осі x, y, z).

Лінійні розмірні ланцюги – це ланцюги, у яких всі розміри лежать в одній площині, паралельні та пов'язані лінійною залежністю.

Площинні розмірні ланцюги – це ланцюги, ланки яких розташовані в одній або кількох паралельних площинах і пов'язані двома лінійними залежностями.

Просторові розмірні ланцюги – це ланцюги, ланки яких розташовані в трьох взаємно перпендикулярних площинах і об'єднані трьома лінійними залежностями. Вони найбільш складні в розв'язанні. Водночас будь-який просторовий розмірний ланцюг шляхом проектування на площину, а потім на осі координат можна замінити розмірними ланками з паралельно розташованими розмірами.

Таким чином, розрахунок як просторових, так і площинних розмірних ланцюгів зводиться до розв'язку лінійних розмірних ланцюгів з паралельно розташованими ланками.

Окремим видом розмірних ланцюгів є *кутові розмірні ланцюги* – їх ланки утворюють кутові розміри. Залежно від призначення розмірні ланцюги поділяють на:

– *конструкторські*, завдяки яким вирішують задачу забезпечення точності деталей, вузлів на стадії конструювання виробу;

– *технологічні*, завдяки яким вирішують задачу забезпечення точності на стадії виготовлення деталей виробу (або розмірів ланок системи ВПІД – верстат, пристрій, інструмент, деталь);

– *вимірювальні*, за допомогою яких вирішують задачу вимірювання значень, що характеризують точність відповідальних елементів вузлів або виробу.

При розрахунках розмірних ланцюгів можливі дві задачі: обернена й пряма [3, 10]. В оберненій задачі за відомими параметрами складових ланок визначають параметр замикальної ланки. У прямій задачі за відомим параметром замикальної ланки необхідно визначити параметри складових ланок.

1.19.2. ОБЕРНЕНА ЗАДАЧА

Номінальний розмір замикальної ланки визначають за формулою

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m} A_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} A_i^{\text{зм}}, \qquad (1.59)$$

де m – число збільшувальних ланок, n – загальне число ланок розмірного ланцюга.

Аналогічно можна визначити граничні розміри замикальної ланки:

$$A_{\Delta\max} = \sum_{i=1}^{m} A_{i\max}^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{i\min}^{\text{зм}}, \qquad (1.60)$$

$$A_{\Delta\min} = \sum_{i=1}^{m} A_{i\min}^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{i\max}^{\text{зм}}. \qquad (1.61)$$

Визначимо допуск замикальної ланки:

$$TA_\Delta = A_{\Delta\max} - A_{\Delta\min} = \sum_{i=1}^{m} A_{i\max}^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{i\min}^{\text{зм}} - \sum_{i=1}^{m} A_{i\min}^{\text{зб}} + \sum_{m+1}^{n-1} A_{i\max}^{\text{зм}} =$$

$$= \left(\sum_{i=1}^{m} A_{i\max}^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{i\max}^{\text{зм}} \right) + \left(\sum_{i=1}^{m} A_{i\min}^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} A_{i\min}^{\text{зм}} \right) = \tag{1.62}$$

$$= \sum_{i=1}^{m} TA_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} TA_i^{\text{зм}} = \sum_{i=1}^{n-1} TA_i,$$

тобто допуск замикальної ланки дорівнює сумі допусків складових ланок. За формулою (1.62) виконують перевірку правильності розрахунку розмірних ланцюгів.

Визначимо верхній граничний відхил замикальної ланки:

$$A_\Delta + ESA_\Delta = \sum_{i=1}^{m} \left(A_i^{\text{зб}} + ESA_i^{\text{зм}} \right) - \sum_{m+1}^{n-1} \left(A_i^{\text{зб}} + EIA_i^{\text{зм}} \right) =$$

$$= \left(\sum_{i=1}^{m} A_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} A_i^{\text{зм}} \right) + \left(\sum_{i=1}^{m} ESA_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} EIA_i^{\text{зм}} \right), \tag{1.63}$$

тобто
$$A_\Delta + ESA_\Delta = A_\Delta + \left(\sum_{i=1}^{m} ESA_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} EIA_i^{\text{зм}} \right), \tag{1.64}$$

звідки
$$ESA_\Delta = \left(\sum_{i=1}^{m} ESA_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} EIA_i^{\text{зм}} \right). \tag{1.65}$$

Визначимо нижній граничний відхил замикальної ланки:

$$A_\Delta + EIA_\Delta = \sum_{i=1}^{m} \left(A_i^{\text{зб}} + EIA_i^{\text{зб}} \right) - \sum_{m+1}^{n-1} \left(A_i^{\text{зм}} + ESA_i^{\text{зм}} \right) =$$

$$= \left(\sum_{i=1}^{m} A_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} A_i^{\text{зм}} \right) + \left(\sum_{i=1}^{m} EIA_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} ESA_i^{\text{зм}} \right), \tag{1.66}$$

тобто
$$A_\Delta + EIA_\Delta = A_\Delta + \left(\sum_{i=1}^{m} EIA_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} ESA_i^{\text{зм}} \right), \tag{1.67}$$

звідки
$$EIA_\Delta = \left(\sum_{i=1}^{m} EIA_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} ESA_i^{\text{зм}} \right).$$

1.19.3. ПРЯМА ЗАДАЧА

Існує декілька способів розв'язання прямої задачі.

Спосіб спроб полягає в тому, що на складові ланки призначають економічно доцільні допуски з урахуванням конструктивних особливостей і досвіду експлуатації аналогічних деталей та вузлів.

Спосіб рівних допусків полягає в тому, що приймають рівними допуски усіх складових ланок, тобто допуск замикальної ланки:

$$TA_{\Delta} = TA_1 + TA_2 + TA_3 + \ldots + TA_n, \qquad (1.68)$$

а допуск будь-якої ланки:

$$TA_i = \frac{TA_{\Delta}}{n-1}, \qquad (1.69)$$

де n – кількість ланок розмірного ланцюга.

Цей спосіб застосовують для розмірів одного розмірного інтервалу (наприклад, 10; 70; 99 мм) і тільки в орієнтовних розрахунках через недостатню точність.

Спосіб одного квалітету полягає в тому, що на всі складові ланки призначають допуск одного ступеня точності. Квалітет визначають за коефіцієнтом точності a:

$$a = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{i=1}^{n-1} i_{Ai}}. \qquad (1.70)$$

Якщо до розмірного ланцюга входить k ланок з відомими допусками, то

$$a = \frac{TA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{k} TA_i}{\sum_{i=1}^{n-1-k} i_{Ai}}, \qquad (1.71)$$

де $\sum_{i=1}^{n-1-k} i_{Ai}$ – сума одиниць допусків складових ланок, i – одиниця допуску, що залежить від інтервалу розмірів.

За вибраним квалітетом призначають граничні відхили. Для розмірів охоплювальних поверхонь (діаметр отвору, ширина

вала) граничні відхили призначають як для основного отвору. Для розмірів охоплюваних поверхонь (діаметр вала, товщина виступу) граничні відхили призначають як для основного вала. Для таких розмірів, як висота виступу чи глибина отвору, граничні відхили здебільшого приймають симетричними $\pm\frac{IT}{2}$.

Якщо розрахунковий коефіцієнт точності a не збігається з табличним, то одну із ланок приймають за коригувальну.

Граничні відхили коригувальної збільшувальної ланки:

$$ESA^{\text{зб}}_{\text{кор}} = \sum_{m+1}^{n-2} EIA_i^{\text{зм}} + ESA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{m-1} ESA_i^{\text{зб}}; \qquad (1.72)$$

$$EIA^{\text{зб}}_{\text{кор}} = \sum_{m+1}^{n-2} ESA_i^{\text{зм}} + EIA_{\Delta} - \sum_{i=1}^{m-1} EIA_i^{\text{зб}}. \qquad (1.73)$$

Граничні відхили коригувальної зменшувальної ланки:

$$ESA^{\text{зм}}_{\text{кр}} = \sum_{m+1}^{m} EIA_i^{\text{зб}} - EIA_{\Delta} - \sum_{m+1}^{n-2} ESA_i^{\text{зм}}, \qquad (1.74)$$

$$EIA^{\text{зм}}_{\text{кр}} = \sum_{m+1}^{m} ESA_i^{\text{зб}} - ESA_{\Delta} - \sum_{m+1}^{n-2} EIA_i^{\text{зм}}. \qquad (1.75)$$

Після призначення граничних відхилів виконують перевірку точності замикальної ланки. Необхідно, щоб допуск замикальної ланки дорівнював сумі допусків складових ланок, що підтвердить правильність виконаного розрахунку.

1.19.4. МЕТОД КОМПЕНСАЦІЇ

Необхідну точність розміру замикальної ланки можна забезпечити, якщо в розмірний ланцюг вставити ланку, розмір якої можна змінювати, регулювати в певних межах. В цьому випадку похибки розмірів усіх складових ланок компенсуються зміною розмірів однієї ланки, яка називається *компенсатором*.

За наявності компенсатора всі складові ланки розмірного ланцюга можна виготовляти з розширеними допусками, які будуть витримуватися при прийнятому технологічному процесі. У такому випадку сума розширених допусків буде більша, ніж заданий допуск замикальної ланки:

$$\sum_{i=1}^{n-1} T_p A_i > TA_\Delta, \qquad (1.76)$$

і це перевищення слід усувати за допомогою компенсатора. Значення компенсації можна знайти з рівняння

$$TK = \sum_{i=1}^{n-1} T_p A_i - TA_\Delta. \qquad (1.77)$$

Номінальний розмір компенсатора залежить від того, чи компенсувальна ланка є збільшувальною чи зменшувальною. Її можна визначити із загального рівняння розмірного ланцюга:

$$A_\Delta = \sum_{i=1}^{m} A_i^{\text{зб}} - \sum_{m+1}^{n-1} A_i^{\text{зм}} \pm K, \qquad (1.78)$$

де K – номінальний розмір компенсатора.

Якщо компенсатор є збільшувальною ланкою, то в рівняння він входить зі знаком плюс, а якщо зменшувальною – зі знаком мінус. Компенсацію похибок складових ланок за рахунок ланки, яка є компенсатором, можна здійснювати різними методами. Найчастіше як компенсатори застосовують регулювальні болти, шайби, прокладки тощо.

1.19.5. МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ

Метод регулювання – поширений метод, при якому необхідної точності замикальної ланки розмірного ланцюга досягають зміною розміру компенсувальної ланки без зняття шару матеріалу. Завдяки цьому методу можна компенсувати похибки як лінійних, так і діаметральних розмірів. Основною і дуже важливою перевагою цього методу є можливість підтримувати задану точність замикальної ланки під час експлуатації при зміні розмірів складових ланок внаслідок спрацювання та деформації, чого неможливо досягти іншими методами.

Роль компенсатора може виконувати спеціальна ланка у вигляді прокладки, шайби, кільця. В цих випадках відбувається ступінчасте регулювання розміру, що дорівнює різниці розмірів двох компенсувальних ланок.

Більш досконалими є компенсатори з безперервною зміною розмірів у міру необхідності. До них належать гвинтові компенсатори (ними регулюють зазор у клапанах). Окрім цього, у деяких конструкціях можуть використовуватися ексцентрикові, а також пружинні компенсатори, які мають властивість саморегулюватися при зміні розмірів ланок під час експлуатації. Недоліком цього методу є необхідність введення в конструкцію додаткових деталей, що ускладнюють її і роблять дорожчою.

Різновидом методу регулювання є *метод добору*. До методу добору належить застосування набору регулювальних прокладок, кілець змінної товщини. Кількість ступенів регулювання в цьому і в аналогічних випадках визначають за формулою

$$n_k = \frac{TK}{TA_\Delta} + 1, \qquad (1.79)$$

де n_k – кількість ступенів регулювання (кількість прокладок, кілець, втулок різного розміру), які є компенсаторами.

Допуск на виготовлення цих компенсаторів можна знайти через вираз

$$TA_k = \frac{TA_\Delta}{n_k}, \qquad (1.80)$$

де TA_k – допуск на виготовлення компенсатора; TA_Δ – допуск замикальної ланки.

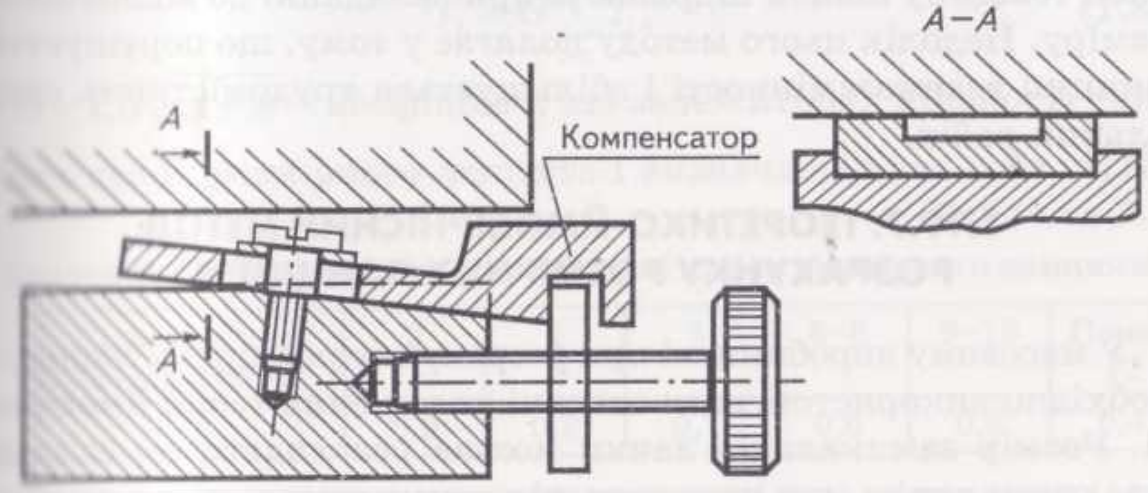


Рис. 1.64. Компенсатор у вигляді клину

Номінальний розмір регулювального компенсатора як в цьому, так і в інших випадках визначають із загального рівняння

розмірного ланцюга. Прикладом такого компенсатора можуть бути клини для вибору зазору між супортом і поперечними полозками токарного верстата (рис. 1.64).

1.19.6. МЕТОД ПРИПАСУВАННЯ

Метод припасування полягає в тому, що задана точність замикальної ланки розмірного ланцюга досягається зміною розміру компенсувальної ланки внаслідок зняття шару матеріалу із деталі (виробу). Цей метод застосовують тоді, коли компенсація невелика і в розмірному ланцюгу є ланка, розмір якої може легко змінюватися. Недоліком цього методу є складність нормування процесу припасування і повний відхід від принципу взаємозамінності.

Різновидом методу припасування є метод допоміжної обробки за результатами замірів при складанні. Він поширений для тих розмірних ланцюгів, від яких вимагають дуже високої точності замикальної ланки, яку економічно невигідно досягати точною обробкою всіх ланок, або існують певні труднощі із введенням в конструкцію механізму регулювального компенсатора. Прикладом може бути вузол кріплення конічного зубчастого колеса. Точність його положення в осьовому напрямку забезпечується компенсувальною шайбою. Залежно від фактичних розмірів деталей товщину шайби підрізають при складанні до відповідного розміру. Недолік цього методу полягає у тому, що порушується принцип взаємозамінності і збільшується трудомісткість складальних робіт.

1.19.7. ТЕОРЕТИКО-ЙМОВІРНІСНИЙ МЕТОД РОЗРАХУНКУ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ

У масовому виробництві при розрахунку розмірних ланцюгів необхідно використовувати основні положення теорії ймовірності. Розмір замикальної ланки можна розглядати як складну випадкову подію, що залежить від низки незалежних простих випадкових подій – розмірів складових ланок.

Основною перешкодою для широкого впровадження ймовірнісного методу розрахунку розмірних ланцюгів у практику, наприклад в роботі конструкторів і технологів, є відносна склад-

вість розрахунку, що зумовлює великі витрати часу; відсутність обґрунтованих даних з вибору коефіцієнтів a_i, λ_i (або k_i), де a_i – коефіцієнт відносної асиметрії; λ_i (або k_i) – коефіцієнти відносного розсіювання розміру.

Щоб уникнути подібних труднощів у деяких галузях машинобудування й приладобудування, впроваджені спрощені варіанти методів ймовірнісного розрахунку, що забезпечують можливість розширення допусків складових ланок ланцюга [2].

При спрощеному варіанті

$$T_\Sigma = \frac{k_c}{\sqrt{m+n}} \sum_{i=1}^{m+n} T_i, \qquad (1.81)$$

де T_Σ – межа поля допуску замикальної ланки; k_c – середнє значення коефіцієнта відносного розсіювання k_i.

Похибки такого спрощення компенсуються збільшеним значенням емпіричного коефіцієнта k_c. Наприклад, у приладобудуванні при дослідженні різних з'єднань деталей з розмірами від 1,5 до 1500 мм і точністю виготовлення від 3 до 7-го квалітету середнє значення коефіцієнта виявилось k_c =1,35, а для розрахунку розмірних ланцюгів прийнятий коефіцієнт k_c = 1,5 – найбільший із отриманих при експериментах.

Підставивши у формулу (1.81) k_c =1,5, отримують кінцеву спрощену формулу

$$T_\Sigma = \Theta \sum_{i=1}^{m+n} T_i, \qquad (1.82)$$

де $\Theta = 1{,}5\sqrt{m+n}$ – коефіцієнт, що залежить від кількості складових ланок розмірного ланцюга і визначається за табл. 1.13.

Таблиця 1.13

Значення Θ, що залежить від кількості ланок розмірного ланцюга

Кількість складових ланок	3	4	5	6–8	9–12	Понад 12
Θ	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

Таким чином, при спрощеному варіанті розрахунку для суми допусків складових ланок застосовують формулу (1.82). У приладобудуванні спрощений варіант розрахунку рекомендується навіть при дрібносерійному виробництві деталей. В інших галузях промисловості або на окремих заводах з огляду

на різне технологічне устаткування, характер і обсяг виробництва можуть бути отримані інші значення k_c, котрими в таких випадках треба користуватися.

Основним висновком розрахунку розмірного ланцюга за ймовірнісним методом є те, що при однаковому допуску замикальної ланки суттєво (до двох разів) можна розширити допуски задання розмірів складових ланок порівняно з розрахунком розмірного ланцюга за методом повної взаємозамінності на максимум і мінімум (див. попередні розрахунки прямої та оберненої задач).

Контрольні запитання та завдання

1. *Перелічіть основні види розмірних ланцюгів та охарактеризуйте їх.*
2. *Що називають розмірним ланцюгом, замикальною, збільшувальною, зменшувальною ланками?*
3. *Поясніть сутність розрахунку оберненої задачі.*
4. *Поясніть сутність розрахунку прямої задачі.*
5. *У чому перевага методу компенсації?*
6. *Поясніть сутність розрахунку розмірного ланцюга методом припасування.*
7. *Коли застосовують теоретико-ймовірнісний метод?*
8. *Яка відмінність у розрахунках розмірних ланцюгів за методами повної та неповної взаємозамінності?*

1.20. ХВИЛЯСТІСТЬ І ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

1.20.1. ХВИЛЯСТІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Під *хвилястістю* поверхонь, згідно з рекомендаціями РС 3951–73 [77], розуміють сукупність періодично повторюваних нерівностей, для яких відстані між суміжними виступами чи впадинами перевищують базову довжину L_W. Хвилястість займає проміжне положення між відхилами форми та шорсткістю поверхні. Умовно границю між різними порядками відхилів поверхні можна встановити за значенням відношення кроку S_W до висоти нерівностей W_z. При $(S_W/W_z) < 40$ відхили відносять до шорсткості поверхні; при $1000 \geq (S_W/W_z) \geq 40$ – до хвилястості, при $(S_W/W_z) > 1000$ – до відхилів форми профілю поверхні. Характерні схеми визначення висоти та кроку хвилястості зображено на рис. 1.65.

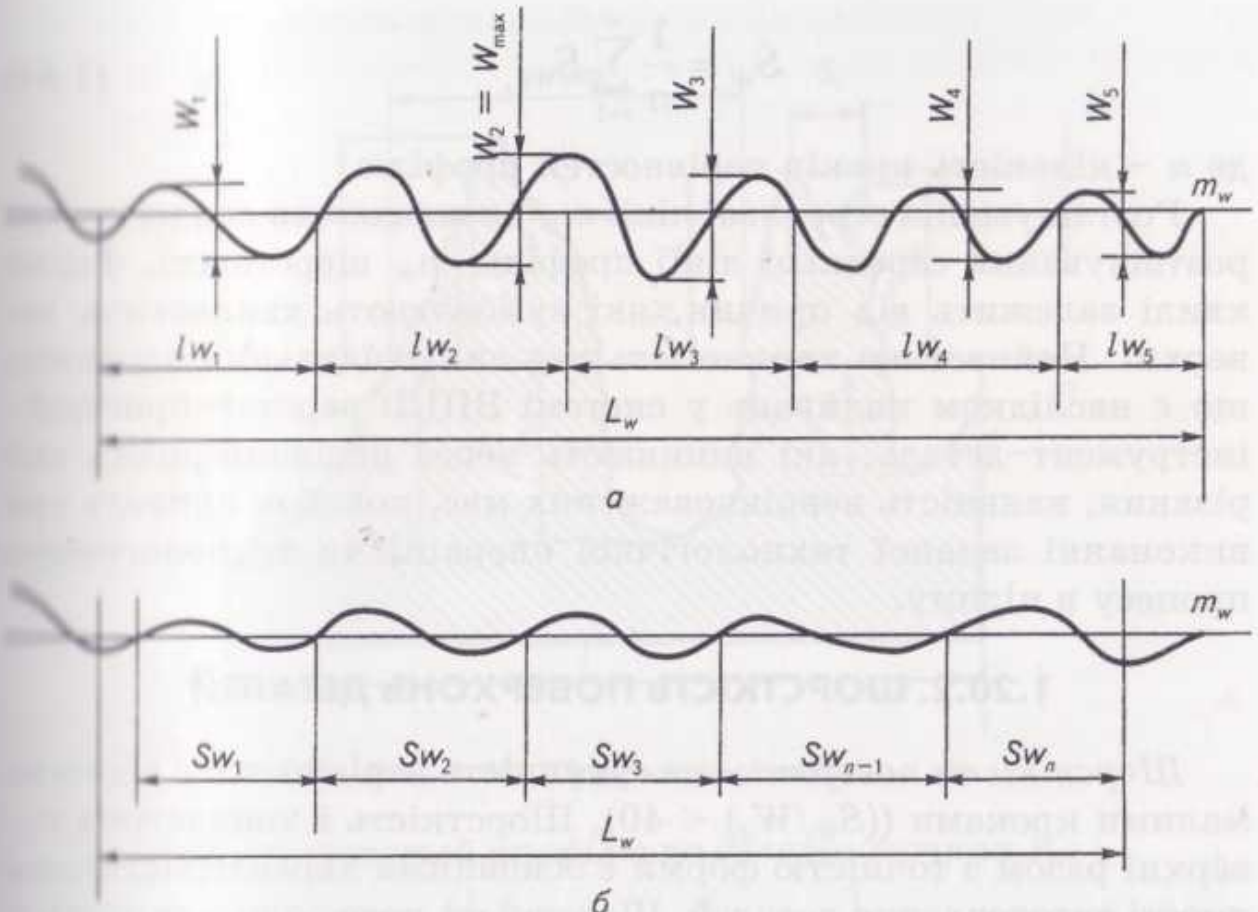


Рис. 1.65. Визначення висоти (*а*) та кроку (*б*) хвилястості поверхонь

Висота хвилястості W_z – це середнє арифметичне з п'яти значень (W_1, W_2, ...W_5), визначених на довжині ділянки вимірювання L_W, що дорівнює не менше п'яти дійсним найбільшим кроках S_W хвилястості:

$$W_z = \frac{(W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5)}{5}. \qquad (1.83)$$

Граничні числові значення W_z необхідно вибирати з ряду: 0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6; 3,2; 6,3; 12,5; 25; 50; 100; 200 мкм.

Окреме вимірювання хвилястості виконують на довжині l_{Wi}, що дорівнює п'ятій частині довжини L_W. *Найбільша висота хвилястості* W_{max} – це відстань між найвищою та найнижчою точками вимірюваного профілю в межах довжини L_W, виміряна на одній повній хвилі.

Середній крок хвилястості S_W – це середнє арифметичне значення довжин відрізків середньої лінії S_{Wi}, обмежених точками їх перетину з сусідніми ділянками профілю хвилястості:

$$S_W = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_{Wi}, \qquad (1.84)$$

де n – кількість кроків нерівностей профілю.

Розташування середньої лінії m_W визначається аналогічно до розташування середньої лінії профілю m_W шорсткості. Форма хвилі залежить від причин, які зумовлюють хвилястість поверхні. Найчастіше хвилястість має синусоїдальний характер, що є наслідком коливань у системі ВПІД: верстат–пристрій–інструмент–деталь, які виникають через нерівномірність сил різання, наявність неврівноважених мас, похибок приводу при виконанні заданої технологічної операції чи технологічного процесу в цілому.

1.20.2. ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Шорсткість поверхні – це сукупність нерівностей з відносно малими кроками ($(S_W/W_z) < 40$). Шорсткість і хвилястість поверхні разом з точністю форми є основними характеристиками якості виготовлення деталей. Шорсткість поверхонь нормується згідно з ГОСТ 25142–82 [78] або ДСТУ 2413–94 [79], а також чинним ще ГОСТ 2789–73 [80]. Схематичне позначення параметрів шорсткості зображене на рис. 1.67.

Розташування середньої лінії m визначають таким чином, щоб площі нерівностей по обидва боки від цієї лінії до контура профілю були рівнозначні. Значення базових довжин вибирають із ряду: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8; 25 мм.

Згідно з рекомендаціями ISO та згаданими нормативними документами [78, 79], шорсткість поверхонь деталей незалежно від матеріалу та способу виготовлення можна оцінювати кількісно одним або кількома параметрами: R_a, R_z, R_{max}, S_m, S, t_p.

Середній арифметичний відхил профілю R_a визначають за формулою

$$R_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |y_i|, \qquad (1.85)$$

де y_i – відстань між будь-якою точкою профілю та середньою лінією; n – кількість вибраних точок профілю на базовій довжині l.

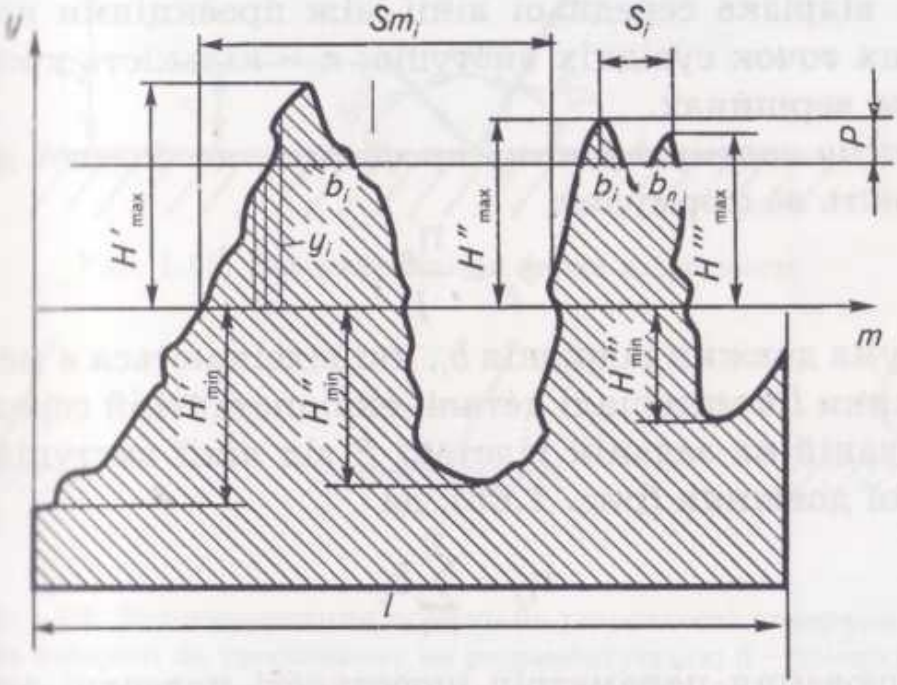


Рис. 1.66. Шорсткість поверхонь

Висота нерівностей профілю по десяти точках R_z:

$$R_z = \frac{1}{5}\left[\sum_{i=1}^{5}\left|H_{\max}\right| + \sum_{i=1}^{5}\left|H_{\min}\right|\right], \qquad (1.86)$$

де $H_{\max}$ – гранична висота виступів; $H_{\min}$ – гранична глибина западин.

Найбільша висота нерівностей профілю $R_{\max}$:

$$R_{\max} = \left|H_{\max}\right| + \left|H_{\min}\right|. \qquad (1.87)$$

Середній крок нерівностей S_m:

$$S_m = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_{mi}, \qquad (1.88)$$

де S_{mi} – крок нерівностей профілю, що дорівнює довжині відрізка середньої лінії, який перетинає профіль у трьох сусідніх точках; n – кількість кроків у межах базової довжини l.

Середній крок місцевих виступів S:

$$S = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_i, \qquad (1.89)$$

де S_i – крок нерівностей профілю по вершинах, що дорівнює довжині відрізка середньої лінії між проекціями на неї двох найвищих точок сусідніх виступів; n – кількість кроків нерівностей по вершинах.

Відносну опорну довжину профілю t_p до базової довжини l обчислюють за формулою

$$t_p = \frac{\eta_p}{l}, \tag{1.90}$$

де η_p – сума довжин відрізків b_i, які відсікаються в межах базової довжини l в матеріалі деталі, еквідистантній середній лінії, розташованій на заданій відстані P від лінії виступів профілю до базової довжини (рис. 1.66), де

$$\eta_p = \sum_{i=1}^{n} b. \tag{1.91}$$

Вимірювання параметрів шорсткості поверхні здійснюють за ДСТУ 2409–94 [81] та ГОСТ 2789–73 [80].

1.20.3. ПОЗНАЧЕННЯ ШОРСТКОСТЕЙ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Розшифрування позначень шорсткості поверхонь за ГОСТ 2.309–73 [85], які проставляють на технічних кресленнях, представлено на рис. 1.67.–1.69.

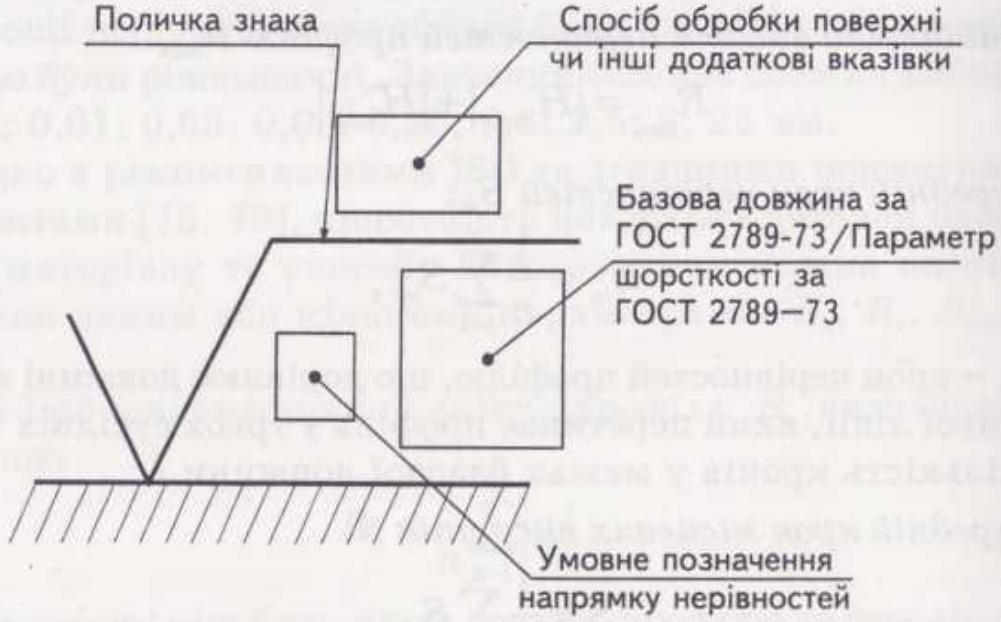


Рис. 1.67. Схематичне позначення шорсткості поверхні

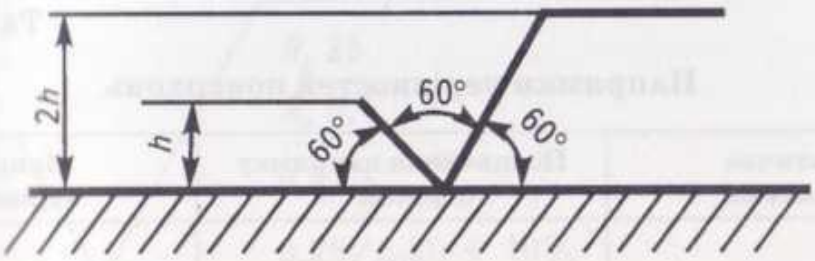


Рис. 1.68. Розшифрування знака шорсткості

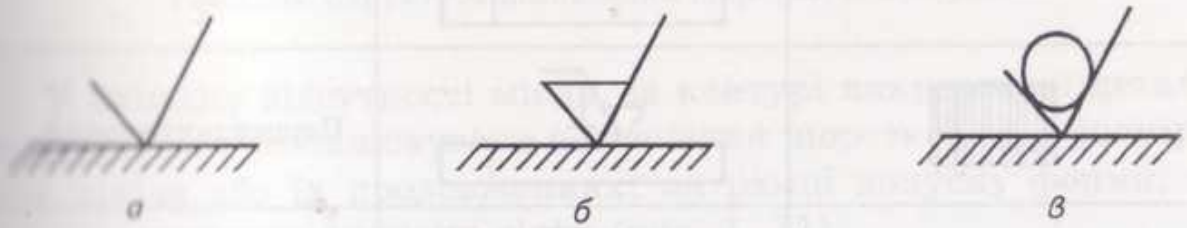


Рис. 1.69. Розшифрування позначень шорсткості поверхонь: *а* – утворення поверхні на кресленнях не регламентується; *б* – поверхня, утворена шляхом видалення шару матеріалу (токарна обробка, фрезерування, свердлення, шліфування, полірування); *в* – поверхня, утворена без видалення шару матеріалу (лиття, штампування, кування)

Номінальні значення висотної R_z та крокової R_a характеристик шорсткості представлені в табл. 1.14, а умовні позначення напрямків нерівностей поверхонь деталей – в табл. 1.15 відповідно.

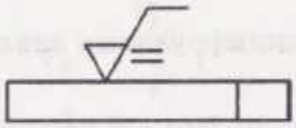
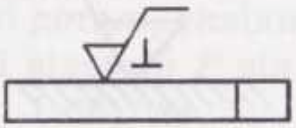
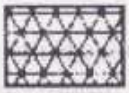
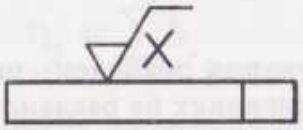
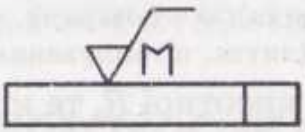
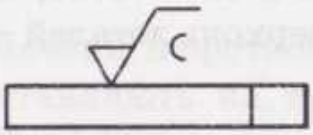
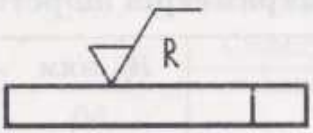
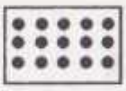
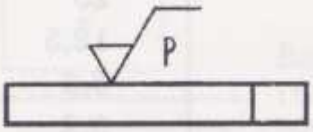
Таблиця 1.14

Значення параметрів шорсткості R_z, R_a

Клас шорсткості	R_z, мкм	R_a, мкм	Базова довжина l, мм
1	200	50	8
2	100	25	»
3	50	12,5	»
4	25	6,3	2,5
5	12,5	3,2	»
6	–	1,6	0,8
7	–	0,8	»
8	–	0,4	»
9	–	0,2	»
10	–	0,1	0,25
11	–	0,05	»
12	–	0,025	»
13	–	0,012	0,08
14	–	»	»

Таблиця 1.15

Напрямки нерівностей поверхонь

Схематичне зображення	Позначення напрямку рисок	Напрямок нерівностей
		Паралельний
		Перпендикулярний
		Перехресний
		Довільний
		Колоподібний
		Радіальний
		Точковий

На рис.1.70–1.73 подано найбільш характерні приклади позначень параметрів шорсткості на кресленнях деталей з урахуванням способів обробки, форми деталі, місця напису тощо.

Зазначаючи два і більше параметрів шорсткості, їх значення записують під знаком зверху вниз у такому порядку: параметр висоти нерівностей профілю R_z та R_a; параметр кроку нерівностей профілю S_m; відносна опорна довжина профілю t_p; базова відстань 0,8 мм відповідно (рис. 1. 70).

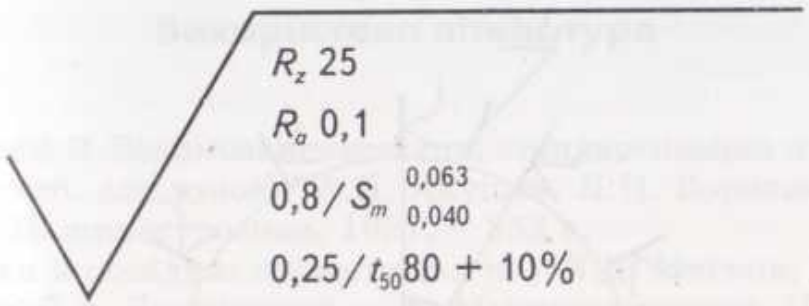


Рис.1.70. Структура позначення шорсткості поверхні

У випадку відсутності місця на контурі викресленої деталі допускається розташовувати позначення шорсткості на розмірних лініях або їх продовженнях, на рамці допуску форми, а також розривати виносну лінію (рис. 1. 71).

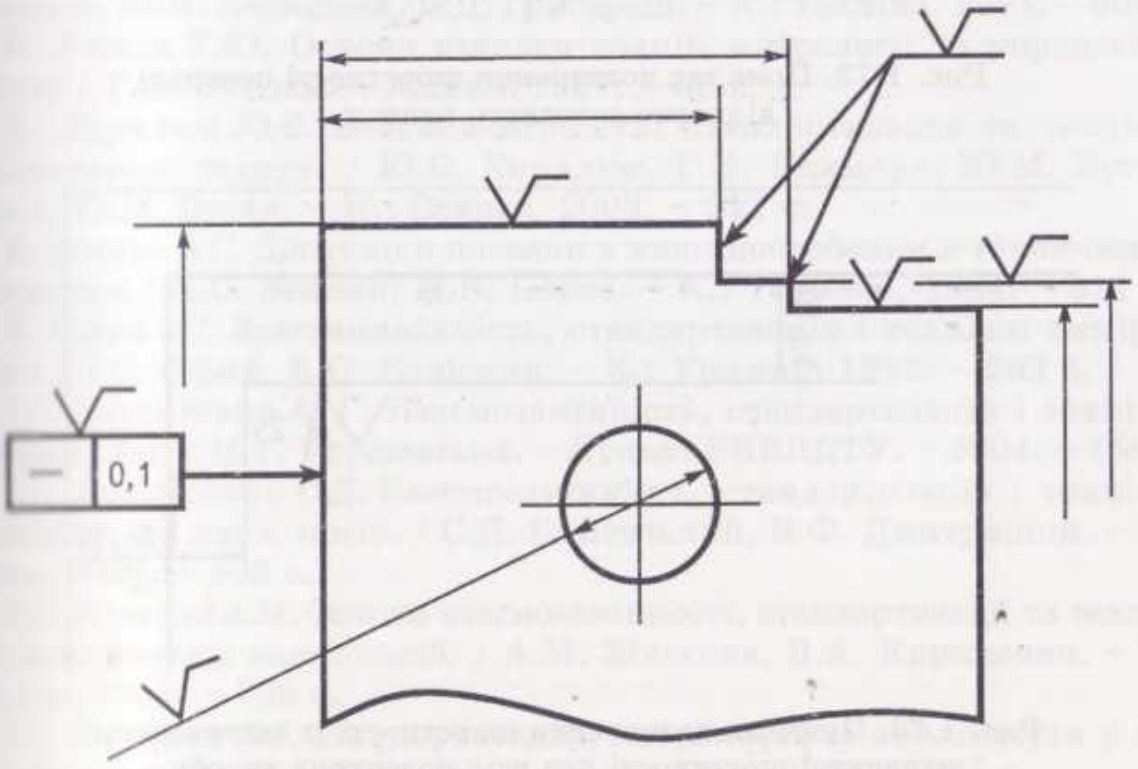


Рис. 1.71. Приклад позначення шорсткості при нестачі місця, а також на розмірних лініях або на їх продовженнях

Якщо шорсткість частини поверхонь на кресленику деталі позначена, а решта поверхонь повинна мати однакову шорсткість, наприклад R_z25, то у правому верхньому кутку кресленика записують знак $\sqrt{R_z25}$.

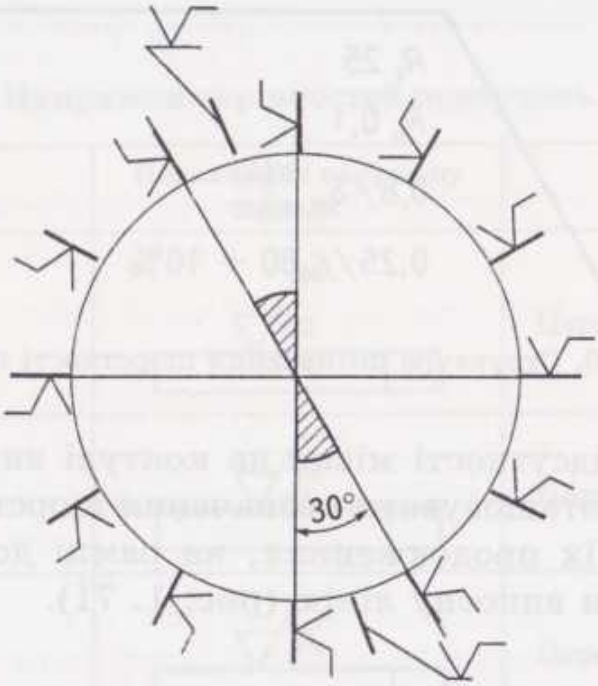


Рис. 1.72. Приклад позначення шорсткості поверхні відносно основного напису

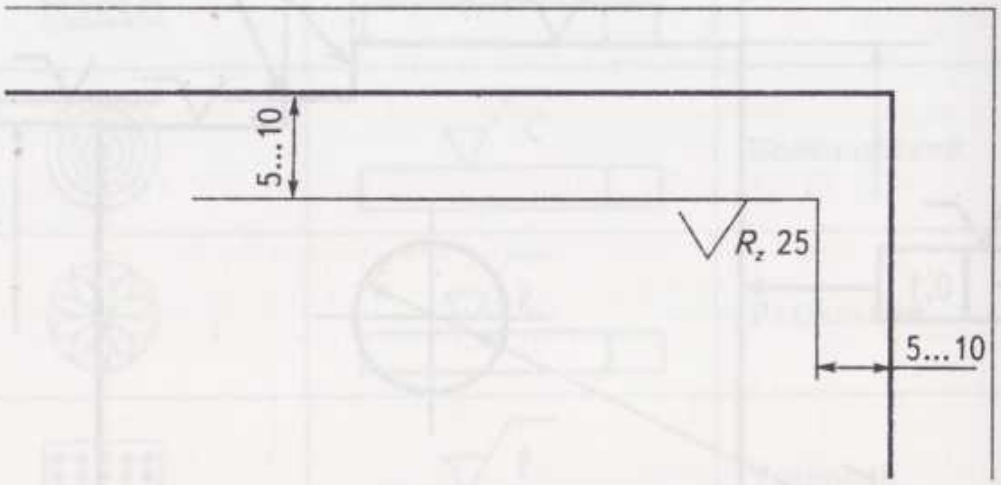


Рис. 1.73. Приклад позначення шорсткості із зазначенням однакової шорсткості для всіх поверхонь виробу

Контрольні запитання та завдання

1. Що таке хвилястість поверхонь деталей?
2. Що таке шорсткість поверхонь деталей?
3. Як позначають шорсткість поверхонь на кресленику?
4. Якими параметрами оцінюють шорсткість поверхонь деталей?
5. Окресліть структуру знака шорсткості поверхні.

Використана література

1. *Якушев А.И.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учеб. для вузов / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.

2. *Допуски* и посадки: справ.: в 2-х ч. / В.Д. Мягков, М.А. Палей, А.Б. Романов, В.А. Брагинский. – Л.: Машиностроение, 1982. – Ч. 1. – 543 с. – Ч. 2. – 445 с.

3. *Зябрева Н.Н.* Пособие к решению задач по курсу "Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения"/ Н.Н. Зябрева, Е.И. Перельман, М.Я. Шегал. – М.: Высшая школа, 1987. – 207 с.

4. *Медовой И.А.* Калибры гладкие и шлицевые с прямобочным профилем: справ.: в 2-х кн. / И.А. Медовой, Я.Г. Уманский, Н.М. Журавлев. – М.: Машиностроение,1980. – Ч. 1. – 384 с. – Ч. 2. – 440 с.

5. *Самохвалов Я.А.* Справочник техника-конструктора / Я.А. Самохвалов, М.Я. Левицкий, В.Д. Григораш. – К.: Техніка, 1995. – 600 с.

6. *Росоха Т.Ю.* Основи стандартизації, метрології та управління якістю / Т.Ю. Росоха. – КДТЕУ 1997. – 98 с.

7. *Кирилюк Ю.Є.* Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання: підруч. / Ю.Є. Кирилюк, Г.К. Якимчук, Ю.М. Бугай; за ред. Ю.М. Бугая. – К.: Основа, 2003. – 212 с.

8. *Зенкин А.С.* Допуски и посадки в машиностроении и технические измерения / А.С. Зенкин, И.В. Петко. – К.: Техника, 1984. – 311 с.

9. *Сірий І.С.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / І.С. Сірий, В.С. Колісник. – К.: Урожай, 1995. – 263 с.

10. *Грушевська М.Г.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / М.Г. Грушевська. – Луцьк: РВВЛДТУ. – 2004. – 136 с.

11. *Базієвський С.Д.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: навч. посіб. / С.Д. Базієвський, В.Ф. Дмитришин. – К.: Слово, 2004. – 503 с.

12. *Желєзна А.М.* Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: навч. посіб. / А.М. Желєзна, В.А. Кирилович. – К.: Кондор, 2004. – 796 с.

13. *Боженко Л.І.* Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні / Л.І. Боженко. – Львів: Світ, 2003. – 327 с.

14. *Саранча Г.А.* Метрологія і стандартизація: підруч. / Г.А. Саранча. – К.: Либідь, 1997. – 192 с.

15. *Когут М.С.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання: практикум до виконання практичних та курсових робіт для студен. інж. спец. освітньо-кваліфікаційного рівня Бакалавр / М.С. Когут, З.І. Пеклич. – Львів, 2004. – 107 с.

16. *Когут М.С.* Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні: підруч. / М.С. Когут. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2000. – 352 с.

17. *Бичківський Р.В.* Метрологія, стандартизація, управління якістю та сертифікація / Р.В. Бичківський, П.Г. Столярчук, П.Р. Гамула. – Львів: НУ "Львівська політехніка", 2002. – 559 с.

18. *Саранча Г.А.* Метрологія, стандартизація, відповідність, акредитація та управління якістю / Г.А. Саранча. – К.: Центр навчальної літератури, 2006. – 668 с.

19. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 55 с.

20. *Классификатор* ЕСКД. Класс 30: сборочные единицы общие машиностроительные. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 119 с.

21. Основи взаємозамінності, стандартизації, сертифікації, акредитації та технічні вимірювання: підруч. / М.С. Когут, Н.М. Лебідь, О.В. Білоус, І.Є. Кравець – Львів: Світ, 2010. – 528 с.

22. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора-машиностроителя: в 4 т. / В.И. Анурьев. – Т. 1–4. – М.: Машиностроение, 1991. – 1987 с.

23. *Шишкин И.Ф.* Метрология, стандартизация и управление качеством / И.Ф. Шишкин. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 342 с.

24. *Саранча Г.А.* Вибір розмірів, допусків і посадок гладких циліндричних з'єднань та підшипників кочення: навч. посіб. / Г.А. Саранча. – К.: Либідь, 1982. – 119 с.

25. *Сергеев А.Г.* Метрология / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин. – М.: Логос. – 2000. – 407 с.

26. Управление качеством продукции. Международные стандарты ИСО 9000...ИСО 9004, ИСО 8402. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 45 с.

27. ДСТУ 2681–94. Метрологія. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 72 с.

28. ДСТУ 3651.0–97. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. – К.: Держстандарт України, 1999. – 38 с.

29. ДСТУ 3651.1–97. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Міжнародна система одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення. – К.: Держстандарт України, 1999. – 94 с.

30. ДСТУ 3231:2007. Метрологія. Еталони одиниць вимірювань державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, затвердження і реєстрації, зберігання та застосування. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 24 с.

31. ДСТУ 3989–2000. Метрологія. Калібрування засобів вимірювальної техніки. Основні положення, організація, порядок проведення та оформлення результатів. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 30 с.

32. ДСТУ 3215–95. Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 34 с.

33. ДСТУ ГОСТ 8.051:2009. ГСИ. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм. – К.: Держспоживстандарт, 2009. – 12 с.
34. ДСТУ ISO 286-1–2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок (ISO 286-1:1988, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 42 с.
35. ДСТУ ISO 286-2–2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів (ISO 286-2:1988, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 47 с.
36. ДСТУ 2500–94. Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми. – К.: Держстандарт України, 1998. – 57 с.
37. ДСТУ 2234–93. Калібри. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1998. – 17 с.
38. ГОСТ 24853–81. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. Допуски. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 15 с.
39. ГОСТ 3395–89. Подшипники качения. Типы и конструктивные исполнения. – М.: Изд-во стандартов,1990. – 53 с.
40. ГОСТ 3325–85. Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 105 с.
41. ГОСТ 3189–89. Подшипники шариковые и роликовые. Система условных обозначений. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 13 с.
42. ДСТУ ГОСТ 520:2003 (ИСО 199–97, ИСО 492–94). Підшипники кочення. Загальні технічні умови. – К.: Держспоживстандарт, 2004. – 77 с.
43. ДСТУ 3012–95. Підшипники кочення та ковзання. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1996. – 77 с.
44. ДСТУ ГОСТ 520:2003. Підшипники кочення. Загальні технічні умови. – К.: Держспоживстандарт, 2004. – 77 с.
45. ГОСТ 8724–2002. ОНВ. Резьба метрическая. Диаметры и шаги. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 13 с.
46. ДСТУ 2497–94. ОНВ. Різьба і різьбові з'єднання. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 48 с.
47. ГОСТ 16093–2004. ОНВ. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 45 с.
48. ГОСТ 24834–81. ОНВ. Резьба метрическая. Переходные посадки. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 24 с.
49. ГОСТ 4608–81. ОНВ. Резьба метрическая. Посадки с натягом. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 15 с.
50. ГОСТ 9484–81. ОНВ. Резьба трапециедальная. Профили – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 6 с.
51. ГОСТ 9562–81. ОНВ. Резьба трапециедальная однозаходная. Допуски и посадки. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 41 с.

52. ГОСТ 24739–81. ОНВ. Резьба трапециедальная многозаходная. Допуски и посадки. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 20 с.

53. ГОСТ 23360–78. ОНВ. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 18 с.

54. ГОСТ 24071–97 (ИСО 3912–77). ОНВ. Сегментные шпонки и шпоночные пазы. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 6 с.

55. ДСТУ ГОСТ 24069:2005 (ИСО 3117:1977). ОНВ. Тангенціальні шпонки та шпонкові пази (ГОСТ 24069–97 (ИСО 3117–77), IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 8 с.

56. ДСТУ ГОСТ 24071:2005 (ИСО 3912:1977). ОНВ. Сегментні шпонки та шпонкові пази. (ГОСТ 24071–69 (ИСО 3117–77, IDT)). – К.: Держспоживстандарт України, 2006. – 11 с.

57. ГОСТ 1139–80. ОНВ. Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 22 с.

58. ГОСТ 6033–80. ОНВ. Соединения шлицевые эвольвентные с углом профиля 30°. Размеры, допуски и измеряемые величины. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 83 с.

59. ДСТУ ISO 1328-1:2006. Колеса зубчасті циліндричні. Системи точності ISO. Ч. 1. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень бічних поверхонь зубців зубчастого колеса (ISO 1328-1:1995, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 34 с.

60. ДСТУ ISO 1328-2:2006. Колеса зубчасті циліндричні. Системи точності ISO. Ч. 2. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень радіальних складових і биття (ISO 1328-2:1997, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 16 с.

61. ГОСТ 1643-81. ОНВ. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 71 с.

62. ДСТУ ISO/TR 10064-1:2006. Колеса зубчасті циліндричні. Правила контролю. Ч. 1. Контроль однойменних профілів зубців зубчастих коліс (ISO/TR 10064-1:1992, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2007.

63. ДСТУ 3423–96. Передачі зубчасті. Похибки та допуски. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1998. – 69 с.

64. ДСТУ 1.0:2003. Національна стандартизація. Основні положення. – К.: Держстандарт України, 2003. – 22 с.

65. ДСТУ 1.2:2003. Національна стандартизація. Порядок розроблення національних нормативних документів. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 20 с.

66. ДСТУ 1.1–2001. Національна стандартизація. Стандартизація та суміжні види діяльності. Терміни та визначення основних понять. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 42 с.

67. ГОСТ 8032–84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 18 с.

68. ГОСТ 8908–81. ОНВ. Нормальные углы и допуски углов. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 17 с.
69. ГОСТ 25307–82. Система допусков и посадок для конических соединений. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 39 с.
70. ДСТУ 2499–94. ОНВ. Конуси та конічні з'єднання. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 39 с.
71. ГОСТ 8593–81. ОНВ. Нормальные конусности и углы конусов. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 2 с.
72. ДСТУ 2498–94. ОНВ. Допуски форми та розташування поверхонь. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 114 с.
73. ГОСТ 24642–81. ОНВ. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 110 с.
74. ГОСТ 24643–81. ОНВ. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 16 с.
75. ГОСТ 28187–89. ОНВ. Отклонения формы и расположения поверхностей. Общие требования к методам измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 20 с.
76. *Когут М.С.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / М.С. Когут. – Львів: Бібльос, 2011. – 316 с.
77. РС 3951–73. Волнистость поверхности. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – 15 с.
78. ГОСТ 25142–82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 18 с.
79. ДСТУ 2413–94. ОНВ. Шорсткість поверхні. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 41 с.
80. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 8 с.
81. ДСТУ 2409–94. Вимірювання параметрів шорсткості. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 25 с.
82. ГОСТ 25548–82. ОНВ. Конусы, конические соединения. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 34 с.
83. ГОСТ 25069–81. Неуказанные допуски формы и расположения поверхностей. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 17 с.
84. ГОСТ 9953–82. Конусы инструментов укороченные. Основные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 6 с.
85. ГОСТ 2.309–73. Единая система конструкторской документации. Обозначения шероховатости поверхностей. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.
86. РД 50-635-87. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 45 с.

РОЗДІЛ 2

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНІ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІН "ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ І ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ", "ДОПУСКИ, ПОСАДКИ ТА ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ"

У розділі подано методичні рекомендації щодо виконання восьми лабораторно-практичних робіт, які містять матеріали, передбачені навчальними програмами. Вони ознайомлюють учнів з експлуатаційними та метрологічними характеристиками вимірювальних приладів і інструментів, прищеплюють їм навички користування цими приладами та інструментами, сприяють закріпленню лекційного матеріалу із зазначених дисциплін.

Необхідні для виконання лабораторно-практичних робіт формули в текстах наведено у кінцевому вигляді без доведень. В описах вимірювальних приладів і інструментів показано їх загальні вигляди (фотографії), принципові схеми з роз'ясненням процедури вимірювання та метрологічні характеристики.

У лабораторно-практичних роботах використано обладнання метрологічних лабораторій машинобудування, лабораторій закладів профтехосвіти, машинобудівних заводів та ремонтних майстерень агропромислового комплексу. Способи вимірювань у практичних роботах відповідають вимогам Держспоживстандарту України. Основні метрологічні визначення, термінологія та класифікація вимірювальних приладів ґрунтуються на ДСТУ 2681–94 [34].

2.1. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ТА ЇХ ПЕРЕЛІК

1. Ескізи деталей, контрольно-вимірювальних інструментів і приладів необхідно виконувати акуратно, під лінійку відповідно до вимог ЄСКД.

2. Графічні зображення виконувати на міліметровому або текстовому папері.

3. Протоколи замірів чітко і акуратно заповнювати ручкою.

4. Звіт про виконання лабораторно-практичної роботи повинен містити: титульний аркуш; звітну форму; ескізи вимірювальних засобів та їх метрологічні характеристики, схеми і графіки, а також висновки.

5. Текст матеріалу повинен бути зшитим, мати титульну сторінку і звітну форму. У звітній формі зазначають мету роботи і структуру за вибором викладача. Текст пишуть кульковою ручкою на аркушах формату А4 (210×297 мм) з одного боку аркуша з полями: зліва – 20 мм, справа – 10 мм, згори і знизу – 15 мм. Звіт про роботу учні здають викладачеві наприкінці заняття або на початку наступного заняття.

Набуті учнями знання викладачі оцінюють за 100-бальною шкалою Болонської системи.

Рекомендовані типовою програмою теми відображено у восьми комплексних лабораторних роботах:

№ 1. Вимірювання деталей штангенінструментами.

№ 2. Вимірювання деталей мікрометричними інструментами.

№ 3. Вимірювання деталей індикаторними інструментами.

№ 4. Вимірювання параметрів метричної нарізі і кутів у деталях спеціальними інструментами.

№ 5. Контроль деталей калібрами та шаблонами.

№ 6. Вимірювання деталей механічними та оптико-механічними засобами підвищеної точності.

№ 7. Вимірювання розмірів і форм деталей та шорсткості їх поверхонь.

№ 8. Вимірювання та контроль параметрів зубчастих коліс.

2.2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Під вимірюванням розуміють знаходження фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Визначенням методів і засобів вимірювання, розробленням систем одиниць фізичних величин, їх відтворенням, оцінкою похибок вимірювання займається *метрологія*.

2.2.1. ОДИНИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Одиниця фізичної величини – це одиниця вимірювання, ви значена числовим значенням, прийнятим за вихідну (основну або похідну) одиницю.

В Україні з 1963 р. введено Міжнародну систему одиниць вимірювання СІ (SI). На базі цієї системи побудовані стандарти ДСТУ 3651.0–97 [35] і ДСТУ 3651.1–97 [36]. За цими стандартами із одиниць фізичних величин встановлено похідні одиниці, наприклад, від одиниці довжини метр – дециметр, сантиметр, міліметр тощо.

Основними одиницями фізичних величин у системі СІ є: довжина – метр (м), маса – кілограм (кг), час – секунда (с), сила електричного струму – ампер (А), термодинамічна температура – кельвін (К), сила світла – кандела (кд), кількість речовини – моль (моль). Додаткові одиниці системи СІ: радіан (рад) і стерадіан (ср) – для вимірювання плоского та тілесного кутів відповідно.

Похідні одиниці одержують із рівнянь, що стосуються основних одиниць.

Для позначення десятих частин фізичних величин (помножених на 10 в додатному або від'ємному степенях) введені відповідні префікси. Наприклад, префікс кіло – (к) – 10^3, а префікс мілі – (м) – 10^{-3}. Відповідно до СІ тисячна частка міліметра – мікрометр (0,001 мм = 1 мкм).

Для відтворення одиниць фізичних величин на державному й міжнародному рівнях слугують еталони. Еталони одиниць фізичних величин встановлено стандартом ДСТУ 3231:2007 [37]. За еталон одиниці довжини, який рекомендовано XII Генеральною міжнародною конференцією з мір і ваг, що проходила у Празі (1960 р.), прийнято метр. Його зберігають у вакуумному об'ємі саркофага у термоконстантному приміщенні, що знаходиться на глибині десять метрів від поверхні землі. Це дає змогу знизити до нуля похибки від впливу температури.

У машинобудуванні та інших галузях під час складання таблиць допусків і посадок згідно з ДСТУ 2500–94 ([36], розділ 1) користуються зменшеними на 10^{-3} та на 10^{-6} (префікс мікро-) частинами метра, тобто міліметром та мікрометром відповідно.

Виконуючи лабораторно-практичні роботи, здебільшого використовують одиниці міліметр і мікрометр – для вимірювання довжини та градус – для вимірювання плоских кутів. Градус відповідає 1/360 частині кола, $360° = 2\pi$ рад.

2.2.2. ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ

Технічні спорядження – це технічні засоби, що використовуються при вимірюваннях і мають нормовані метрологічні властивості. До технічних засобів вимірювання належать:

еталон одиниці вимірювання – засіб вимірювання, офіційно затверджений як еталон для відтворення одиниці фізичної величини з максимальною точністю та її зберігання;

міри – засоби вимірювань, призначені для відтворення фізичної величини заданого розміру. Розрізняють однозначні міри, які відтворюють фізичну величину одного розміру (кінцеві міри довжини, гирі тощо) і багатозначні міри, які відтворюють однойменні величини розміру (рулетки, лінійки, розділені на міліметри, тощо);

зразкові засоби вимірювань – міри, вимірювальні прилади або перетворювачі, які затверджено як зразки;

калібри та шаблони – безшкальні вимірювальні інструменти, призначені для перевірки чи знаходження контрольованого параметра між допустимими межами;

універсальні засоби вимірювання – засоби, призначені для вимірювання фізичних величин у різних галузях техніки. Це масштабні лінійки, кронциркулі та нутроміри без шкал, штангенінструменти, мікрометричні інструменти, механічні й оптико-механічні, оптичні, лазерні прилади тощо;

спеціальні засоби вимірювання – засоби, призначені для вимірювання однієї або декількох фізичних величин виробів певного типу. Це прилади для вимірювання шорсткості та хвилястості поверхонь, нарізей, кутів, конусів тощо.

Вибір засобів вимірювання залежить від масштабів виробництва і точності вимірювальної величини. Допустима похибка вимірювання $[\omega]$ залежить від допуску на виготовлення деталі IT і становить $[\omega] = 20...30\%\ IT$.

Кожен вимірювальний засіб характеризується граничною похибкою $\omega_{гр.}$ При виборі засобів вимірювання дотримуються умови: $\pm \omega_{гр.} \leq [\omega]$.

2.2.3. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ

Методи вимірювання – це сукупність прийомів використання принципів і засобів вимірювань. Існує ряд методів вимірювання.

Абсолютне вимірювання – вимірювання, побудоване на прямих вимірюваннях величини й використанні значень фізичних констант (вимірювання штангенциркулем, мікрометром тощо).

Відносне вимірювання – вимірювання, що ґрунтується на порівнянні вимірюваної величини з відомими значеннями установчої міри (вимірювання мініметром, важільною скобою, оптиметром, ортотестом тощо).

Пряме вимірювання – вимірювання, що характеризується безпосередньою оцінкою значень вимірюваної величини або відхилів.

Непряме вимірювання – вимірювання, при якому значення знаходять за відомими залежностями величин, які визначають прямим вимірюванням (наприклад, визначення конусності за розмірами діаметрів у двох перерізах і відстанню між цими перерізами; визначення діаметра за довжиною кола тощо).

Контактне вимірювання – вимірювання, при якому вимірювальні поверхні приладу або інструмента безпосередньо стикаються з поверхнями контрольованого об'єкта.

Безконтактне вимірювання – вимірювання, при якому відсутній контакт вимірювальних поверхонь приладу або інструмента з поверхнею вимірювального об'єкта.

Диференційоване (поелементне) вимірювання – вимірювання, що характеризується незалежним вимірюванням кожного параметра об'єкта (вимірювання середнього діаметра, кроку та кута профілю нарізі).

Комплексне вимірювання – вимірювання, що дає змогу оцінювати придатність за сумарною похибкою декількох параметрів виробу (наприклад, вимірювання чи контроль калібрами, проекторами).

Методи вимірювання можуть бути активними й пасивними, автоматичними й ручними тощо.

2.2.4. МЕТРОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ

Інтервал поділок шкали – відстань між осями двох сусідніх штрихів шкали.

Ціна поділки шкали – значення вимірюваної величини, що відповідає одній поділці шкали.

Діапазон вимірювань за шкалою – частина шкали, обмежена початковим і кінцевим значеннями.

Діапазон вимірювання приладу – ділянка значень вимірюваної величини, для якої нормовано допустимі похибки засобів вимірювання.

Межа вимірювання – найбільше і найменше значення величин, які можна виміряти приладом.

Вимірювальна сила – сила дії наконечника приладу на поверхню вимірюваної деталі в зоні контакту.

Абсолютна похибка приладу – різниця між показами приладу і дійсним значенням вимірюваної величини.

Відносна похибка приладу – відношення абсолютної похибки приладу до дійсного значення вимірюваної величини.

Похибка вимірювання – різниця між результатом вимірювання і дійсним значенням вимірюваної величини.

Точність засобів вимірювання – якість засобів вимірювання, що характеризує близькість до нуля їх похибок.

Точність вимірювання – якість результатів вимірювання, що відображає близькість їх до результатів дійсного значення вимірюваної величини.

Чутливість вимірювального приладу – відношення зміни сигналу на виході вимірювального приладу до зміни вимірюваної величини.

Поріг чутливості – найменше переміщення вимірювального наконечника, здатне зумовлювати зміну в показах приладу.

Поправка – величина, яку алгебраїчно додають до показу вимірювального приладу з метою вилучення його систематичної похибки.

Методологію застосування інструментів, приладів та інших засобів запозичено з [1, 19–21, 25–29].

2.3. МЕТОДОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ І ЗАСОБІВ У ТЕХНІЧНИХ ВИМІРЮВАННЯХ

Лабораторно-практична робота № 1

2.3.1. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНІНСТРУМЕНТАМИ

Мета роботи – ознайомитися з конструкцією і методикою вимірювання лінійних і діаметральних розмірів деталей штангенінструментами та набути навичок у вимірюваннях.

Загальні відомості

До штангенінструментів належать штангенциркулі, штангенглибиноміри, штангенрейсмуси і штангензубоміри [3–9].

У ***штангенциркулях***, крім основної шкали, на штанзі є спеціальний пристрій у вигляді лінійки зі шкалою, що називається ноніусом. Він дає змогу відраховувати частки поділок основної шкали. Ноніуси виготовляють зі значенням відліку 0,1; 0,05 і 0,02 мм.

Під час розрахунку шкали ноніуса визначають кількість поділок ноніуса n, інтервал поділок шкали ноніуса b, довжину шкали ноніуса l за формулами [10–14]

$$n = c/i;\ b = \gamma \cdot c - i;\ l = n \cdot b = n(\gamma \cdot c - 1);\ i = c/i,$$

де c – інтервал між поділками на основній шкалі; i – ціна поділки ноніуса; γ – модуль ноніуса, що показує кількість поділок основної шкали відповідно до однієї поділки ноніуса.

Різновиди шкал на ноніусі зображено на рис. 2.1. Ноніуси з однаковим значенням $i = 0{,}1$ мм та $n = 10$, але з різними значеннями модуля $\gamma = 1$ і $\gamma = 2$ відповідно зображено на рис. 2.1, *а, б*. Ноніус з кількістю поділок $n = 20$, модулем $\gamma = 2$, ціною поділки ноніуса $i = 0{,}05$ мм зображено на рис. 2.1, *в*. Ноніус з кількістю поділок $n = 50$, модулем $\gamma = 1$, ціною поділки $i = 0{,}02$ мм зображено на рис. 2.1, *г*.

Приклади відліку за шкалами штангенінструментів показано на рис. 2.2. Сьома поділка ноніуса збіглася з поділкою основної шкали. Зліва від нульової поділки ноніуса цифра 10,5 (105 мм). Заміряний розмір: $105 + 7 \cdot 0{,}1 = 105{,}7$ мм. Ціна поділки ноніуса $i = 0{,}1$ мм (рис. 2.2, *а*).

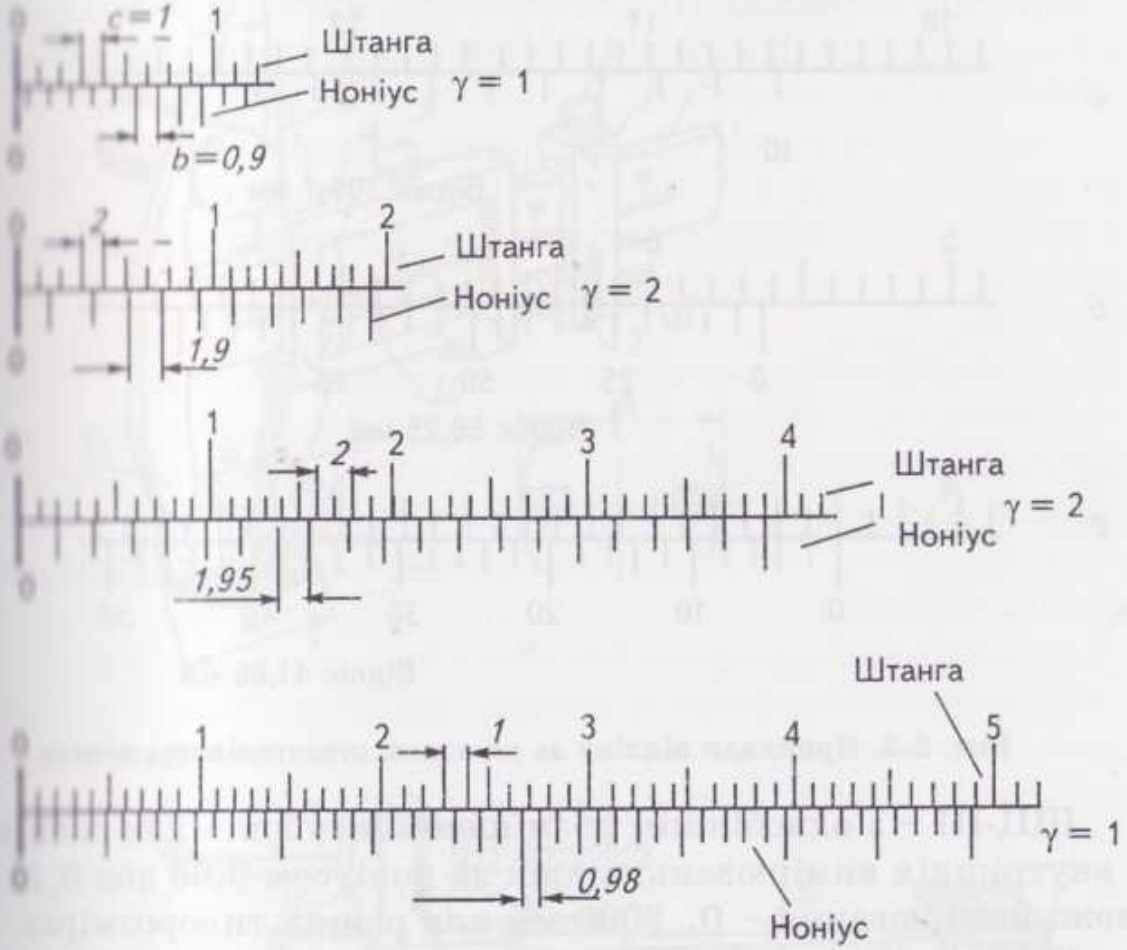


Рис. 2.1. Різновиди шкал на ноніусі

Замірянний розмір: 56 + 5 · 0,05 = 56,25 мм. Ціна поділки ноніуса i = 0,05 мм (рис. 2.2, *б*).

Замірянний розмір: 41,5 + 18 · 0,02 = 41,86 мм. Ціна поділки ноніуса i = 0,02 мм (рис. 2.2, *в*).

Штангенциркулі виготовляють чотирьох видів (ГОСТ 166–89 (ИСО 3599–76) [46]).

ШЦ-I – з двобічним розміщенням губок – для зовнішніх і внутрішніх вимірювань та з лінійкою для вимірювання глибин і висот; відлік за ноніусом – 0,1 мм, межі вимірювання – 0...125 мм.

ШЦТ-I – з однобічним розміщенням губок, з напаяними твердосплавними пластинами для зовнішніх вимірювань; відлік за ноніусом – 0,1 мм, межі вимірювання – 0...125 мм.

ШЦ-II – з двобічним розміщенням губок – для зовнішніх і внутрішніх вимірювань і для розмітки; відлік за ноніусом 0,05 або 0,1 мм, межі вимірювання 0...160 мм, 0...250 мм.

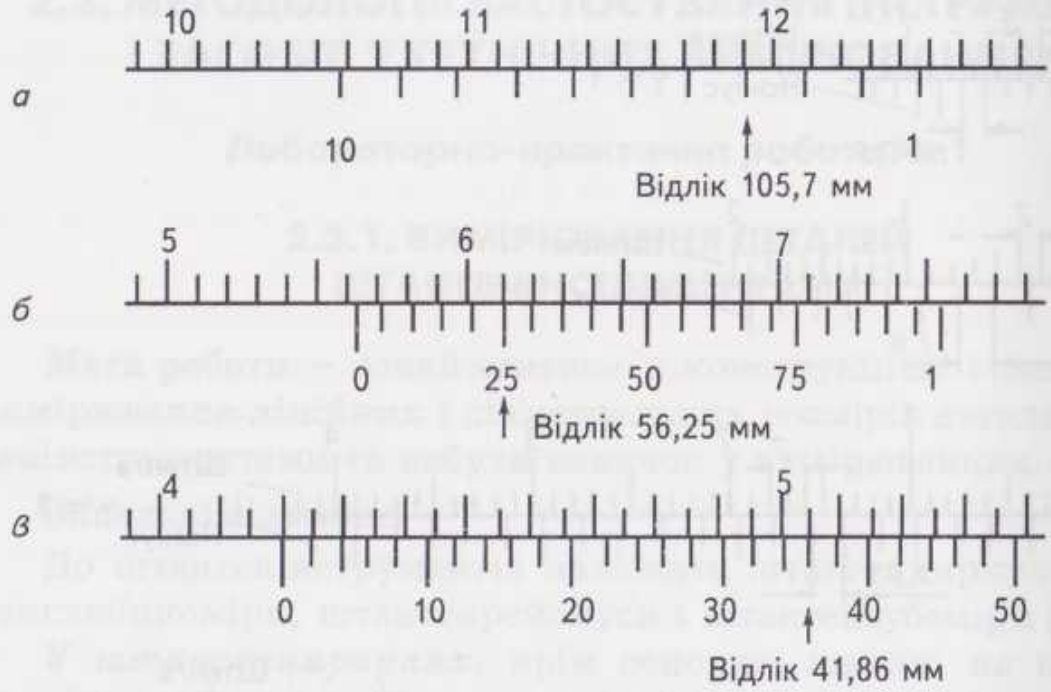


Рис. 2.2. Приклади відліку за шкалами штангенінструментів

ШЦ-III – з однобічним розміщенням губок – для зовнішніх і внутрішніх вимірювань; відлік за ноніусом 0,05 або 0,11 мм, межі вимірювання – 0...2000 мм для різних типорозмірів.

Конструкції штангенциркулів зображено на рис. 2.3. Перед вимірюванням необхідно виконати перевірку нульового положення. Якщо вимірювальні губки штангенциркуля зімкнути до контакту, тоді нульові штрихи основної шкали і шкали ноніуса збігатимуться, це означатиме, що штангенциркуль є придатним для проведення вимірювань.

Вимірювання деталей штангенциркулем проводять у такій послідовності:

- звільняють затискні гвинти рухомої вимірювальної губки *4* і мікрометричної подачі (у штангенциркуля ШЦ-I пристрою мікрометричної подачі немає);
- притискають нерухому губку *1а* до поверхні виробу і пересувають рамку *3* з рухомою губкою *2а* до контакту з виробом;
- закріплюють хомутик *6* стопорним гвинтом *5* і, обертаючи гайку мікрометричної подачі по гвинту *9*, створюють щільне змикання губки з поверхнею деталі;
- фіксують рухомі вимірювальні губки *2а*, *2б* стопорним гвинтом *4*;

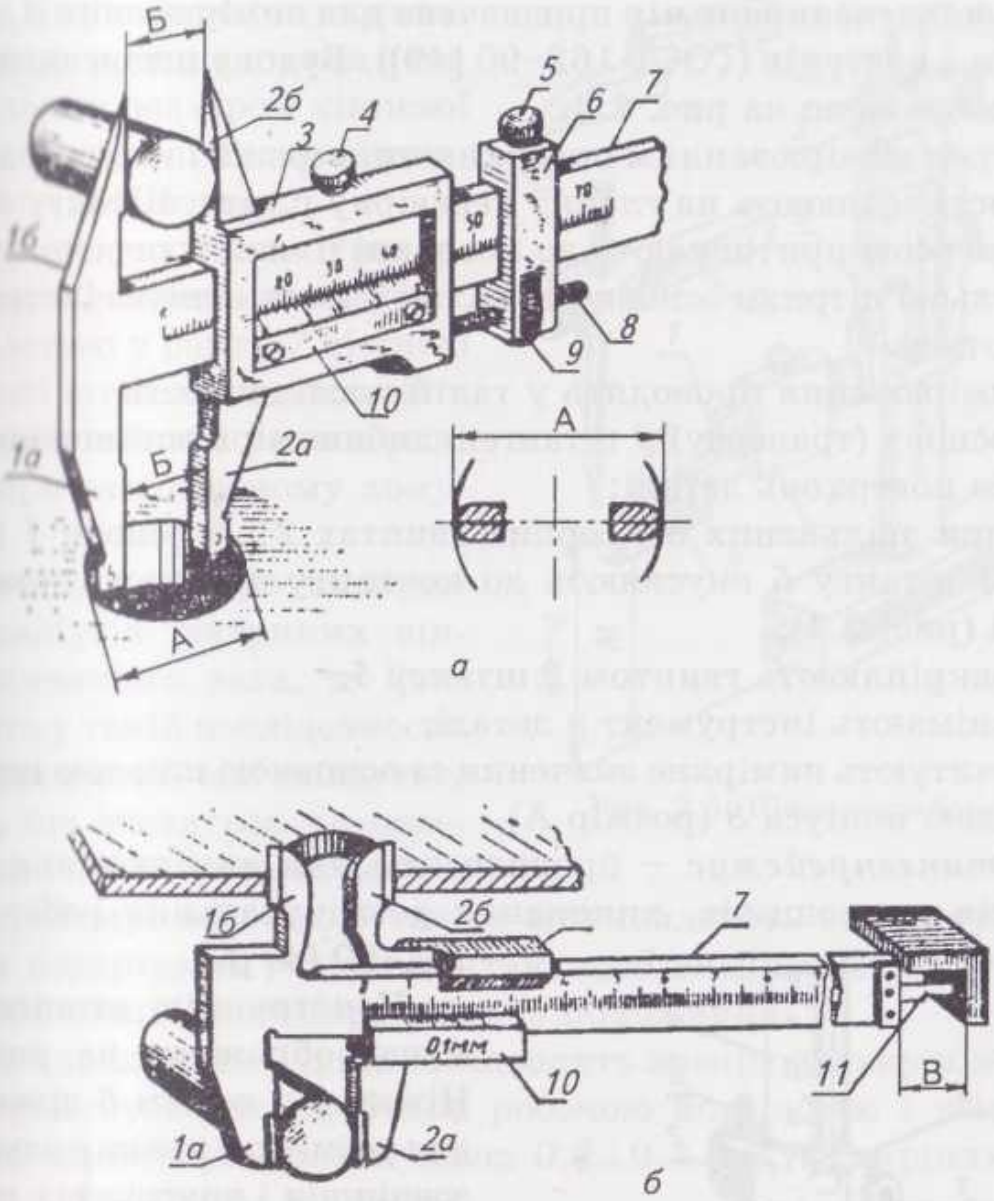


Рис. 2.3. Конструкції штангенциркулів:
а – штангенциркуль ШЦ–II; *б* – штангенциркуль ШЦ–I

• знімають штангенциркуль з деталі;

• зчитують значення виміряної величини, причому кількість цілих поділок за основною шкалою штанги *7* і дробові частини поділки – за шкалою ноніуса *10*.

Порядок вимірювання штангенциркулями внутрішніх розмірів такий самий, як і у вимірюванні зовнішніх розмірів. Різниця полягає в тому, що до відліку за шкалами додають товщину двох губок, розмір яких вказано на них (крім штангенциркулів ШЦ-I). Розміри отворів, валів і глибин, що вимірюють штангенциркулями, позначено на рис. 2.3 буквами (А, Б, В).

Штангенглибиномір призначено для вимірювання в деталях глибин і виступів (ГОСТ 162–90 [49]). Будову штангенглибиноміра зображено на рис. 2.4.

Перед вимірюванням поверхню траверси *9* штангенглибиноміра встановлюють на гладку перевірну плиту. Штангу *5* разом із траверсою притискають до поверхні плити й переконуються, що нульові штрихи основної шкали і шкали ноніуса інструмента збігаються.

Вимірювання проводять у такій послідовності:

- основу (траверсу) *9* штангенглибиноміра встановлюють на одну із поверхонь деталі;
- при звільнених стопорних гвинтах *2* і *3* основи *1* і хомутика *4* штангу *5* опускають до контакту з другою поверхнею деталі (рис. 2.4);
- закріплюють гвинтом *2* штангу *5*;
- знімають інструмент з деталі;
- зчитують виміряне значення за основною шкалою штанги *5* і шкалою ноніуса *8* (розмір А).

Штангенрейсмус – призначений для вимірювання висот, радіусів кривошипів, виконання розмічувальних робіт (ГОСТ 164–90 [47]).

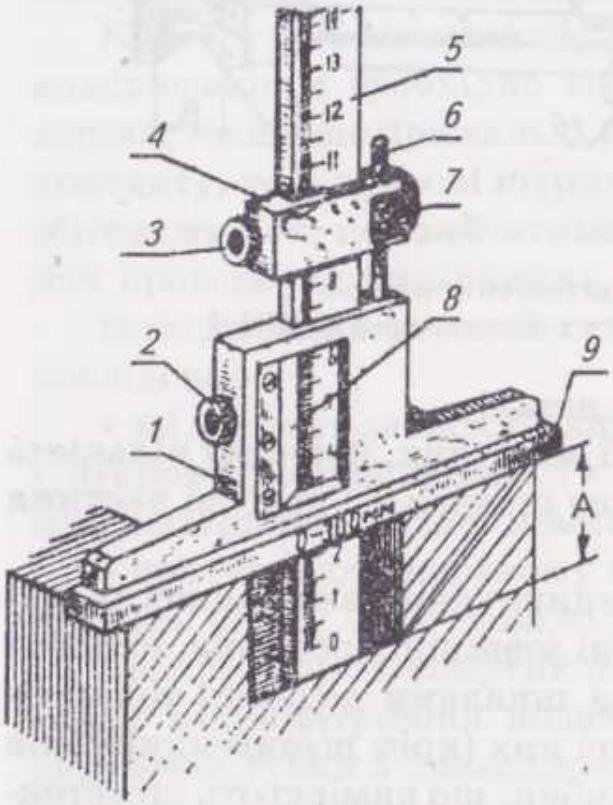


Рис. 2.4. Штангенглибиномір

Конструкцію штангенрейсмуса зображено на рис. 2.5. Ніжка *а* з ножем *б* призначена для розмітки; ніжка *в* слугує для зовнішніх і внутрішніх вимірювань (розміри M і $M + q$). Тримач *г* використовують для вимірювання висот у важкодоступних місцях. Перед вимірюванням здійснюють перевірку штангенрейсмуса. Його базують основою *6* на перевірну плиту, а під вимірювальну ніжку *8* встановлюють кінцеву міру довжини, розмір якої повинен дорівнювати або бути більшим за нижню межу вимірювання основної шкали

штанги. Потім переконуються, що нульова поділка шкали ноніуса із заданим розміром кінцевої вісі та розміром основної шкали штанги збігаються.

Тонке регулювання траверси *2* з призматичною планкою *1* і закріпленою у рамці *7* ніжкою *8* по висоті штанги *4* здійснюють обертанням гайки *3* по поверхні виробу при закріпленому хомутику *5*.

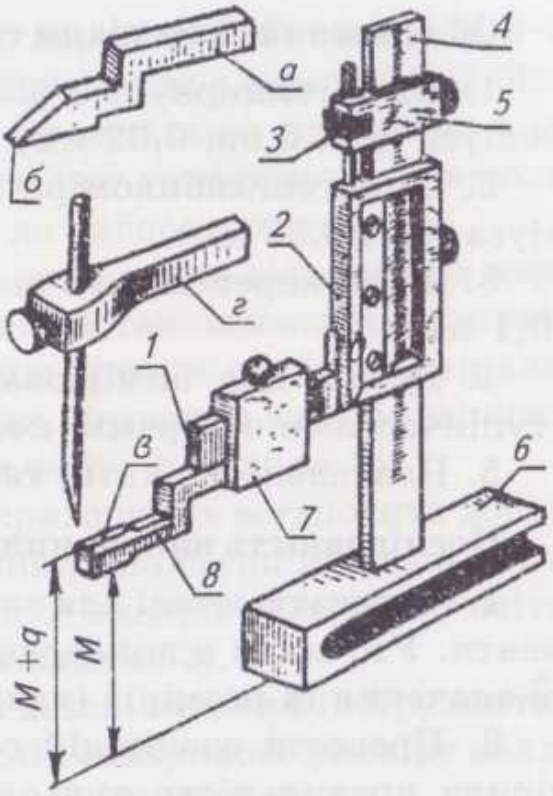


Рис. 2.5. Штангенрейсмус

Коли йдеться про вимірювання радіусів шатунних шийок колінчастого вала, то його проводять у такій послідовності:

- колінчастий вал кладуть у призми, що містяться на перевірній плиті (або в центрах), а штангенрейсмус основою *6* також встановлюють на плиту;
- вал повертають у призмах так, щоб вимірювана шатунна шийка зайняла верхнє вертикальне положення;
- згори до шатунної шийки підводять вимірювальну ніжку *8* штангенрейсмуса так, щоб між робочою поверхнею і твірною шатунної шийки утворився зазор 0,2...0,3 мм, і закріплюють хомутик *5* стопорним гвинтом;
- провертають вал на невеликий кут в один і другий бік і водночас повертаючи гайку мікрометричної подачі *3*, досягають контакту вимірювальної ніжки *8* з поверхнею деталі;
- закріплюють рамку ноніуса *2* стопорним гвинтом, і в цьому положенні проводять відлік виміряної величини за основною шкалою і шкалою ноніуса (розмір А);
- повертають вал на 180° у крайнє нижнє положення, потім виконують дії, викладені у попередніх пунктах і зчитують (розмір В). Радіус кривошипа (мм) визначають за формулою

$$R = \frac{A - B}{2}. \qquad (2.1)$$

Обладнання, матеріали та інструменти

1. Штангенциркулі з різними значеннями відліків шкали ноніуса (0,1; 0,05; 0,02 мм).

2. Штангенглибиноміри з різними значеннями відліків ноніуса (0,1; 0,05 мм).

3. Штангенрейсмуси з різними значеннями відліків ноніуса (0,1 мм).

4. Деталі для вимірювання: вали ступінчасті, втулки зі ступінчастими отворами, колінчастий вал.

5. Навчальні плакати, таблиці.

Послідовність виконання роботи

1. Одержати деталі для вимірювання та вимірювальні інструменти. Уточнити у викладача поверхні, які треба вимірювати, та значення їх розмірів (наприклад, $\varnothing 30h11$).

2. Провести зовнішній огляд штангенінструментів і перевірити правильність нульового положення шкали; методику перевірки наведено в загальних відомостях роботи.

3. Виконати ескізи деталей і нанести задані розміри поверхонь у трьох перерізах 1–1; 2–2; 3–3 та двох напрямах I–I і II–II. Зовнішні розміри деталей виміряти штангенциркулем із заданою точністю шкали ноніуса, глибину отворів – штангенглибиноміром, радіус кривошипів – штангенрейсмусом (див. звітну форму 1 до лабораторних робіт).

4. Звести у відповідні таблиці результати замірів звітної форми 1 (завдання 1; 2; 3) і нанести їх на ескізи деталей.

5. Проаналізувати результати замірів і визначити числові значення відхилів форми поверхонь деталі. Овальність визначити як найбільшу різницю між найбільшим і найменшим діаметрами, виміряними у двох різних напрямах I–I і II–II та трьох перерізах 1–1, 2–2 і 3–3. Найбільше значення виміряних відхилів характеризує овальність всієї деталі.

Конусність, випуклість, увігнутість (якщо вони є) визначити як різницю діаметрів у двох різних перерізах, розміщених уздовж осі. Найбільшу з цих різниць приймають за величину конусності для опуклості або увігнутості і їх форму визначають залежно від того, як змінюються розміри в переходах від перерізу до перерізу. Наприклад, якщо розміри збільшуються (чи

зменшуються) від перерізу 1–1 до перерізу 2–2, а далі до 3–3, то маємо конусність. Якщо розмір діаметра в перерізі 2–2 більший, ніж у перерізах 1–1 і 3–3, – одержуємо опуклість; коли ж навпаки – увігнутість. Висновок про геометричну поверхню деталі записати у звітну форму 1 до лабораторних робіт.

Вимірюючи глибину впадини, аналізують відхили від паралельності поверхні впадини відносно встановлюваної (вимірної) площини. Їх визначають як різницю значень глибин, заміряних у діаметрально протилежних точках. Значення вимірів записати у звітну форму 1 до лабораторних робіт (завдання 2).

Під час вимірювання радіусів кривошипів встановити допуск на радіус як різницю між найбільшим і найменшим значеннями радіусів для шести шийок. Значення вимірів записати у звітну форму 1 до лабораторних робіт (завдання 3).

6. Засвоїти схему вимірювання деталі заданим інструментом, намалювати шкалу та зробити відлік заміряного розміру аналогічно до рис. 2.1 та рис. 2.2 лабораторної роботи.

7. Ознайомитися з метрологічними характеристиками штангенінструментів і записати їхні дані у звітну форму 1 (завдання 4).

Зміст звіту

Звіт повинен відповідати індивідуальному завданню й містити:

1. Мету роботи та короткі загальні відомості.

2. Ескізи вимірюваних деталей із заміряними розмірами та встановленими відхилами від номінального розміру.

3. Схему вимірювання заданої деталі штангенциркулем, шкалу та схему відліку цього розміру.

4. Результати вимірювань, які слід записати у звітну форму 1 до лабораторних робіт (завдання 1, 2, 3).

5. Метрологічні характеристики штангенциркуля, штангенглибиноміра, штангенрейсмуса (межі вимірювання, ціну поділки основної шкали і шкали ноніуса, точність відліку та граничні похибки), зведені у звітну форму 1 до лабораторних робіт (завдання 4).

6. Ескіз одного зі штангенінструментів і назви складових частин.

7. Висновок про придатність деталі відповідно до допустимих відхилів від номінального розміру.

Контрольні запитання та завдання

1. Назвіть найбільш поширені види штангенінструментів.
2. Як називаються окремі деталі штангенциркуля?
3. Опишіть принцип побудови та розрахунок ноніуса.
4. У чому перевага розтягнутих шкал? Принцип побудови шкал приладів.
5. Як визначають точність відліку за ноніусом?
6. Назвіть конструктивні особливості найбільш поширених штангенінструментів та їх призначення.
7. Які поверхні в деталях можна вимірювати штангенциркулем, мікрометром, штангенглибиноміром?

Лабораторно-практична робота № 2

2.3.2. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МІКРОМЕТРИЧНИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ

Мета роботи – ознайомитися з конструкцією мікрометричних інструментів і методикою вимірювання лінійних і діаметральних розмірів деталей гладкими мікрометрами, мікрометричними глибиномірами і мікрометричними нутромірами та набути навичок у вимірюваннях.

Загальні відомості

Метод вимірювання за допомогою мікрометричних інструментів – контактний, абсолютний. Основним вузлом цих інструментів є гвинтова пара (гвинт–гайка), яка перетворює обертовий рух мікрогвинта на поступовий рух гайки.

Мікрометричні інструменти мають дві шкали: поздовжню *1* на стеблі і кругову *2* на барабані (рис. 2.6). Поздовжня шкала має два ряди штрихів, розміщених з двох боків горизонтальної лінії і зміщених між собою на 0,5 мм, тобто створено шкалу з ціною поділки 0,5 мм, що дорівнює кроку мікрогвинта. Кругова шкала має 50 поділок (ціна поділки – 0,01 мм).

По поздовжній шкалі відлічують цілі міліметри і 0,5 мм, по круговій шкалі – десяті та соті частки міліметра.

Відлік 12, 72

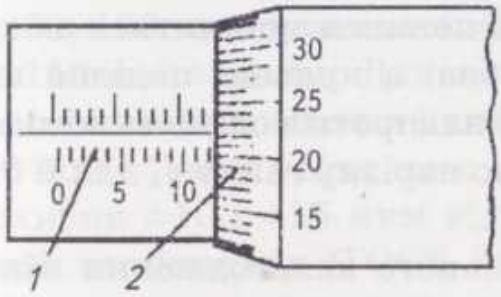


Рис. 2.6. Шкали мікрометричних інструментів (гладкого мікрометра)

Приклад відліку розміру зображено на рис. 2.6, де торець барабана *2* зайняв положення за вертикальною поділкою стебла *1*, яка дорівнює 12,5 мм. З поздовжньою (горизонтальною) лінією збігається штрих 22 барабана. Заміряний розмір матиме: 12,5 + 0,22 = 12,72 мм. Сьогодні приладобудівна промисловість випускає такі мікрометричні інструменти: мікрометри гладкі (ДСТУ ГОСТ 6507:2009 [48]), мікрометричні глибиноміри, мікрометричні нутроміри, спеціальні мікрометри – листові, трубні, зубомірні, нарізні. Перед вимірюванням завжди перевіряють нульове встановлення мікрометричних інструментів.

Гладкий мікрометр (рис. 2.7) застосовують для перевірки плоских і циліндричних деталей, а також для спеціальних вимірювань; при цьому перевірку правильності встановлення "на нуль" виконують у певній послідовності:

- обертають цифровий барабан *6* разом з мікрометричним гвинтом *5* за тріскачку *7* до змикання вимірювальних поверхонь торців мікрогвинта *5* і п'ятки *2* (до моменту прокручування тріскачки);

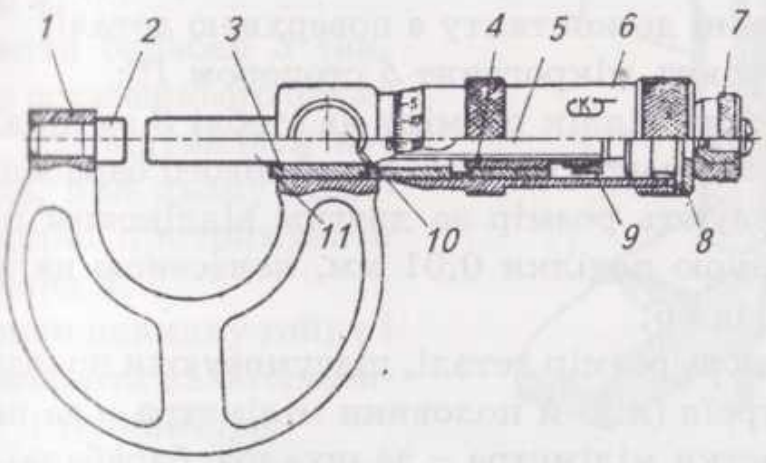


Рис. 2.7. Гладкий мікрометр

• під час контакту вимірювальних поверхонь конусний торець цифрового барабана повинен зупинитися на початковій нульовій поділці шкали стебла, а нульова поділка цифрового барабана має розташуватись навпроти поздовжнього штриха на стеблі 3. У стеблі запресовано нарізну гайку *4*, для її стягування служить конусна гайка *9*.

У разі неправильного налагодження мікрометра "на нуль" необхідно:

• закріпити стопором *10* мікрогвинт *5*;

• звільнити корпус цифрового барабана *6* від мікрогвинта *5*; для цього лівою рукою притримати скобу *1* і корпус барабана *6*, а правою рукою відкрутити накидну гайку;

• повернути корпус барабана *6*, що вільно сидить на мікрогвинті *5* (повертають так, щоб здійснити встановлення "на нуль");

• з'єднати цифровий барабан *6* з мікрогвинтом *5*, при цьому, притримуючи корпус барабана *6*, закрутити накидну гайку *8*.

Під час перевірки мікрометрів з межами вимірювання 25...50, 75...50 мм тощо торці мікрогвинта і п'ятки змикають зі спеціальною циліндричною встановлюваною мірою або з плоскопаралельною кінцевою мірою довжини, розмір яких дорівнює нижній межі вимірювання мікрометра, тобто 25, 50 мм тощо.

Вимірювання гладким мікрометром виконують у такій послідовності:

• встановлюють вимірювану деталь між поверхнями мікрогвинта *5* і п'ятки *2* і, обертаючи тріскачку *7*, доводять вимірювальні поверхні до контакту з поверхнею деталі;

• закріплюють мікрогвинт *5* стопором *10*;

• здійснюють відлік розміру на стеблі *3* за шкалою з ціною поділки 0,5 мм навпроти торця цифрового барабана *6*;

• відраховують розмір за другим відліковим пристроєм за шкалою з ціною поділки 0,01 мм, нанесеною на конусній поверхні барабана *6*;

• визначають розмір деталі, підсумовуючи покази двох відлікових пристроїв (цілі й половини міліметра – за шкалою стебла, а соті частки міліметра – за шкалою барабана), а одержані результати записують у звітну форму *2* до лабораторних робіт;

• допустимі похибки показів мікрометрів з межами вимірювання до 25; 50; 75; 100 мм становлять ±4 мкм, а з межами вимірювання 125 і 150 мм ±5 мкм. Для меж вимірювання до 175 і 200 мм допустимі похибки ±6 мкм і для меж вимірювання 225, 250, 275 і 300 мм ±7 мкм. Для меж вимірювання 400 і 500 – допустимі похибки ±10 і ±15 мкм відповідно.

Мікрометричний глибиномір (ГОСТ 7470–92), (рис. 2.8) призначено для вимірювання глибин пазів, глухих отворів, довжин і висот східчастих деталей. Перевірку його налагодження "на нуль" виконують у такій послідовності:

• встановлюють траверсу *1* глибиноміра на перевірну плиту;

• вигвинчують вимірювальний стрижень *6* до стикання з плитою;

• обертають барабан *3* за допомогою тріскачки *4* і притискають траверсу до плити.

При правильному налагодженні торець конусної поверхні барабана при стиканні стрижня *6* і плити повинен зупинитися навпроти першого нульового штриха на стеблі *2*, а нульовий штрих цифрового барабана *3* повинен зайняти положення навпроти поздовжнього штриха цього ж стебла.

У разі неправильного налаштування необхідно:

• закріпити вимірювальний стрижень *6* за допомогою стопора *5*;

• відгвинтити накидну гайку з тріскачкою *4*;

• встановити барабан *3* так, щоб навпроти поздовжнього штриха стебла *2* розташувалася нульова поділка, при цьому лівою рукою необхідно притримувати корпус барабана *3*;

• загвинтити накидну гайку і повторно перевірити налагодження "на нуль" глибиноміра.

Процедуру відліку розміру вимірюваного об'єкта здійсню-

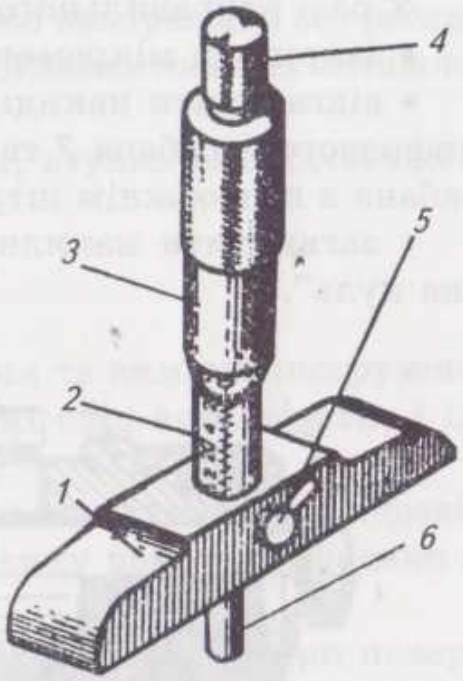


Рис. 2.8. Мікрометричний глибиномір

ють аналогічно до вимірювання гладким мікрометром. До комплекту мікрометричного глибиноміра з межами вимірювання 0...100 мм входять встановлювані міри, виконані у вигляді циліндрів з плоскими вимірювальними торцями, кількість і розміри яких залежать від кількості змінних стрижнів, встановлених у торці вимірювального гвинта.

Мікрометричний нутромір (ГОСТ 10–88), (рис. 2.9) призначено для вимірювання внутрішніх отворів середніх і великих діаметрів гільз, втулок, корпусних деталей тощо.

Налагодження мікрометричного нутроміра "на нуль" здійснюють за кінцевими мірами або за спеціальною скобою так:

- вводять у скобу мікрометричний нутромір з встановленою запобіжною гайкою *2*;
- вигвинчують мікрометричний гвинт *5* до контакту поверхонь сферичних наконечників *1* і *10* із поверхнями скоби або встановлювальних мір, при цьому притримують нутромір за стебло *3* і обертають барабан *7*;
- закріплюють мікрогвинт стопором *4*;
- перевіряють встановлення "на нуль". При правильному встановленні навпроти поздовжнього штриха основної шкали повинна перебувати нульова поділка шкали барабана.

У разі неправильного налагодження необхідно:

- закріпити мікрометричний гвинт *5* стопором *4*;
- відгвинтити накидну гайку *9* і відрегулювати положення цифрового барабана *7* так, щоб нульовий штрих цифрового барабана з поздовжнім штрихом стебла збігалися;
- загвинтити накидну гайку *9* і перевірити встановлення "на нуль".

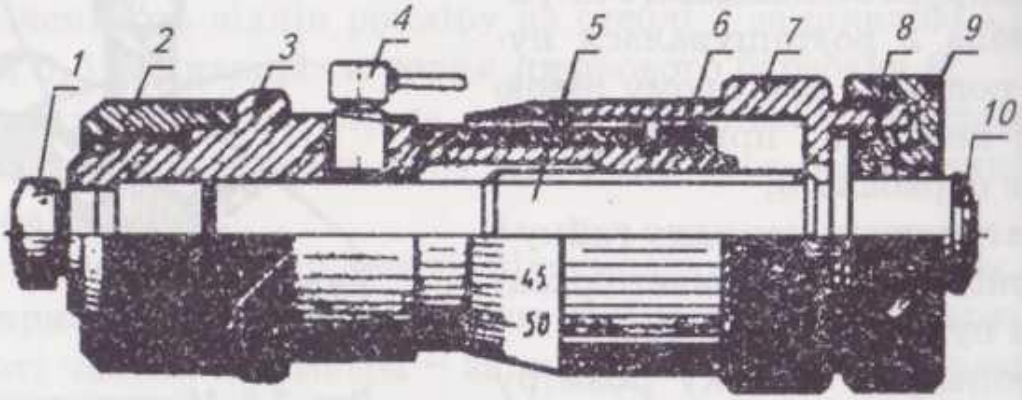


Рис. 2.9. Мікрометричний нутромір

Вимірювання мікрометричним нутроміром виконують у такій послідовності:

- збирають нутромір зі вставками регламентованих розмірів і перевіряють правильність встановлення "на нуль";
- вводять мікрометричний нутромір у вимірюваний отвір деталі;
- обертають накладне кільце барабана *7* і підводять вимірювальні наконечники *1* і *10* до контакту зі стінками отвору;
- фіксують мікрогвинт стопором *4*;
- здійснюють відлік внутрішнього розміру з урахуванням регламентованих вставок, а одержані результати записують у звітну форму *2* до лабораторних робіт.

Допустимі похибки показів нутроміра при контролі розмірів до 125 мм становлять ±8 мкм, при розмірах понад 125 до 200 мм – ±10 мкм, при розмірах понад 200 до 325 мм – ±12 мкм, а для розмірів понад 325 до 500 мм – ±15 мкм.

Обладнання, матеріали та інструмент

1. Гладкі мікрометри з верхніми межами вимірювання 25, 50, 75 мм.
2. Мікрометричний глибиномір з верхньою межею вимірювання до 100 мм.
3. Мікрометричний нутромір з межею вимірювань без регламентованих вставок до 75 мм. Набір регламентованих вставок, установлювальна міра.
4. Деталі для вимірювання: валики, втулки зі східчастими поверхнями.
5. Навчальні плакати, таблиці.

Послідовність виконання роботи

1. Одержати деталі для вимірювання та вимірні інструменти, уточнити у викладача поверхні, які слід вимірювати, і їх розміри (наприклад, $\varnothing 50h7$, $\varnothing 100H7$).
2. Провести огляд мікрометричних інструментів і перевірити нульове положення шкали; методику перевірки подано в загальних відомостях роботи.
3. Виконати ескізи деталей і нанести задані розміри поверхонь у трьох перерізах 1–1; 2–2; 3–3 та двох напрямах I–I і II–II. Зовнішні розміри деталей виміряти мікрометром, глибини

впадин чи отворів – мікрометричним глибиноміром, внутрішні отвори – мікрометричним нутроміром.

4. Записати результати замірів у відповідні таблиці звітної форми 2 до лабораторних робіт (завдання 1, 2, 3) і нанести їх на ескізи деталей.

5. Проаналізувати результати замірів і визначити числові значення відхилів форми поверхонь деталі (аналогічно до п. 5 лабораторної роботи № 1), дати висновок про геометричну форму деталі після замірів мікрометром, який занести у звітну форму 2 до лабораторних робіт (завдання 1); значення замірів, отриманих мікрометричним глибиноміром, записати в таблицю (завдання 2) і мікрометричним нутроміром – занести в таблицю (завдання 3) відповідно.

6. Схему вимірювання деталі заданим інструментом, шкалу та відлік значення заміряного розміру зобразити аналогічно рис. 2.6 роботи.

7. Ознайомитися з метрологічними характеристиками мікрометричних інструментів і записати їхні дані у звітну форму 2 до лабораторних робіт (завдання 4).

Зміст звіту

Зміст звіту повинен відповідати індивідуальному завданню та містити:

1. Мету роботи й короткі загальні відомості.

2. Ескізи вимірюваних деталей із заміряними розмірами та відхилами від номінального розміру.

3. Схему вимірювання заданої деталі мікрометром, шкалу й схему відліку цього розміру.

4. Результати вимірювань у звітній формі 2 до лабораторних робіт (завдання 1, 2, 3).

5. Метрологічні характеристики гладкого мікрометра, мікрометричного глибиноміра, мікрометричного нутроміра (межі вимірювання, ціну поділки основної шкали та шкали ноніуса, точність відліку та похибки інструмента) у звітній формі 2 до лабораторних робіт (завдання 4).

6. Ескіз одного з мікрометричних інструментів й назви складових частин.

7. Висновок про придатність деталі відповідно до допустимих відхилів відносно номінального розміру.

Контрольні запитання та завдання

1. *Перелічіть основні деталі гладкого мікрометра та опишіть принцип його налагодження "на нуль".*
2. *Назвіть основні деталі мікрометричного глибиноміра та опишіть принцип його налагодження "на нуль".*
3. *Які основні деталі мікрометричного нутроміра?*
4. *Як визначити точність відліку мікрометричного інструмента за вернієром?*
5. *Які поверхні деталей вимірюють мікрометричним глибиноміром і нутроміром?*

Лабораторно-практична робота № 3

2.3.3. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІНДИКАТОРНИМИ ПРИЛАДАМИ

Мета роботи – ознайомитися з конструкцією приладів, що мають індикатори, та методикою вимірювання відхилів від правильної геометричної форми деталей індикаторами, синусною лінійкою, індикаторними нутромірами, набути навичок у вимірюваннях.

Загальні відомості

Метод вимірювання приладами з індикаторами – контактний, відносний (ДСТУ ГОСТ 7661:2009 [17]). Разом із пристроями ці прилади використовують для прямих вимірювань. Із цієї групи поширені індикатори годинникового типу ИЧ-2, ИЧ-5, ИЧ-10, важільно-зубчасті моделі ИРБ та багатооборотні моделі 1МИГ, 2МИГ.

Індикатор годинникового типу випускають з ціною поділки 0,01 мм та діапазоном вимірювання 0...2 мм; 0...5 мм; 0...10 мм; 0...25 мм і 0...50 мм. Межі допустимої похибки показів – 0,004...0,010 мм за шкалою; 0,01...0,04 – у діапазоні вимірювання.

Конструкція індикаторів типу ИЧ-2, ИЧ-5, ИЧ-10 зображена на рис. 2.10. З корпусом *1* вільно з'єднано обідок *4* і шкалу *3*. Вони можуть повертатися відносно корпусу індикатора, що дає змогу сумістити будь-який штрих шкали зі стрілкою *6*. Для фіксації шкали слугує гвинт *2*. Для визначення кількості обертів стрілки слугує мала стрілка *5* зі своїм циферблатом. Вимірювальний стрижень *9* переміщується по напрямній гільзі *8*. На торці вимірювального стрижня міститься наконечник *10*.

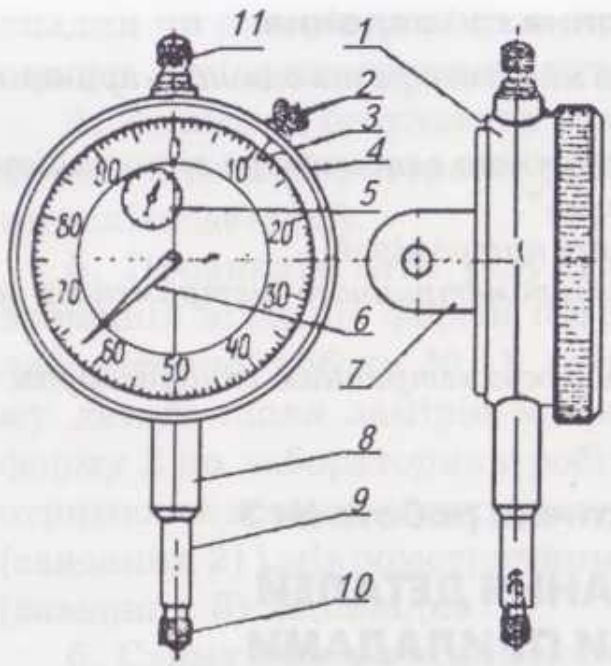


Рис. 2.10. Індикатор годинникового типу

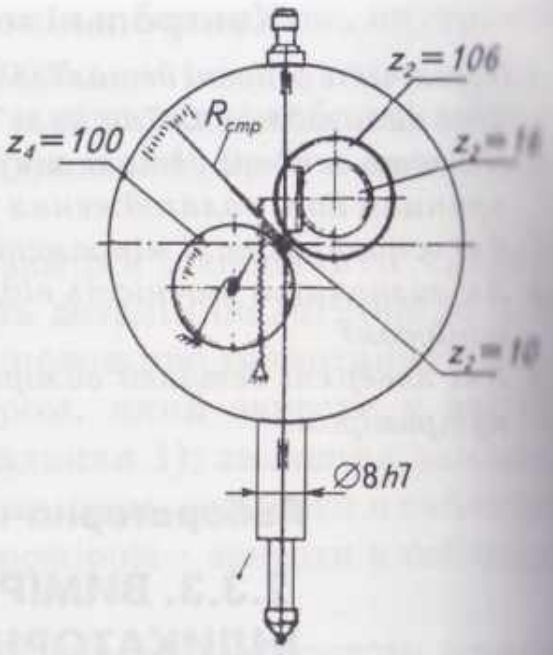


Рис. 2.11. Кінематична схема індикатора годинникового типу

Індикатор прикріплюють до вимірювальних пристроїв за допомогою вушка *7* або гільзи *8*.

Кінематичну схему індикатора годинникового типу (ДСТУ ГОСТ 577:2009 [44]) зображено на рис. 2.11. Основна шкала індикатора має 100 штрихів з ціною поділки 0,01 мм. Один оберт стрілки відносно шкали відповідає переміщенню вимірювального стрижня на 1 мм. Переміщення вимірювального наконечника передається рейково-зубчастим зачепленням через зубчасті колеса z_1, z_2, z_3, z_4 до основної та малої стрілок. Передавальне відношення важільно-зубчастого механізму індикатора обчислюють за формулою

$$j = \frac{2}{mz_1} \cdot \frac{z_2}{z_3} \cdot R_{стр}, \qquad (2.2)$$

де m – модуль рейково-зубчастого зачеплення; z_1, z_2, z_3 – числа зубців зубчастих коліс; $R_{стр}$ – довжина стрілки.

Індикатор важільно-зубчастий (рис. 2.12, *а*) служить переважно для вимірювання відхилів від заданої геометричної форми у важкодоступних місцях. Ціна поділки шкали – 0,01 мм; межі вимірювання ±0,5 мм. Індикатор складається з корпусу *3*, обідка *4*, гільзи *2* і стрижня *7*, стрілки *5* і повідка *6* для зміни напрямку ходу стрілки та важеля *1*.

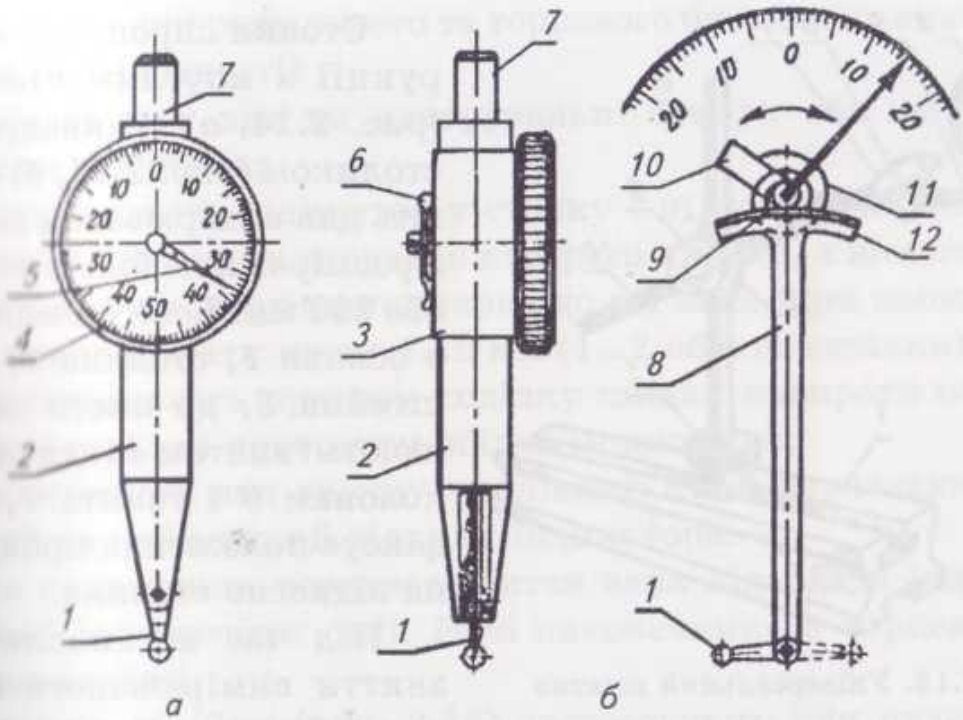


Рис. 2.12. Індикатор важільно-зубчастий:
а – загальний вигляд; *б* – кінематична схема

Вимірювальний важіль, закріплений на фрикційному шарнірі, можна встановлювати в потрібному положенні.

Кінематичну схему важільно-зубчастого індикатора зображено на рис. 2.12, *б*. Відхил вимірювального важеля *1* від встановленого положення зумовлює поворот важеля *8* і зубчастого сектора *12*. Із зубчастим сектором в постійному зчепленні перебуває зубчасте колесо *9*, на осі якого насаджено стрілку *5*. Важідок *10* слугує для зміни напрямку руху стрілки індикатора, а пружина *11* – для усунення зазору в зубчастому зчепленні колеса *9* з сектором *12*.

Для закріплення індикатора слугують стояки та штативи. До найбільш поширених належать стояки універсальні; стояки з круглим столиком; стояки з квадратним столиком.

Універсальний штатив (рис. 2.13) має сталеву або чавунну основу *1* з Т-подібним пазом. Уздовж паза переміщується сухар, в якому закріплено стояк *8*. Положення стояка фіксує гайка *11*. З стояком за допомогою розрізної муфти *2* з'єднано стрижень *10*, який встановлюють під будь-яким кутом до стояка *8*. Положення стрижня *10* відносно стояка *8* фіксують гайкою *9*. Індикатор *4* закріплюють у стрижні *5* і затискають гвинтом *3*. Стрижень *5* з'єднують зі стрижнем *10* муфтою *7* і фіксують гайкою *6*.

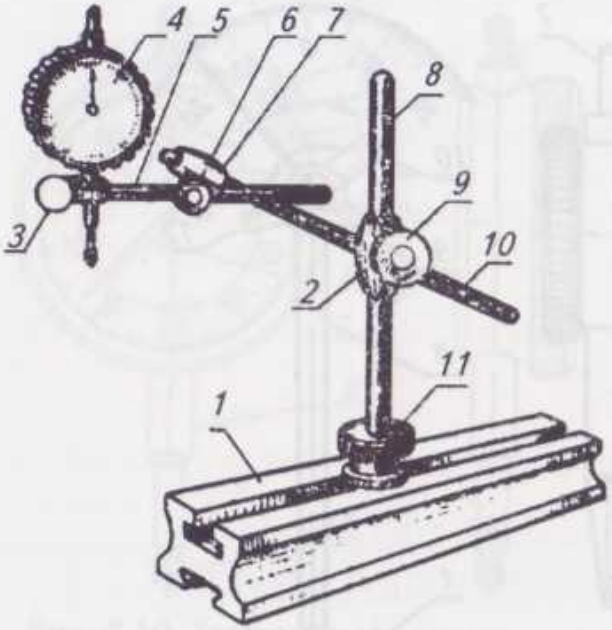


Рис. 2.13. Універсальний штатив

Стояки спрощеної конструкції з круглим столиком (рис. 2.14, *а*) і з квадратним столиком (рис. 2.14, *б*) слугують для вимірювання деталей з розмірами не більш ніж 125 або 200 мм. Вони складаються з основи *1*, столика *2*, кронштейна *3*, до якого закріплюють гвинтом *4* індикатор *5*, колонки *6* і гвинта *7*, який фіксує положення кронштейна відносно столика.

Під час встановлення і зняття вимірюваного об'єкта необхідно збільшити розмір Б, піднімаючи стрижень за допомогою головки А.

У стояку з квадратним столиком тримач *9* закріплюють у кронштейні *3* і фіксують гвинтом *8*. Закріпивши індикатор у стояку з квадратним столиком, можна в процесі роботи визначати радіальне і торцеве биття діаметрів вала або відхил кута конуса від номінального розміру конічної деталі.

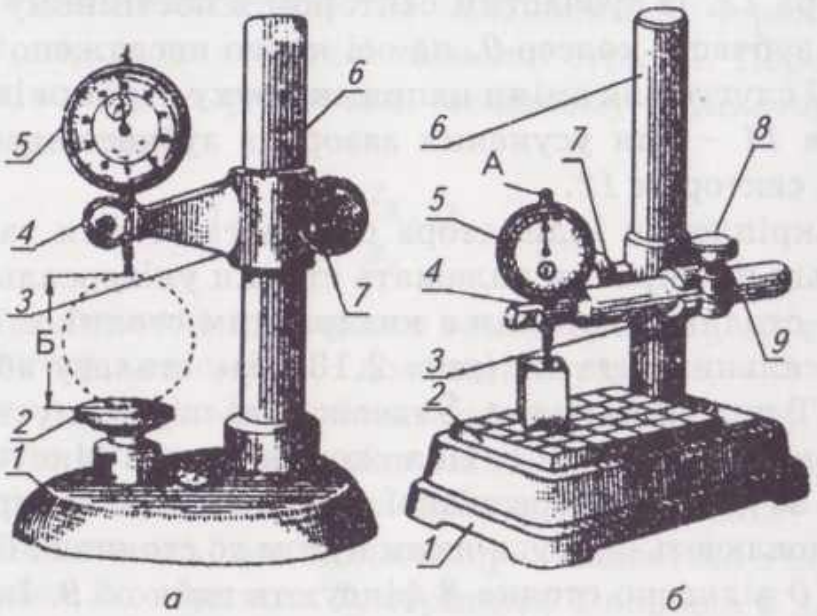


Рис. 2.14. Стояки спрощеної конструкції:
а – з круглим столиком; *б* – з квадратним столиком

Вимірювання радіального та торцевого биття вала виконують у такій послідовності:

- базують вал на центрувальні отвори або на призми крайніми шийками;
- закріплюють індикатор у стояку і підводять до вала так, щоб його наконечник торкався поверхні шийки, а вісь стрижня індикатора була перпендикулярна до осі вала, при цьому індикатор повинен мати натяг 1...2 мм (1...2 оберти стрілки);
- встановлюють нульову поділку шкали навпроти основної (цілої) стрілки поворотом обідка індикатора;
- повертають вал вручну на повний кут і визначають найбільший та найменший відхили індикатора.

Для визначення торцевого биття вала підводять індикатор так, щоб забезпечити стик його наконечника з торцевою поверхнею шийки.

Синусну лінійку (рис. 2.15) застосовують для визначення відхилу кута конуса від номінального розміру деталі. Це сталева плита з двома прикріпленими до неї циліндричними роликами *2* однакового діаметра й планки *3*. Основними розмірами синусної лінійки є відстань між роликами L (100 або 200 мм) і ширина лінійки B.

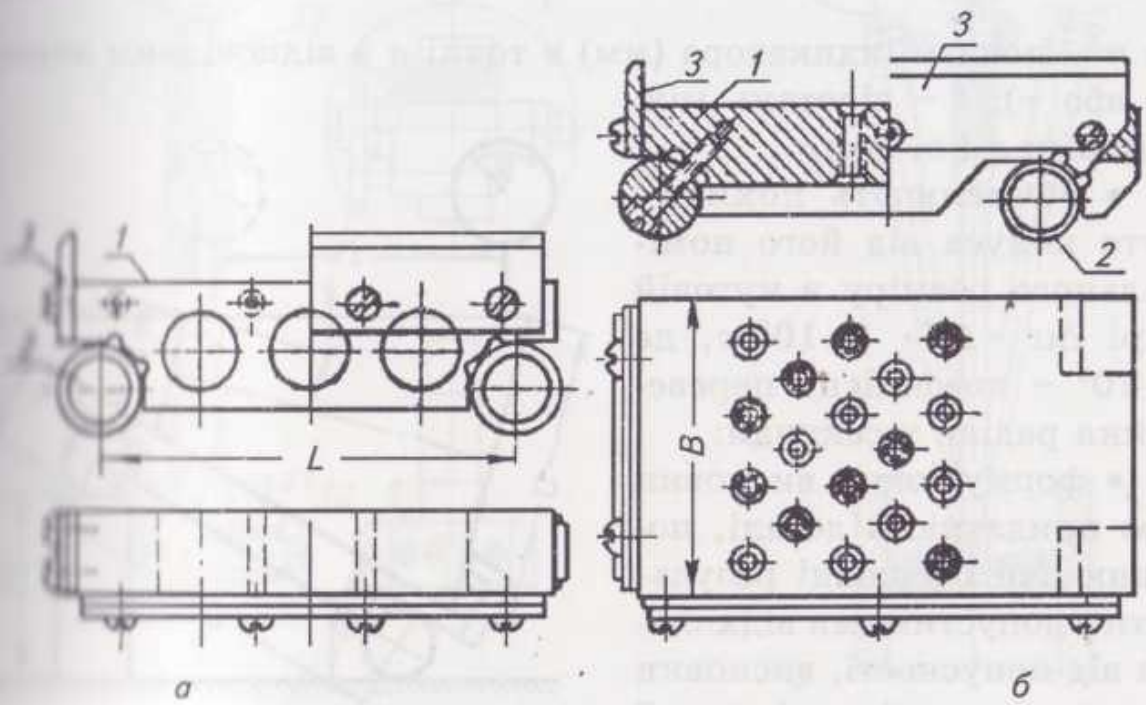


Рис. 2.15. Синусна лінійка:
а – вузька; *б* – широка

Вимірювання синусною лінійкою проводять у такій послідовності:

• маючи кут конуса, обчислюють розмір блока кінцевих мір H за формулою

$$H = L \cdot \sin 2\alpha, \qquad (2.3)$$

де L – базова відстань між роликами, мм; 2α – кут конуса;

• добирають блок кінцевих мір за розміром H;

• вставляють синусну лінійку на перевірну плиту й під один із роликів підкладають блок кінцевих мір висотою H (рис. 2.16);

• деталь встановлюють на синусну лінійку;

• наконечник індикатора стикують з верхньою твірною конуса на відстані 3...5 мм від торця, де в точці a шкалу індикатора виводять "на нуль";

• перемістивши штатив з індикатором у другий кінець деталі, наконечник індикатора зістиковують з твірною конуса на відстані 3...5 мм від другого торця, де в точці $в$ зчитують покази індикатора;

• вимірюють масштабною лінійкою відстань l між точками a і $в$ і визначають величину та знак відхилу кута конуса від його номінального розміру ΔK за формулою

$$\Delta K = \frac{n}{l}, \qquad (2.4)$$

де n – покази індикатора (мм) в точці $в$ з відповідним знаком (+ або –); l – відстань між точками a і $в$, мм;

• обчислюють похибку кута конуса від його номінального розміру в кутовій мірі $\Delta\alpha = \Delta K \cdot 2 \cdot 10^5$ с, де $2 \cdot 10^5$ – коефіцієнт переведення радіан у секунди;

• формулюють висновки про придатність деталі, порівнюючи одержані результати з допустимими відхилами від конусності, висновки записують у звітну форму 3 до лабораторних робіт.

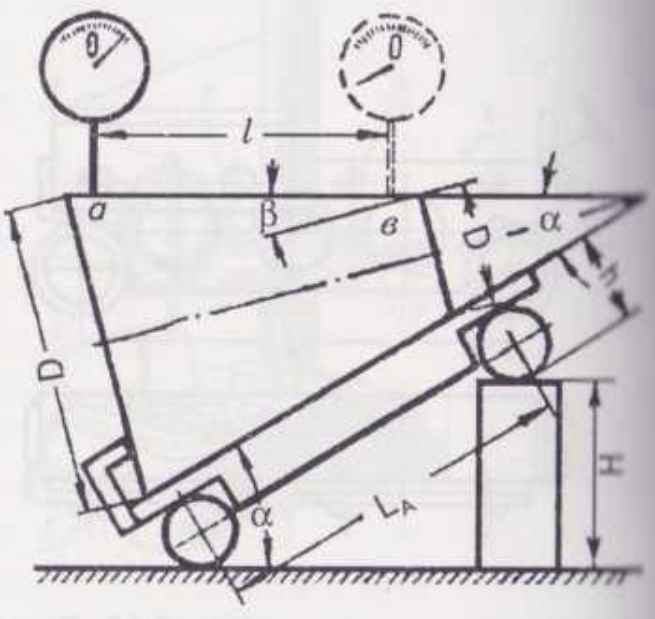


Рис. 2.16. Вимірювання конусності

Індикаторні нутроміри (ГОСТ 868–82), (рис. 2.17) слугують для вимірювання внутрішніх отворів деталей і мають межі вимірювання від 6 до 1000 мм (6...10 мм; 10...18 мм; 18...35 мм тощо). Допустима похибка показів приладу при контролюванні внутрішніх діаметрів від 6 до 50 мм становить ±0,015 мм; для діаметрів від 50 до 250 мм – ±0,020 мм; для діаметрів понад 250 мм – ±0,025 мм.

Нутромір (рис. 2.17, *а*) складається з індикаторної головки *1*, вимірювального стрижня індикатора *2*, трубки корпусу *3*, проміжного вимірювального стрижня *4*, двоплечового Г-подібного важеля *5*, осі двоплечового важеля *6*, корпусу *7*, центрувального містка *8*, рухомого вимірювального стрижня *9*, упорника *10*, контргайки *11*, переставного вимірювального стрижня *12*, затискного гвинта індикатора *13*, стопорного гвинта *14*. Перед вимірюванням нутромір встановлюють у нульове положення за атестованим кільцем, блоком кільцевих мір

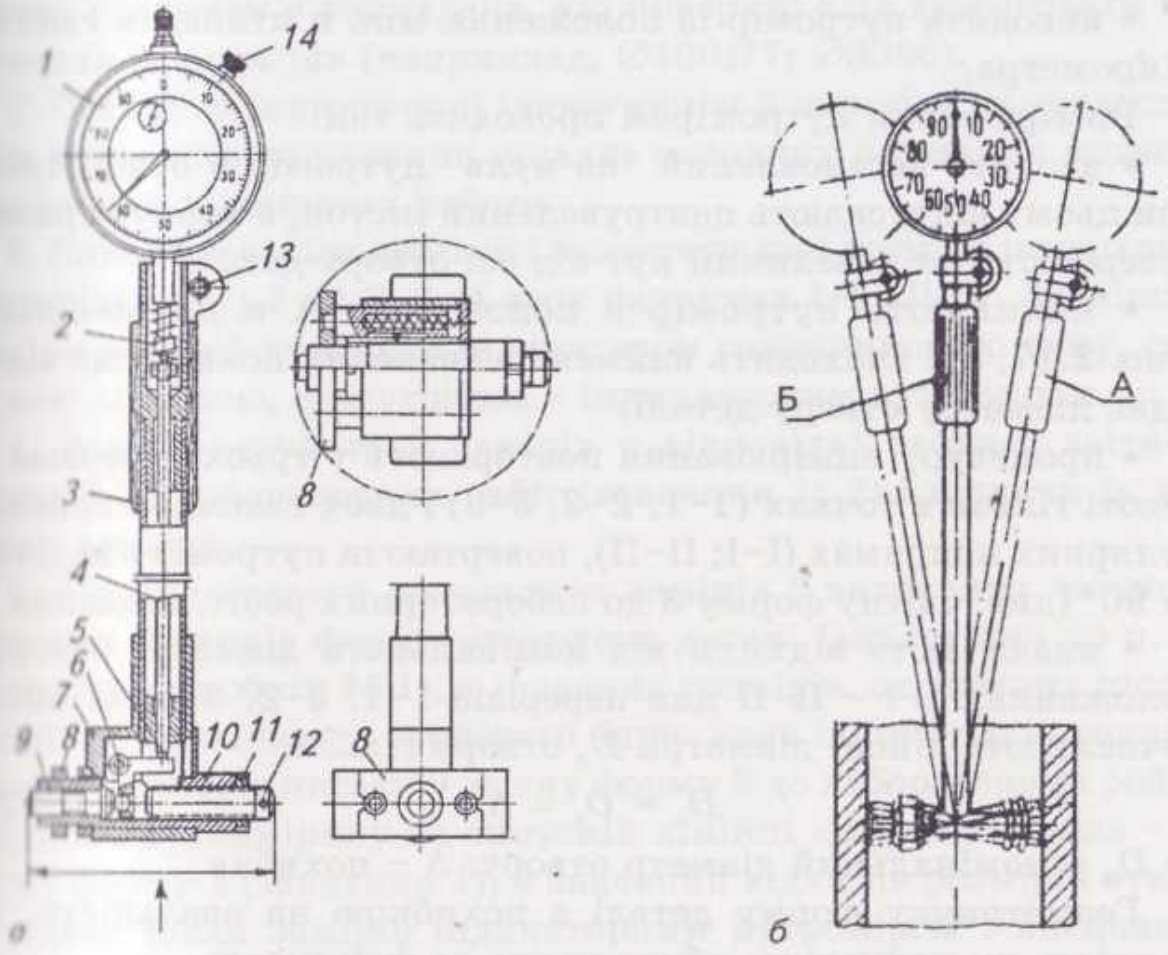


Рис. 2.17. Конструкція індикаторного нутроміра (*а*) та схема вимірювання отвору деталі індикаторним нутроміром (*б*)

або за мікро-мікрометром, виставленим на розмір, який дорівнює номінальному розміру гільзи. Встановлення "на нуль" виконують у такій послідовності:

• закріплюють змінний нерухомий стрижень і індикатор у корпусі нутроміра; при цьому довжину стрижня вибирають, виходячи з номінального розміру гільзи (вимірюваної деталі);

• перевіряють встановлення "на нуль" мікрометра і налагоджують його на номінальний розмір, що підлягає контролю;

• вводять вимірювальні поверхні рухомого та нерухомого стрижнів нутроміра між вимірювальні поверхні п'ятки та гвинта мікрометра;

• вигвинчують рухомий стрижень нутроміра доти, доки стрілка індикатора не зробить один або два оберти, щоб забезпечити запас ходу (натяг) стрижня нутроміра;

• фіксують змінний стрижень контргайкою і встановлюють шкалу індикатора "на нуль";

• виводять нутромір із положення між п'яткою та гвинтом мікрометра.

Вимірювання нутроміром проводять так:

• вводять встановлений "на нуль" нутромір в отвір гільзи, при цьому відтискають центрувальний місток, а корпус приладу повертають на невеликий кут від осі отвору деталі;

• нахиляють нутромір з положення А в положення Б (рис. 2.17, *б*) і знаходять найменше значення показу, що відповідає діаметру отвору деталі;

• процедуру вимірювання повторюють у трьох перерізах по висоті гільзи в точках (1–1, 2–2, 3–3) і двох взаємно перпендикулярних напрямах (I–I; II–II), повертаючи нутромір або деталь на 90° (див. звітну форму 3 до лабораторних робіт, завдання 3);

• визначають відхили від номінального діаметра отвору в положеннях I–I – II–II для перерізів 1–1, 2–2, 3–3, за якими обчислюють дійсні діаметри $D_д$ отвору гільзи:

$$D_д = D_н \pm \Delta, \qquad (2.5)$$

де $D_н$ – номінальний діаметр отвору; Δ – похибка.

Геометричну форму деталі з похибкою на овальність, випуклість чи конусність обчислюють за формулою

$$\Delta = D_{max} - D_{min}, \qquad (2.6)$$

де D_{max}, D_{min} – найбільший і найменший діаметри отвору гільзи в трьох точках 1–1, 2–2, 3–3, одержані після замірів у двох взаємно перпендикулярних перерізах.

Обладнання, матеріали та інструмент

1. Універсальний штатив (стояк) з індикатором годинникового типу.
2. Станина з двома центрами.
3. Індикаторні нутроміри.
4. Мікрометри гладкі з діапазоном вимірювань 75...100; 100...125; 125...175 мм.
5. Синусна лінійка.
6. Деталі для вимірювання (вали, втулки, гільзи, колінвал).
7. Навчальні плакати, таблиці.

Послідовність виконання роботи

1. Одержати деталі для вимірювання та вимірювальні інструменти. Уточнити у викладача, які поверхні слід вимірювати та значення їх розмірів (наприклад, $\varnothing 100H7$; $\varnothing 30h6$).
2. Оглянути індикаторні інструменти й перевірити правильність нульового положення шкали; методику перевірки подано в загальних відомостях роботи.
3. Виконати ескізи деталей і нанести задані розміри поверхонь у перерізах 1–1; 2–2; 3–3 та двох напрямах I–I і II–II. Зовнішні розміри деталей виміряти індикатором годинникового типу, синусною лінійкою, а внутрішні – індикаторним нутроміром.
4. Звести результати замірів у відповідні таблиці звітної форми 3 до лабораторних робіт (завдання 1; 2) і нанести їх на ескізи деталей.
5. Проаналізувати результати замірів і визначити числові значення відхилів форми поверхонь деталі (аналогічно до п. 5 лабораторної роботи № 1), а значення розмірів, отриманих після замірів радіального та торцевого биття вала індикатором годинникового типу, записати у звітну форму 3 до лабораторних робіт (завдання 1), виміряну на синусній лінійці конусність вала – у звітну форму 1 (завдання 1), а значення відхилів розмірів отвору гільзи після замірів індикаторним нутроміром і висновки про її придатність записати в завдання 1 звітної форми 3 до лабораторних робіт.

6. Ознайомитися з метрологічними характеристиками індикаторних інструментів і їхні дані записати у звітну форму 3 до лабораторних робіт (завдання 4).

Зміст звіту

Зміст звіту повинен відповідати індивідуальному завданню й містити:

1. Мету роботи та короткі загальні відомості.
2. Ескізи вимірюваних деталей із заміряними розмірами та встановленими відхилами від номінального розміру.
3. Схему вимірювання конусності синусною лінійкою.
4. Метрологічні характеристики штангенциркуля, мікрометра, індикатора годинникового типу, індикаторного нутроміра, записані у звітній формі 3 до лабораторних робіт (завдання 4).
5. Результати вимірювань, подані у звітній формі 3 до лабораторних робіт (завдання 1, 2, 3).
6. Ескіз індикаторного нутроміра і назви його складових частин.
7. Висновок про придатність деталі відповідно до допустимих відхилів відносно номінального розміру.

Контрольні запитання та завдання

1. Перелічіть сфери застосування індикаторних інструментів.
2. Опишіть будову індикаторів годинникового типу.
3. Наведіть конструктивну характеристику індикаторів годинникового типу.
4. Опишіть будову синусної лінійки й принцип вимірювання нею.
5. Опишіть будову та призначення індикаторного нутроміра, техніку вимірювання.
6. Перелічіть переваги індикаторних нутромірів порівняно з мікрометричними інструментами.
7. Поясніть призначення вимірювального містка індикаторного нутроміра.
8. Назвіть пристрої, в яких застосовуються індикаторні інструменти.

2.3.4. ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МЕТРИЧНОЇ НАРІЗІ ТА КУТІВ У ДЕТАЛЯХ СПЕЦІАЛЬНИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ

Мета роботи – засвоїти методи та засоби при вимірюванні параметрів метричної нарізі: середнього, зовнішнього та внутрішнього діаметрів, кроку та кута профілю нарізі або кутових розмірів у деталях за допомогою нарізних шаблонів, нарізних мікрометрів, методом трьох дротинок та кутомірів.

Загальні відомості

Профіль нарізі та основні її параметри, допуски й посадки регламентовано ГОСТ 24705–2004 [16].

Профіль метричної нарізі з позначенням основних параметрів подано з ДСТУ 2497–94 [43] зображено на рис. 2.18.

Параметри циліндричної нарізі: середній $d_2(D_2)$, зовнішній $d(D)$ і внутрішній $d_1(D_1)$ діаметри зовнішньої (внутрішньої) нарізі; крок P, кут профілю α; висота вихідного трикутника H; робоча висота профілю $H_1 = 5/8H$.

Для вимірювання параметрів нарізі застосовують переважно засоби спеціального призначення: різеміри, нарізні мікрометри, калібровані дротинки тощо.

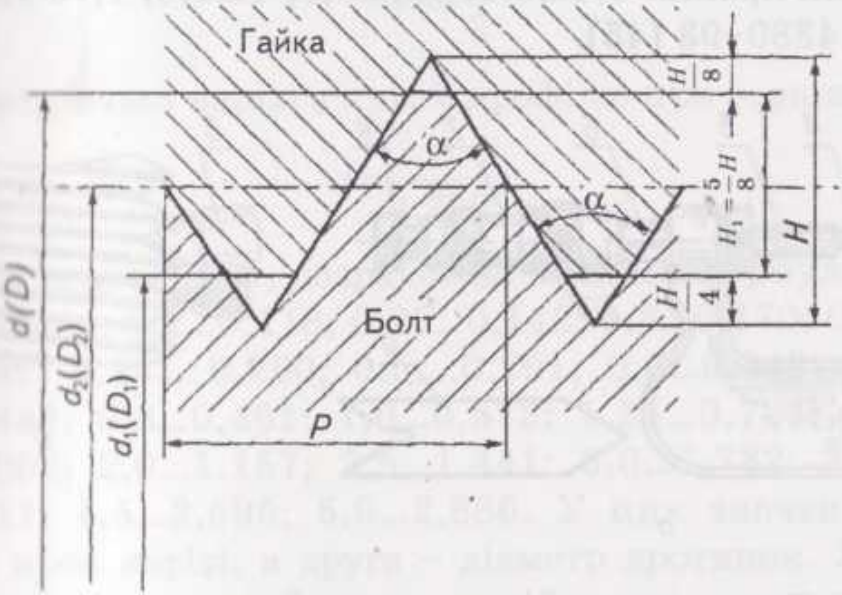


Рис. 2.18. Основні параметри метричної нарізі

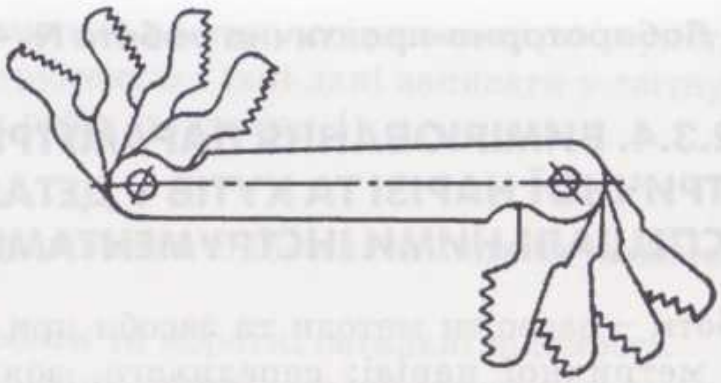


Рис. 2.19. Різемір у наборі

Різемір (рис. 2.19) має набір нарізних шаблонів з різними кроками, маркованими на шаблоні. Нарізний шаблон – це сталева пластинка із зубцями, профіль яких аналогічний профілю нарізі. Крок нарізі визначають, накладаючи шаблон на її витки нарізі і перевіряючи на просвіт. Нарізні шаблони з різними кроками нарізі комплектують наборами (з кроком від 0,4 до 6 мм).

Нарізний мікрометр (рис. 2.20, *а*) призначено для вимірювання середнього діаметра нарізі. Він відрізняється від гладких мікрометрів наявністю глухих отворів у п'ятці *2* і торці мікрогвинта *5*, в які вводять спеціальні вимірювальні вставки (гребінчаста вставка *3* з'єднується з п'яткою, а конічна *4* – з мікрогвинтом). Вставки комплектуються парами для вимірювання нарізей різних кроків. Мікрометр 0...25 мм для вимірювання метричних нарізей комплектується п'ятьма парами вставок, для кроків: 0,4...0,5; 0,6...0,8; 1...1,5; 1,75...2,5; 3...4,5 мм (ГОСТ 4380–93 [45].

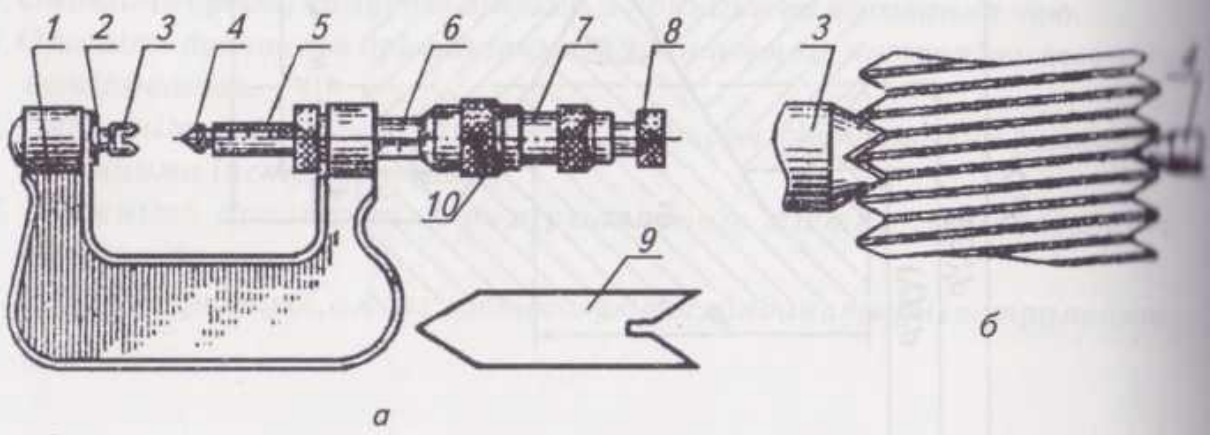


Рис. 2.20. Нарізний мікрометр: *а* – загальний вигляд; *б* – схема заміру

Виставлення нарізного мікрометра "на нуль" аналогічне гладкому мікрометру (гайкою *10*, що знаходиться на барабані *7*, або регульованою п'яткою *2*). Для встановлення "на нуль" мікрометрів із межами вимірювань 25...50; 50...75 мм і т. д. передбачено встановлювальні міри *9*. Під час встановлення мікрометра "на нуль" і вимірювання мікрогвинт переміщують за допомогою тріскачки *8*, а зчитування розміру здійснюють на барабані *6*. П'ятку та мікрометричний гвинт встановлено в скобі *1*. Вимірювання середнього діаметра нарізі виконують у такій послідовності:

- визначають крок нарізі різеміром;
- добирають нарізні вставки й встановлюють їх у глухі отвори п'ятки *2* і мікрогвинта *5* мікрометра (див. рис. 2.20, *а*);
- встановлюють мікрометр "на нуль";
- вимірюють середній діаметр нарізі (рис. 2.20, *б*).

Зовнішній діаметр нарізі вимірюють гладким мікрометром. Порядок вимірювання і встановлення "на нуль" описано в лабораторно-практичній роботі № 3.

Дротинки калібровані для вимірювання середнього діаметра нарізі (рис. 2.21) випускають комплектами (по 3 штуки). Діаметр дротинок d залежить від кроку вимірюваної нарізі P.

Оптимальний діаметр дротинок визначають за формулою

$$d = \frac{P}{2\cos\frac{\alpha}{2}}. \qquad (2.7)$$

Для метричної нарізі з кутом профілю при вершині ($\alpha = 60°$)

$$d = \frac{P}{1{,}732}. \qquad (2.8)$$

Діаметри дротинок, розраховані за цими формулами, мають такі значення: 0,2...0,118; 0,25...0,142; 0,3...0,170; 0,35...0,201; 0,4...0,232; 0,45... 0,260; 0,5....0,291; 0,6...0,343; 0,7...0,402; 0,75...0,433; 0,8...0,461; 1,0...0,572; 1,25...0,724; 1,5...0,866; 1,75...1,008; 2,0...1,157; 2,5...1,441; 3,0...1,732; 3,5... 2,020; 4,0...2,311; 4,5...2,595; 5,0...2,886. У цих значеннях перша цифра – крок нарізі, а друга – діаметр дротинок. Усі розміри подано в міліметрах. Середня калібрована частина дротинок

першого класу точності має такі відхили: для номінального діаметра дротинок до 0,433 мм відхили дорівнюють ±0,5 мкм, для діаметрів дротинок понад 0,433 мм ±0,15 мм. Шорсткість каліброваної частини – $R_a \leq 0{,}04$ мкм.

Вимірювання середнього діаметра нарізі методом трьох дротинок виконують у такій послідовності:

- визначають крок нарізі за маркуванням або нарізним шаблоном;
- добирають діаметр дротинки залежно від кроку нарізі (з таблиць або за розрахунком);
- три дротинки однакового діаметра встановлюють у впадини нарізної пробки (рис. 2.21);
- гладким мікрометром визначають розмір "М";
- визначають середній діаметр нарізі за формулою

$$d_2 = M - 3d_{др} + 0{,}866P, \qquad (2.9)$$

а результати вимірювань заносять у звітну форму 4 до лабораторних робіт.

Кутоміри слугують для вимірювання кутів. Виготовляють кутоміри з ноніусом типу УМ і УН та оптичні типу УО.

Кутомір типу УМ (ГОСТ 5378–88), (рис. 2.22) призначений для вимірювання зовнішніх кутів у межах від 0 до 180°. Ціна поділки основної шкали – 1°, а значення відліку за ноніусом – 2′.

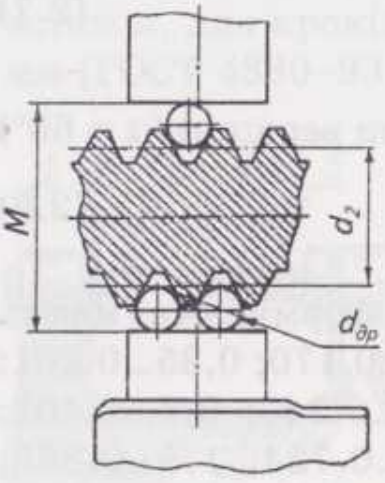


Рис. 2.21. Вимірювання середнього діаметра нарізі методом трьох дротинок

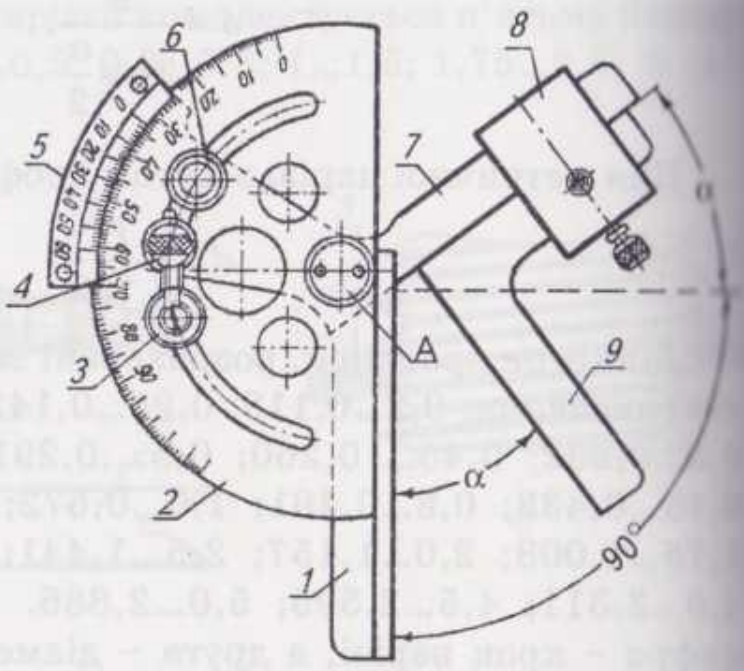


Рис. 2.22. Кутомір типу УМ

Кутомір складається з основи *2*, на яку нанесено основну шкалу в межах дуги від 0 до 90°. З основою жорстко з'єднано лінійку *1* і шарнірно-рухому лінійку *7*, на одному кінці якої є ноніусний сектор *5*. Ноніусний сектор з'єднаний з мікрогвинтом *4*. Для точного встановлення кутоміра "на нуль" необхідно застопорити гвинт *3* і, крутячи мікрогвинт *4*, виставити в необхідне положення ноніусну шкалу. Її фіксують гвинтом *6*. На рухомій лінійці *7* можна закріплювати хомутик *8* і кутник *9*.

Кути від 0 до 90° вимірюють встановленим кутником. При вимірюванні кутів понад 90° кутник знімають (кут 90° $+\alpha$).

Правила відліку за кутовим ноніусом аналогічні правилам відліку за лінійним ноніусом штангенінструментів.

При вимірюванні кутів менших за 90° на рухомій лінійці кутоміра закріплюють хомутик *8* і встановлюють кутник *9*.

Вимірювання кутів кутоміром типу УМ виконують у такій послідовності:

- розміщують деталь між вимірювальними поверхнями нерухомої лінійки й кутника кутоміра;
- притискують до лінійки одну сторону вимірюваного кута деталі, а рухому лінійку переміщують до змикання вимірювальної поверхні кутника з другим боком вимірюваного кута деталі;
- фіксують сектор кутоміра гвинтом *3*, де обертанням гайки мікрометричної подачі підводять кутник до деталі так, щоб між вимірювальними поверхнями лінійки та кутника й поверхнями деталі не було зазору (щілини);
- фіксують положення лінійки стопором *6* і визначають кут (кількість вимірювань не менше трьох). За результат вимірювання приймають середнє арифметичне, яке записують у звітну форму 4.

Кутомір типу УН (рис. 2.23) призначений для вимірювання зовнішніх і внутрішніх кутів у межах від 0 до 320°. Ціна поділки основної шкали 1°, а значення відліку за ноніусом – 2′.

Кутомір складається із сектора *6*, на якому нанесена основна шкала, а також сектора *9*, з'єднаного з ноніусною шкалою *5*. З останнім сектором жорстко з'єднана лінійка *7*. Основний сектор може переміщуватися відносно ноніусної шкали і стопоритися гвинтом *8*. До ноніусного сектора хомутиком *4* приєднаний кутник *3*. До нього хомутиком *1* кріпиться лінійка *2*. Для мікрометричної подачі робочої грані сектора відносно лінійки служить гайка *10*.

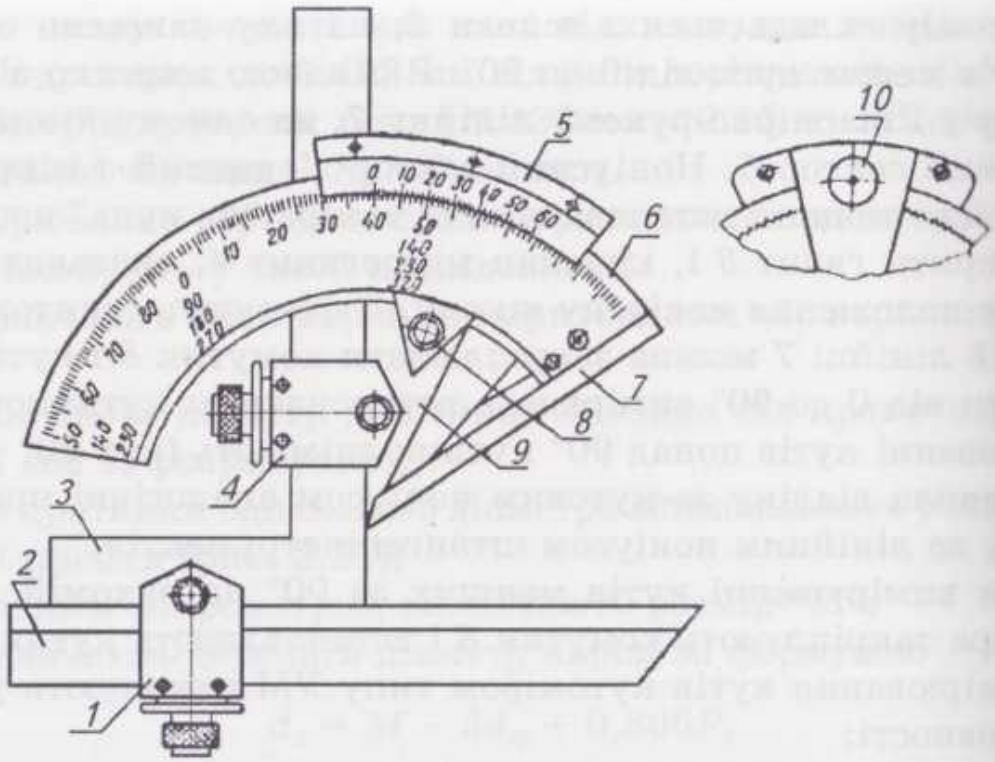


Рис. 2.23. Кутомір типу УН

Вимірюючи зовнішні кути у межах від 0 до 5°, Г-подібний кутник *3* прикріплюють до сектора *9* за допомогою хомутика *4*, а лінійку *2* кріплять до кутника за допомогою хомутика *1*.

Вимірюючи кути від 50 до 140°, кутник знімають, лінійку закріплюють на місце кутника; а вимірюючи кути від 140 до 180°, до сектора прикріплюють лише кутник за допомогою хомутика.

Під час вимірювання внутрішніх кутів (від 40 до 180°) кутник і лінійка відсутні. Прийоми вимірювання кутів кутоміром типу УН аналогічні прийомам для кутоміра типу УМ. Результати вимірювань записують у звітну форму 4.

Оптичний кутомір УО (рис. 2.24) складається з рухомої *6* і нерухомої лінійок *7*, жорстко з'єднаної з корпусом 4. У корпусі розміщено скляний диск *8* зі шкалою. Спостерігають за шкалою за допомогою лупи *3*. Для закріплення кутоміра в певному положенні слугує важіль *5*; *1* – мінутна шкала; *2* – градусна шкала, величина відліку оптичного кутоміра дорівнює 10 або 5'.

Вимірювання оптичним кутоміром виконують у такій послідовності:

- звільняють рухому лінійку за допомогою важеля *5*;
- стикують грань нерухомої лінійки *7* з твірною деталі вимірюваного кута;

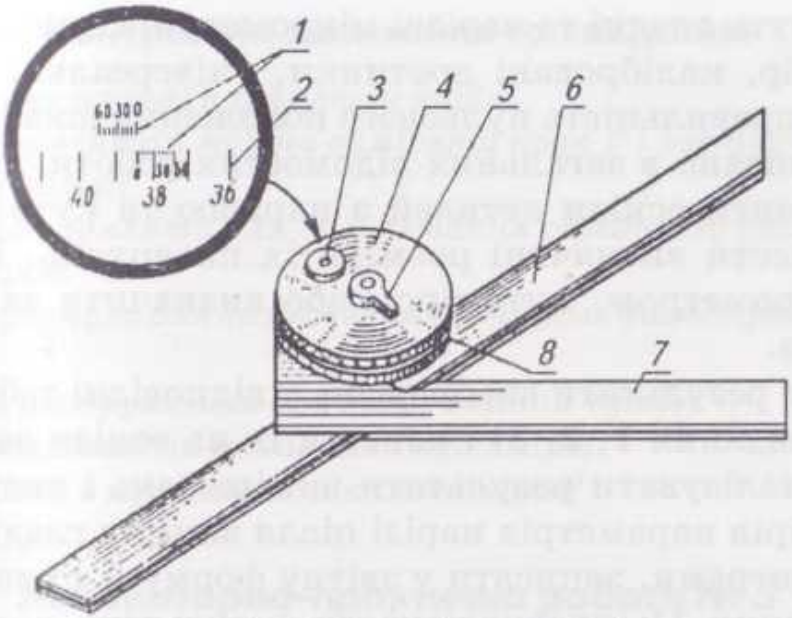


Рис. 2.24. Кутомір оптичний

• підводять грань рухомої лінійки *6* до другої твірної деталі вимірюваного кута;

• фіксують важелем *5* рухому лінійку;

• визначають значення кута (градуси та хвилини) за допомогою лупи *3*, а результати вимірювань записують у звітну форму 4 до лабораторних робіт.

Обладнання, матеріали та інструмент

1. Нарізні шаблони з діапазоном вимірювань кроку 0,4...6,0 мм.
2. Гладкі мікрометри з діапазоном вимірювань 0...25; 25...50 мм.
3. Нарізні мікрометри з діапазоном вимірювань 0...25; 25...50 мм.
4. Кутоміри типу УМ і УН.
5. Синусні лінійки (вузькі та широкі).
6. Стояки з індикаторами годинникового типу.
7. Плита перевірна (інструментальна).
8. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини (набір компактний).
9. Набір дротинок для вимірювання середнього діаметра зовнішньої нарізі.
10. Болти, гвинти, нарізні калібри, конуси інструментальні (втулки Морзе), конусні деталі.
11. Навчальні плакати, таблиці.

Послідовність виконання роботи

1. Одержати деталі для вимірювання та вимірювальні інструменти. Уточнити у викладача поверхні, які слід вимірювати, та значення їх розмірів.

2. Оглянути гладкі та нарізні мікрометри, комплекти набор кінцевих мір, калібровані дротинки, універсальні кутоміри і перевірити правильність нульового положення шкали; методи перевірки подано в загальних відомостях роботи.

3. Виконати ескізи деталей з наріззю та кутовими розм рами й нанести визначені розміри їх поверхонь. Розміри ви міряти мікрометром, кутоміром або визначити за допомог розрахунків.

4. Звести результати вимірювань у відповідні таблиці звіт форми 4 (завдання 1, 2, 3) і нанести їх на ескізи деталей.

5. Проаналізувати результати вимірювань і визначити зна чення розмірів параметрів нарізі після замірів гладким і нарі ним мікрометрами, записати у звітну форму 4 до лабораторних робіт (завдання 1); проаналізувати результати розмірів пара метрів нарізі за методом трьох дротинок (завдання 2), а також кутових розмірів, визначених кутоміром (завдання 3) і зробити висновки про придатність нарізної деталі відповідно до допусти мих відхилів відносно номінального розміру нарізі.

6. Ознайомитися з метрологічними характеристиками гладко го та нарізного мікрометрів, універсальних кутомірів і їхні дані записати у звітну форму 4 до лабораторних робіт (завдання 4).

Зміст звіту

Зміст звіту повинен відповідати індивідуальному завданню й містити:

1. Мету роботи та короткі загальні відомості.

2. Ескіз вимірюваних деталей із заміряними розмірами кроку нарізі нарізним шаблоном і середнього діаметра нарізі методом трьох дротинок.

3. Ескіз деталі – пластини із заміряними значеннями п'яти кутових розмірів.

4. Ескіз кутоміра та назви його складових частин.

5. Результати вимірювань, які подати у звітній формі 4 до лабораторних робіт.

6. Метрологічні покази гладкого та нарізного мікрометрів, а також кутоміра, які записати у звітну форму 4 до лабораторних робіт (завдання 4).

7. Висновок про відповідність нарізної деталі й деталі з кутовими розмірами допустимим відхилам від номінального розміру.

Контрольні запитання та завдання

1. *Назвіть геометричні параметри нарізі.*
2. *Яким інструментом можна виміряти крок P і зовнішній діаметр d зовнішньої нарізі?*
3. *Назвіть інструменти для вимірювання середнього діаметра d_2 зовнішньої нарізі.*
4. *Запишіть формулу для визначення середнього діаметра d_2 зовнішньої нарізі.*
5. *Перелічіть інструменти для вимірювання кутів.*
6. *Назвіть метрологічні показники кутомірів.*
7. *Якої точності в кутомірах шкала ноніуса?*

Лабораторно-практична робота № 5

2.3.5. КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ КАЛІБРАМИ ТА ШАБЛОНАМИ

Мета роботи – ознайомитися з плоскопаралельними кінцевими мірами довжини, калібрами та шаблонами, а також набути практичних навиків користування плоскопаралельними кінцевими мірами довжини, калібрами, шаблонами та навчитися їх підбирати.

Загальні відомості

На виробництві, особливо масовому і великосерійному, контроль деталей здійснюють калібрами та шаблонами. ***Калібри*** (ГОСТ 2234–93 [2]) та ***шаблони*** – це безшкальні вимірювальні інструменти, які слугують не для визначення числового значення контрольованого параметра, а для з'ясування того, чи перебуває контрольований параметр у доступних межах, чи виходить за ці межі (деталь придатна чи непридатна).

Калібри класифікують:

- за видом контрольованих виробів і параметрів: гладкі, нарізні, шліцьові, для контролю довжини, глибини, висоти, взаємного розташування поверхонь тощо;
- за кількістю одночасно контрольованих елементів: елементні, комплексні;
- за умовами оцінки придатності деталі: нормальні та граничні (прохідні і непрохідні). Найбільш поширеними є гладкі граничні калібри для контролю циліндричних поверхонь деталей;

2. Оглянути гладкі та нарізні мікрометри, комплекти набор кінцевих мір, калібровані дротинки, універсальні кутоміри і перевірити правильність нульового положення шкали; методи перевірки подано в загальних відомостях роботи.

3. Виконати ескізи деталей з наріззю та кутовими розм рами й нанести визначені розміри їх поверхонь. Розміри ве міряти мікрометром, кутоміром або визначити за допомого розрахунків.

4. Звести результати вимірювань у відповідні таблиці звітн форми 4 (завдання 1, 2, 3) і нанести їх на ескізи деталей.

5. Проаналізувати результати вимірювань і визначити зна чення розмірів параметрів нарізі після замірів гладким і нарі ним мікрометрами, записати у звітну форму 4 до лабораторних робіт (завдання 1); проаналізувати результати розмірів пара метрів нарізі за методом трьох дротинок (завдання 2), а також кутових розмірів, визначених кутоміром (завдання 3) і зробити висновки про придатність нарізної деталі відповідно до допусти мих відхилів відносно номінального розміру нарізі.

6. Ознайомитися з метрологічними характеристиками гладко го та нарізного мікрометрів, універсальних кутомірів і їхні дан записати у звітну форму 4 до лабораторних робіт (завдання 4).

Зміст звіту

Зміст звіту повинен відповідати індивідуальному завданню й містити:

1. Мету роботи та короткі загальні відомості.

2. Ескіз вимірюваних деталей із замірянними розмірами кроку нарізі нарізним шаблоном і середнього діаметра нарізі методом трьох дротинок.

3. Ескіз деталі – пластини із замірянними значеннями п'яти кутових розмірів.

4. Ескіз кутоміра та назви його складових частин.

5. Результати вимірювань, які подати у звітній формі 4 до лабораторних робіт.

6. Метрологічні покази гладкого та нарізного мікрометрів, а також кутоміра, які записати у звітну форму 4 до лабораторних робіт (завдання 4).

7. Висновок про відповідність нарізної деталі й деталі з кутовими розмірами допустимим відхилам від номінального розміру.

Контрольні запитання та завдання

1. *Назвіть геометричні параметри нарізі.*
2. *Яким інструментом можна виміряти крок P і зовнішній діаметр d зовнішньої нарізі?*
3. *Назвіть інструменти для вимірювання середнього діаметра d_2 зовнішньої нарізі.*
4. *Запишіть формулу для визначення середнього діаметра d_2 зовнішньої нарізі.*
5. *Перелічіть інструменти для вимірювання кутів.*
6. *Назвіть метрологічні показники кутомірів.*
7. *Якої точності в кутомірах шкала ноніуса?*

Лабораторно-практична робота № 5

2.3.5. КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ КАЛІБРАМИ ТА ШАБЛОНАМИ

Мета роботи – ознайомитися з плоскопаралельними кінцевими мірами довжини, калібрами та шаблонами, а також набути практичних навиків користування плоскопаралельними кінцевими мірами довжини, калібрами, шаблонами та навчитися їх підбирати.

Загальні відомості

На виробництві, особливо масовому і великосерійному, контроль деталей здійснюють калібрами та шаблонами. ***Калібри*** (ГОСТ 2234–93 [2]) та ***шаблони*** – це безшкальні вимірювальні інструменти, які слугують не для визначення числового значення контрольованого параметра, а для з'ясування того, чи перебуває контрольований параметр у доступних межах, чи виходить за ці межі (деталь придатна чи непридатна).

Калібри класифікують:

- за видом контрольованих виробів і параметрів: гладкі, нарізні, шліцьові, для контролю довжини, глибини, висоти, взаємного розташування поверхонь тощо;
- за кількістю одночасно контрольованих елементів: елементні, комплексні;
- за умовами оцінки придатності деталі: нормальні та граничні (прохідні і непрохідні). Найбільш поширеними є гладкі граничні калібри для контролю циліндричних поверхонь деталей;

• за технологічним призначенням: робочі й контрольні. *Робочі калібри* використовують для контролю деталей на робочих місцях під час їх виготовлення (ПР – прохідний робочий; НЕ – непрохідний робочий). *Контрольні калібри* використовуються для контролю або регулювання робочих калібрів (К-ПР – контрольний калібр для контролю прохідного робочого калібра; К-НЕ – контрольний калібр для контролю непрохідного робочого калібра; К-С – контрольний калібр для контролю спрацювання прохідної сторони робочого калібра);

• за конструктивними ознаками: жорсткі, регульовані, однобічні, двобічні.

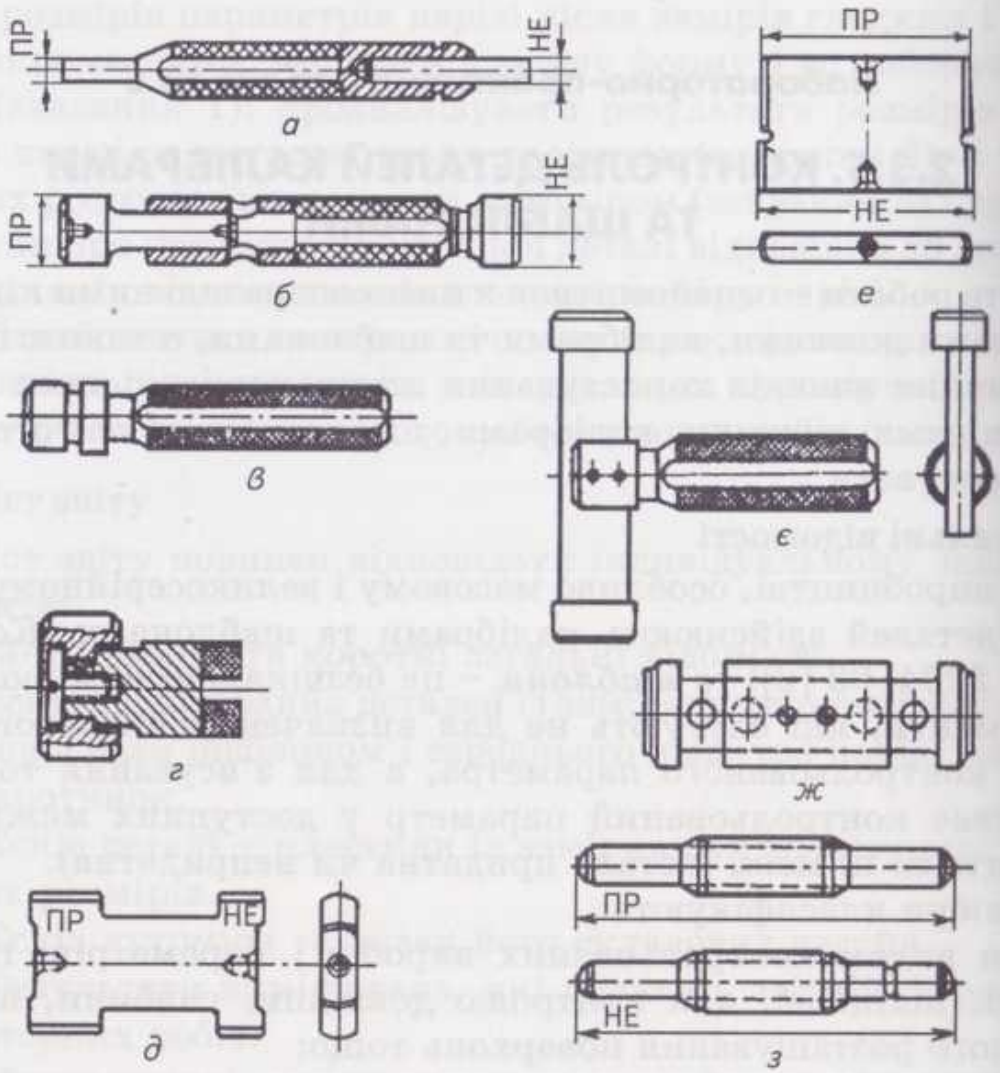


Рис. 2.25. Калібри-пробки:
а – граничні двобічні (для розмірів ∅ 1...3 мм); *б* – граничні двобічні з вставками (для розмірів ∅ 1...50 мм); *в* – граничні однобічні; *г* – пробки з насадками (для ∅ 30...100 мм); *д* – листові двобічні (для ∅ 18...100 мм); *е* – листові однобічні (для ∅ 50...300 мм); *є* – неповні однограневі (для ∅ 50...150 мм); *ж* – неповні однограневі з накладками (для ∅ 150...360 мм); *з* – штихмаси і нутроміри (для отворів з великим діаметром, понад 250 мм)

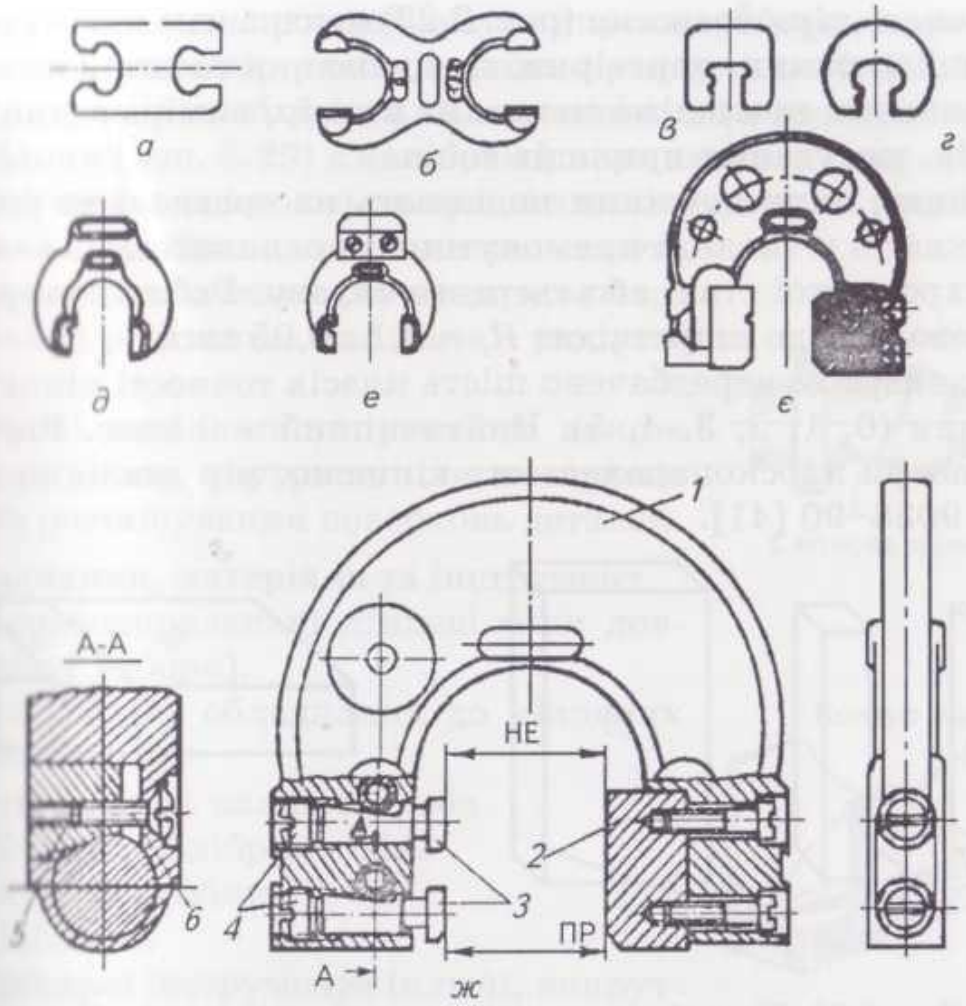


Рис. 2.26. Калібри-скоби:

а – граничні двобічні листові (для ∅ 1...50 мм); *б* – граничні двобічні штамповані (для ∅ 3...100 мм); *в* – граничні однобічні прямокутні (для ∅ 1...70 мм); *г* – граничні однобічні круглі (для ∅ 1...180 мм); *д* – граничні однобічні штамповані (для ∅ 3...50 мм); *е* – граничні однобічні штамповані (для ∅ 50...170 мм); *є* – граничні однобічні виливки з вставками; *ж* – однобічні регульовані

Для контролю отвору слугують калібри-пробки (рис. 2.25); для контролю вала – калібри-скоби (рис. 2.26).

Наприклад, регульовані скоби (рис. 2.26, *ж*) дають змогу відтворювати робочі розміри, втрачені внаслідок спрацювання. Вони допускають переналагодження на інший розмір (у незначних межах) і складаються з вилитого корпусу *1*, до якого з одного боку гвинтами приєднано нерухому губку *2*. Вставки *3* можна регулювати за прохідним і непрохідним розміром за допомогою гвинтів *5*. Вставки стопоряться втулками *5* і гвинтами *6*. Виставлення на розмір здійснюють за блоками плоскопаралельних кінцевих мір довжини.

Кінцеві міри довжини (рис. 2.27) призначено для збереження одиниці довжини, перевірки, градуювання та встановлення вимірювальних приладів і систем на розмір, вимірювання точних виробів, юстування приладів тощо.

Кінцеві міри довжини поділяють на зразкові та робочі. Їх випускають у вигляді прямокутних паралелепіпедів із загартованої хромистої сталі або твердого сплаву. Робочі поверхні для них доводять до шорсткості $R_z = 0{,}1...0{,}05$ мкм.

Стандартом передбачено шість класів точності кінцевих мір довжини (0, 1, 2, 3, 4, 5). Найточніший – 0 клас. Виготовляють набори плоскопаралельних кінцевих мір довжини згідно з ГОСТ 9038–90 [41].

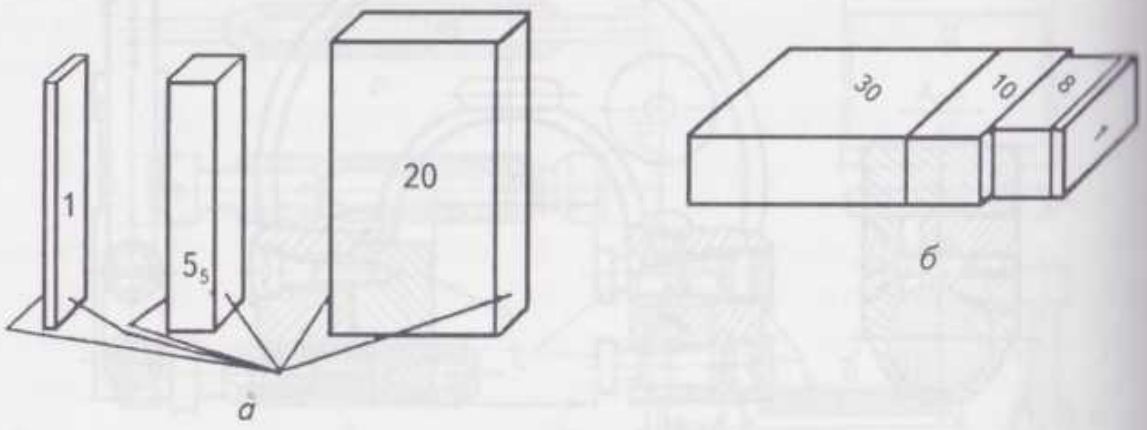


Рис. 2.27. Кінцеві міри довжини: *а* – окремі міри; *б* – блок мір

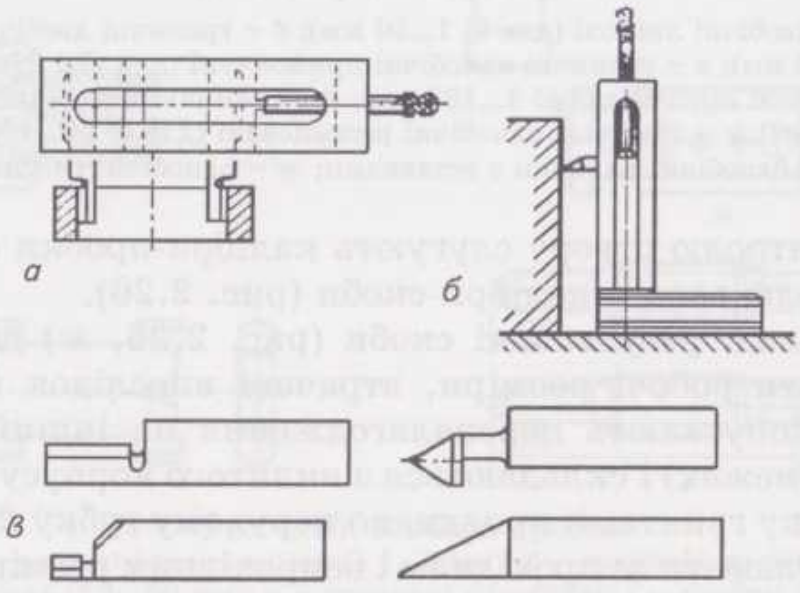


Рис. 2.28. Обладнання до кінцевих мір довжини: *а* – державка для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів; *б* – державка для розмічування; *в* – боковики: плоскопаралельні, радіусні, центрові, рисувальні

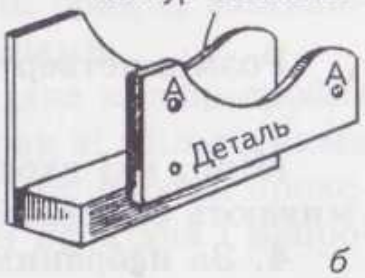
Інструментальна промисловість випускає набори плоскопаралельних кінцевих мір у спеціальних футлярах по 4, 10, 19, 38, 83, 112 штук, із необхідним обладнанням для них (рис. 2.28).

Шаблони (рис. 2.29) є калібрами нормального типу. Результати вимірювань оцінюють за просвітом між деталлю і шаблоном (візуально). Шаблони здебільшого мають спеціальне призначення (за винятком нормалізованих радіусних шаблонів – радіусомірів).

Радіусні шаблони випускають також у наборах. Вони слугують для контролю форми та розташування поверхонь деталей.



а



б

Рис. 2.29. Шаблони: *а* – вимірювання за просвітом; *б* – за формою контуру

Обладнання, матеріали та інструмент

1. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини (різні набори).
2. Допоміжне обладнання до кінцевих мір довжини.
3. Регульовані калібри-скоби.
4. Жорсткі калібри-скоби.
5. Калібри-пробки.
6. Шаблони.
7. Слюсарні інструменти (ключі, викрутки тощо).
8. Контрольовані деталі.
9. Плакати, таблиці граничних відхилів деталей і гладких калібрів на їх виготовлення.

Послідовність виконання роботи

Налагоджування регульованої калібра-скоби на розмір

Гладкі регульовані калібри-скоби (див. рис. 2.26, *ж*) використовують для контролю валів, розмір яких знаходять у певному інтервалі. Перед контролем деталей регульовану скобу налагоджують на необхідний розмір у такій послідовності:

1. За граничними розмірами вала визначають номінальні розміри калібра-скоби (ПР і НЕ) і контркалібрів (К-ПР; К-НЕ; К-С).
2. Із таблиць допусків на калібри знаходять граничні відхили для їх виготовлення.
3. Набирають блоки плоскопаралельних кінцевих мір довжини для прохідної (ПР) і непрохідної (НЕ) сторін скоби (за

розмірами контркалібрів К-ПР і К-НЕ). Блоки набирають до вільного розміру, який перебуває у межах між граничними розмірами контркалібрів. Під час набору блоків слід дотримуватися правила, що в першу чергу набирають кінцеві міри, які мають тисячні частки міліметрів, відтак соті, десяті частки і т. д. При цьому необхідно, щоб до блока входила мінімальна кількість мір. Розраховуючи блок, шляхом віднімання зводять до нуля останню цифру заміру.

Приклад: Потрібно скласти блок для розміру 53,525 мм.

Розмір першої міри $\underset{\text{залишок}}{\underline{\qquad}} \dfrac{1{,}005}{52{,}52}$.

Розмір другої міри $\underset{\text{залишок}}{\underline{\qquad}} \dfrac{1{,}02}{51{,}50}$.

Розмір третьої міри $\underset{\text{залишок}}{\underline{\qquad}} \dfrac{1{,}5}{50}$.

Розмір четвертої міри $\underset{\text{залишок}}{\underline{\qquad}} \dfrac{50}{0}$.

Міри, які входять до блока, і робочі поверхні вставок промивають бензином й протирають сукном.

4. За набраним блоком мір, який дорівнює розміру контркалібра К-ПР, налагоджують прохідний бік регульованої скоби ПР у такій послідовності:

- відпускають стопорні гвинти *6* вставок *3* (див. рис. 2.26, *ж*);
- встановлюють блок мір між робочими поверхнями вставок;
- регулювальним гвинтом *4* переміщують вставку *3* до змикання з блоком кінцевих мір;
- перевіряють щільність притискання блока вставками і стопорять вставку гвинтом *6*.

Налагодження вважають правильним, якщо скоба під власною масою переміщується по бічних поверхнях блока кінцевих мір.

Налагодження непрохідного боку калібра-скоби НЕ по контркалібру К-НЕ виконують у такій же послідовності, як і прохідного.

5. Контролюють налагодженим калібром-скобою вал і роблять висновок про його придатність чи непридатність.

Контроль валиків калібром-скобою

Цей контроль проводять у такій послідовності:

• валик із заданої партії протирають змоченою в бензині тканиною і контролюють калібром-скобою в трьох перерізах по довжині і в двох взаємно перпендикулярних напрямках по діаметру;

• сортують деталі на три групи: придатні, брак зі збільшеними розмірами і брак зі зменшеними розмірами.

Деталь вважають придатною, якщо вона проходить між губками прохідного боку калібра-скоби і не проходить між губками непрохідного боку калібра-скоби. Брак зі зменшеними розмірами – прохідний і непрохідний бік калібра-скоби проходять; брак зі збільшеними розмірами – прохідний і непрохідний бік калібра-скоби не проходять.

Контроль втулок калібром-пробкою

Цей контроль проводять у такій послідовності:

• втулку із заданої партії промивають у бензині, протирають ганчіркою, потім контролюють калібром-пробкою;

• сортують деталі на три групи: придатні, брак зі збільшеними розмірами і брак зі зменшеними розмірами.

Деталь вважають придатною, якщо прохідна калібр-пробка входить в отвір, а непрохідна не входить. Брак зі збільшеними розмірами – якщо прохідна й непрохідна калібр-пробки проходять, брак зі зменшеними розмірами – коли прохідна і непрохідна калібр-пробки не проходять.

Контроль деталей шаблонами

Цей контроль здійснюють після промивання і протирання деталі бензином. Контроль шаблонами виконують переважно на просвіт між поверхнями деталі й шаблона (рис. 2.29). За величиною цього просвіту встановлюють відхилення форми та розташування поверхонь.

Зміст звіту

1. Заповнити звітну форму 5 до лабораторних робіт (завдання 1, 2, 3).

2. Побудувати схему полів допусків деталі, калібрів і контркалібрів.

3. Заповнити таблицю метрологічних характеристик плоскопаралельних кінцевих мір (звітна форма 5 до лабораторних робіт, завдання 4).

4. Виконати ескіз регульованої калібра-скоби, проставивши виконавчі розміри прохідного й непрохідного боків.

Контрольні запитання та завдання

1. *Дайте класифікацію калібрів.*
2. *Назвіть різновиди калібрів-пробок.*
3. *Які ви знаєте різновиди калібрів-скоб?*
4. *Яке застосування регульованих калібрів-скоб та їх переваги перед жорсткими калібрами-скобами?*
5. *За якої умови використовують валики, контрольовані калібрами-скобами?*
6. *Назвіть умову придатності отворів деталей типу втулок, контрольованих калібрами-пробками.*
7. *Яке призначення шаблонів?*
8. *Які ви знаєте різновиди шаблонів?*

Лабораторно-практична робота № 6

2.3.6. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІЧНИМИ І ОПТИКО-МЕХАНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ

Мета роботи – ознайомитися з конструкціями важільних скоб, важільних мікрометрів, мініметрів, оптиметрів та набути практичних навиків щодо налагоджування та користування важільними скобами, важільними мікрометрами, мініметрами та оптиметрами.

Загальні відомості

До ***механічних вимірювальних засобів*** належать: інструменти й прилади з зубчастою передачею (індикатори годинникового типу); важільно-зубчасті (важільні індикатори та скоби, важільні мікрометри); важільні мініметри; мікрокатори, пружинні мікрокатори; важільно-пружинні мікрокатори, тощо [30–33].

Серед ***оптико-механічних вимірювальних засобів*** розрізняють: важільно-оптичні (оптиметри, ультраоптиметри); пружинно-оптичні (оптикатори); гвинтово-оптичні (вимірювальні машини, довжиноміри, вимірювальні мікроскопи, проектори).

Важільні скоби (ГОСТ 11098–75), (рис. 2.30, *а*) – це важільно-зубчасті прилади, у яких вбудований у корпус *1* важільно-зубчастий механізм, що забезпечує необхідне передавальне зусилля. Їх виготовляють за шістьма типорозмірами: 0...25 мм; 25...50; 50...75; 75...100; 100...125 і 125...150 мм. Ціна поділки шкали 0,002...0,005 мм. Межі вимірювання за шкалою від ±0,08 до ±0,15 мм.

Корпус *1* є основною частиною, до якої прикріплені шкала *4*, арретир *2*, важіль *12*, важільно-зубчастий механізм, кришка механізму переведення стрілки *6*, запобіжний ковпак *7*, установний гвинт *8*. У корпус вставлені (переставна *9* і рухома *10*) п'ятки.

Рухому п'ятку *10* (рис. 2.30, *б*) підтискає пружина *11*, яку відводить важіль *12*. Важіль *13* передає переміщення п'ятки зубчастому сектору *14*, з'єднаному з шестернею *15*, на осі якої встановлена стрілка *5*. Для усунення нульового ходу передачі встановлено спіральну пружину *16*. Важільна скоба споряджена покажчиками відхилів (стрілками) *3*.

Важільні скоби, як і інші нижче перелічені вимірювальні прилади, слугують для проведення відносних вимірювань, тобто встановлення відхилів від правильної геометричної форми деталі.

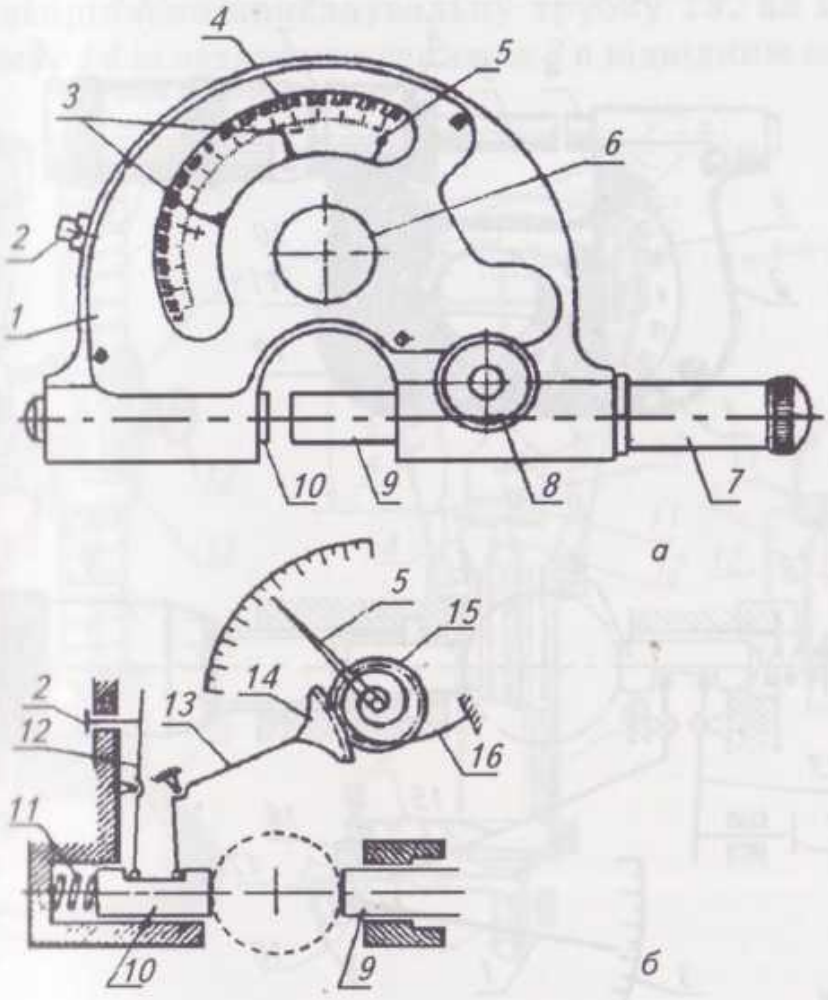
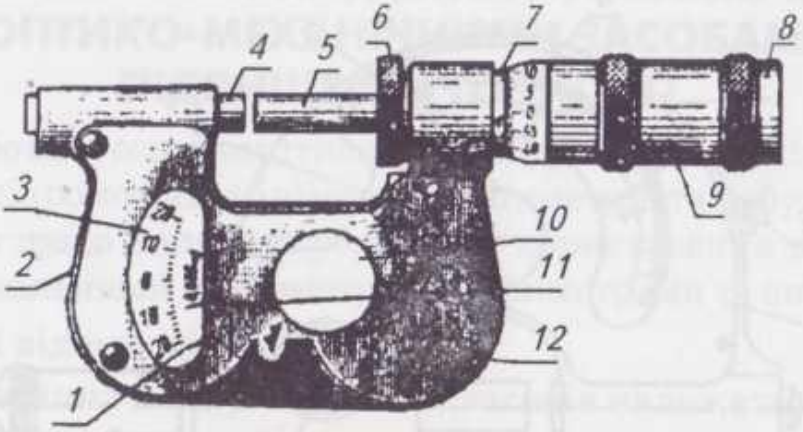


Рис. 2.30. Важільна скоба:
а – загальний вигляд; *б* – кінематична схема

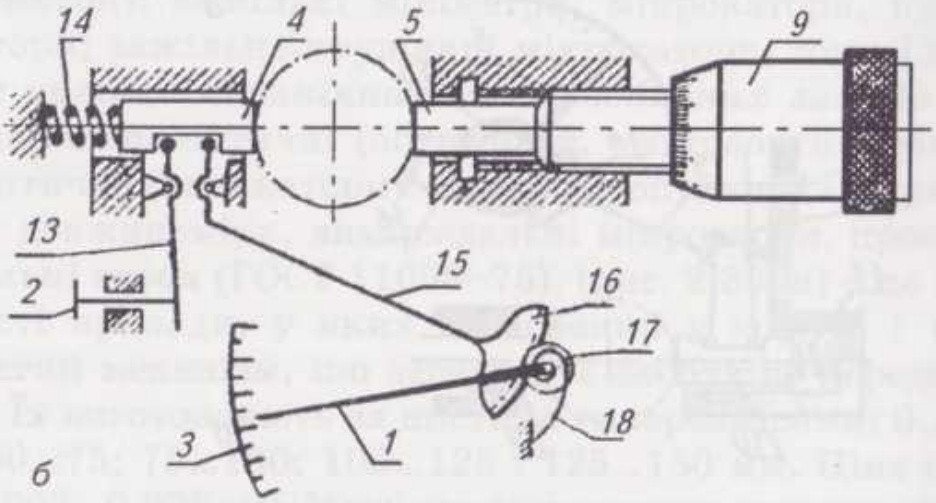
Важільні мікрометри (ДСТУ ГОСТ 4381:2009) (рис. 2.31, *а*) є комбінованими приладами, у яких поєднані мікрометричний і важільно-зубчастий механізми. Ціна поділки мікрометричної головки – 0,01 мм, шкали – 0,002 мм з межами показів ±0,02 мм. Важільні мікрометри виготовляють з межами вимірювань 0...25 і 25...50 мм.

У корпусі *12* кріпиться важільно-зубчастий механізм, кнопка відвідного важеля *2*, шкала *3*, стопорне кільце *6*, ковпак гнізда *10* для встановлення меж відхилів *11*, а також п'ятка (рухома *4* і мікрогвинта *5*). У корпусі запресовано стебло *7*, на якому переміщується барабан *9* з гайкою *8* (для виставлення барабана "на нуль").

Передача руху від рухомої п'ятки *4* (рис. 2.31, *б*) передається важелем *15* зубчастому сектору *16*, а відтак зубчастому колесу *17*, на якому встановлено стрілку *1*. Для притискання



а



б

Рис. 2.31. Важільний мікрометр:
а – загальний вигляд; *б* – кінематична схема

рухомої п'ятки слугує пружина *14*, а для відведення п'ятки – важіль *13*. Пружина *18* забезпечує усунення нульового ходу.

Мініметри (рис. 2.32) – важільно-механічні прилади з важільною передачею. Випускаються промисловістю з ціною поділки шкали 0,01; 0,005; 0,002; 0,001 мм і відповідно з межами вимірювання ±0,3; ±0,15; ±0,06; ±0,03 мм. Вимірювальна головка *9* мініметра фіксується переважно на вертикальному штативі важільного типу з регульованим столом *6*.

Загальний вигляд і будову головки мініметра зображено на рис. 2.33 *а*, а кінематичну схему – на рис. 2.33, *б*.

При переміщенні вимірювального стрижня *1* рамка *9* зі стрілкою *6* буде повертатися навколо нерухомого леза ножа *12*. Стрілка переміщується вздовж шкали *8*. Призма *11* впирається в важкову опору *10* і притискається до ножа *12* пружиною *4*. До корпусу *5* закріплено приєднувальну трубку *13*, на якій встановлено хомут *14* із затяжним гвинтом *3* з відвідним важелем *2*.

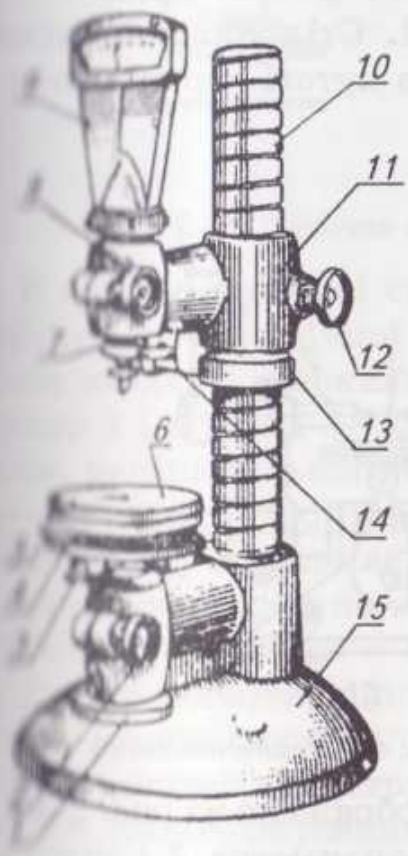


Рис. 2.32. Мініметр

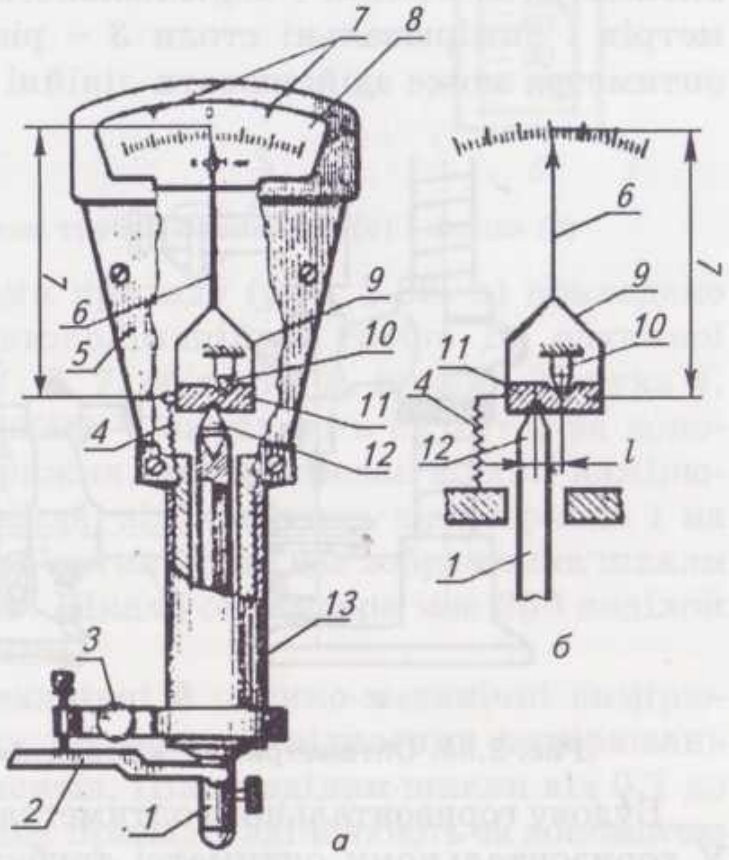


Рис. 2.33. Головка мініметра
а – загальний вигляд; *б* – кінематична схема

Для прискорення контролю передбачені покажчики граничних відхилів *3* (рис. 2.34). Переміщення покажчиків відхилів по пазу *4* здійснюють при відведеній заслонці *2* (рис. 2.34).

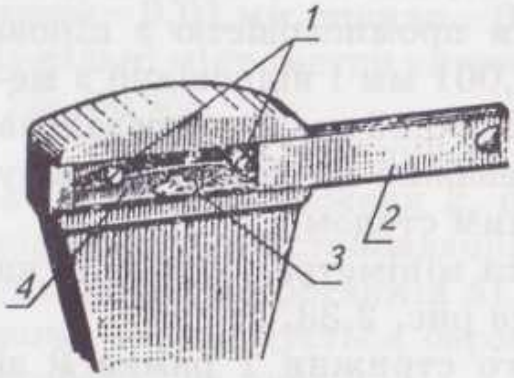


Рис. 2.34. Пристрій для встановлення показів граничних відхилів

Передавальне відношення мініметра (див. рис. 2.33) забезпечено нерівноплечим важелем, у якого довгим плечем є стрілка *6*, а коротким – відстань між лезом ножа стрижня *1* і лезом ножової опори *10*. Передавальне відношення головки мініметра: $i = \frac{L}{l}$.

Оптиметри (рис. 2.35): вертикальний типу ИКВ і горизонтальний типу ИКГ мають однакові вимірювальні головки – трубки оптиметра *2*. Стояки *1* вертикального та горизонтального оптиметрів і вимірювальні столи *3* – різні. Стіл горизонтального оптиметра може здійснювати лінійні та кутові переміщення.

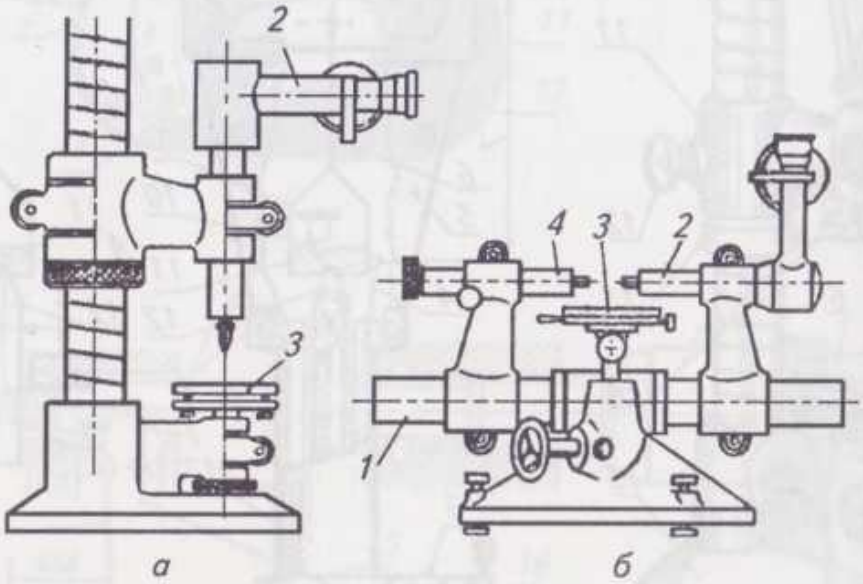


Рис. 2.35. Оптиметри: *а* – вертикальний; *б* – горизонтальний

Будову горизонтального оптиметра зображено на рис. 2.35, *б*. У горизонтальному оптиметрі трубку оптиметра *2* і пінольну опорною вимірювальною п'яткою *4* встановлено на горизонтальному валику *1*.

Вертикальний оптиметр призначений для вимірювання зовнішніх лінійних розмірів, горизонтальний оптиметр – для вимірювання зовнішніх і внутрішніх розмірів. Оптичну схему трубки оптиметра й шкалу зображено на рис. 2.36.

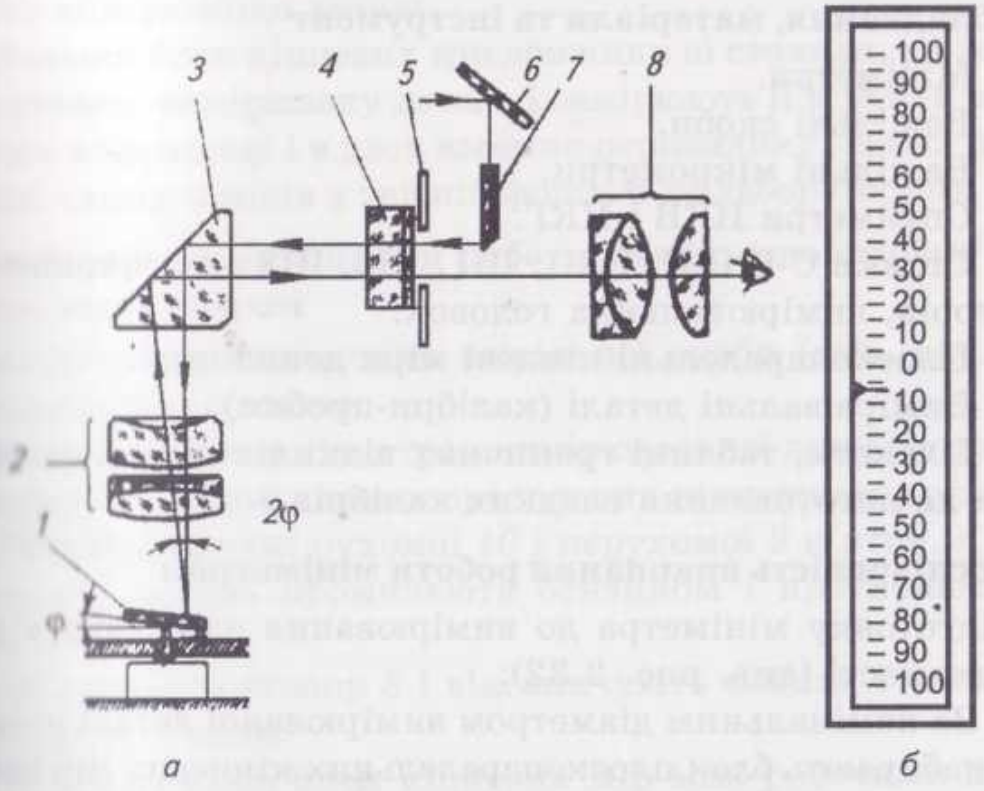


Рис. 2.36. Оптична схема трубки оптиметра (*а*) і шкала (*б*)

В основу оптичної схеми приладу (рис. 2.36, *а*) покладено принцип телескопічної автоколімаційної труби. До оптичної схеми входять: дзеркала *1*, *6*, *7*, об'єктив *2*, призма *3*, сітка *4*, мікрометр *8* і шторка *5*. Дзеркало *1* нахиляють на кут φ за допомогою вимірювального стрижня, який передає відхил вимірюваної деталі. Промінь світла, відбиваючись від дзеркала *1* на кут 2φ, знову потрапляє в об'єктив, який дає зображення шкали і забезпечує відлік показів. Шкала оптиметра має 200 поділок (±100); ціна поділки – 1 мкм.

Слід зазначити, що механічні й оптико-механічні вимірювальні засоби служать для проведення відносних вимірювань плоских деталей та інструментів. Ціна поділки шкали від 0,1 до 10 мкм. Налагоджування цих приладів здійснюють за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір довжини.

Розмір деталі *M* під час вимірювання відносним методом визначають за формулою

$$M = H + Д\,, \qquad (2.10)$$

де H – розмір блока кінцевих мір, мм; $Д$ – відхил стрілки від нульового положення за шкалою приладу, мкм.

Обладнання, матеріали та інструмент

1. Мініметри.
2. Важільні скоби.
3. Важільні мікрометри.
4. Оптиметри ИКВ і ИКГ.
5. Стояки С-I, С-II, С-III; Ш1, Ш2, Ш3 для закріплення індикаторів, вимірювальних головок.
6. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини.
7. Вимірювальні деталі (калібри-пробки).
8. Плакати, таблиці граничних відхилів валів і отворів, допуски на виготовлення гладких калібрів.

Послідовність виконання роботи мініметром

Підготовку мініметра до вимірювання здійснюють у такій послідовності (див. рис. 2.32):

1. За номінальним діаметром вимірюваної деталі розраховують і набирають блок плоскопаралельних кінцевих мір довжини.
2. Столик *6* мініметра і вимірювану деталь промивають бензином і протирають.
3. Встановлюють столик мініметра в крайнє нижнє положення (поворотом кільця *1* мікрогвинта при відпущеному стопорному гвинті *2*).
4. Притирають блок плоскопаралельних кінцевих мір до поверхні столика *6*.
5. Опускають головку мініметра *9* по колоні *10* встановлювальним кільцем *13*, при відпущеному стопорному гвинті *12* кронштейна *11*, наближаючи вимірювальний наконечник до кінцевих мір на відстань до 0,5...1,0 мм; потім кронштейн *11* з головкою мініметра *9* фіксують стопорним гвинтом 12.
6. Встановлюють мініметр "на нуль" гвинтом тонкого регулювання *1*.
7. Закріплюють столик стопорним гвинтом *2* і перевіряють правильність установки "на нуль", 2–3 рази піднімають і опускають робочий наконечник за допомогою відвідного важеля *14*

центра 7. Регулюють положення столика за допомогою гвинта 3 і гайки 5. Колонка *10* закріплена на основі *15*.

8. Встановлюють покази границь полів допусків на вимірювальній головці (див. рис. 2.34) за значеннями граничних відхилів вимірюваної деталі.

9. Зняvши блок кінцевих мір довжини зі столика, на їх місце встановлюють вимірювану деталь і замірюють її відхили в трьох перерізах по довжині і в двох взаємно перпендикулярних площинах (див. схему замірів у звітній формі 6 до лабораторних робіт).

Послідовність виконання роботи важільною скобою та важільним мікрометром

Послідовність підготовки важільної скоби (див. рис. 2.30) до вимірювання є такою:

1. За номінальним діаметром вимірювальної деталі розраховують і набирають блок плоскопаралельних кінцевих мір довжини.

2. Робочі поверхні рухомої *10* і нерухомої *9* п'яток, а також вимірювану деталь промивають бензином і протирають тканиною.

3. Звільнюють стопор *8* і відгвинчують ковпак *7* механізму переміщення п'ятки.

4. Встановлюють блок кінцевих мір між робочими поверхнями п'яток і забезпечують контакт поверхонь п'яток і мір переміщенням нерухомої п'ятки *9* при відпущеному стопорному гвинті *8*.

5. Переміщенням нерухомої п'ятки *9* встановлюють стрілку *5* в нульове положення і закріплюють стопор *8*. Перевірку встановлення стрілки "на нуль" здійснюють за допомогою аретира *2*.

6. Виймають блок кінцевих мір, нагвинчують ковпак механізму мікрогвинта й встановлюють покажчики *3* граничних відхилів за значеннями граничних відхилів вимірюваної деталі. При вийманні блока кінцевих мір і введенні вимірюваної деталі між п'ятки натискають на аретир *2* і відводять рухому п'ятку *10*.

7. Замірюють деталь у трьох перерізах по довжині і в двох взаємно перпендикулярних площинах (див. схему заміру у звітній формі 6 до лабораторних робіт).

Вимірювання важільним мікрометром аналогічне вимірюванню важільною скобою. Встановлення "на нуль" здійснюють переміщенням його барабана.

Послідовність виконання роботи оптиметром

Підготовку оптиметра (рис. 2.35) до вимірювання здійснюють у такій послідовності:

1. За номінальним діаметром вимірюваної деталі розраховують і набирають блок плоскопаралельних кінцевих мір довжини.

2. Встановлюють столик *3* вертикального оптиметра у крайнє нижнє положення, промивають його бензином і протирають тканиною.

3. Припасовують блок кінцевих мір до поверхні столика.

4. Освітлюють екран променем дзеркал (рис. 2.36, *а*).

5. Опускають трубку оптиметра *2* по колоні *1* і підводять вимірювальний наконечник до кінцевих мір на відстань до 0,5...1 мм.

6. Закріплюють кронштейн з трубкою оптиметра стопорним гвинтом.

7. Встановлюють оптиметр "на нуль" за допомогою гайки тонкого регулювання столика; при цьому дивляться в окуляр *4* (рис. 2.36, *а*).

8. Перевіряють аретиром правильність встановлення "на нуль" і знімають зі столика блок кінцевих мір. Знімаючи блок кінцевих мір зі столика і встановлюючи вимірювану деталь, за допомогою аретира відводять вимірювальний наконечник.

9. Встановлюють вимірювану деталь на столик *3* і замірюють її відхили в трьох перерізах по довжині і в двох взаємно перпендикулярних площинах (див. схему замірів у звітній формі 6 до лабораторних робіт).

Зміст звіту

1. Заповнити звітну форму 6 результатами вимірювань.

2. Заповнити таблицю метрологічних характеристик приладів: мініметра, важільної скоби, оптиметра (звітна форма 6 до лабораторних робіт).

3. Виконати кінематичні схеми вимірювальних приладів (мініметра, важільної скоби, оптиметра).

Контрольні запитання та завдання

1. Класифікуйте механічні і оптико-механічні вимірювальні засоби.

2. Дайте метрологічні характеристики важільних скоб і мікрометра, мініметра та оптиметра.

Охарактеризуйте відносний метод вимірювання, його суть і застосування.

Які ви знаєте методики налагоджування важільної скоби та мікрометра, мініметра й оптиметра на заданий номінальний розмір?

Де застосовують механічні та оптико-механічні засоби для вимірювання, сортування та дефектування деталей?

Лабораторно-практична робота № 7

2.3.7. ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ І ФОРМИ ДЕТАЛЕЙ ТА ШОРСТКОСТІ ЇХ ПОВЕРХОНЬ

Мета роботи – ознайомитися з будовою та принципом роботи мікроскопів і набути практичних навиків з налагодження та вимірювання деталей на мікроскопах (ГОСТ 8074–82 [18]).

Загальні відомості

Мікроскопи інструментальні належать до групи оптико-механічних вимірювальних засобів, призначених для вимірювань у прямокутній і полярній системах координат лінійних і кутових розмірів. Загалом вони складаються із візирного мікроскопа, яким фіксують точки на вимірюваному предметі, та стола, на якому встановлюють даний предмет. Взаємне зміщення цих двох вуалів здійснюють за допомогою відлікових пристроїв, виконаних у вигляді мікрометрів або відлікових мікроскопів.

Найбільш поширені такі типи цих мікроскопів:

малий мікроскоп інструментальний (ММИ);

великий мікроскоп інструментальний (БМИ);

бінокулярний інструментальний мікроскоп (БИМ);

універсальні вимірювальні мікроскопи УИМ-21; УИМ-22; УИМ-23; УИМ-24; УИМ-25.

Ціна поділки шкали мікроскопів – 0,005...0,01 мм; кутомірної головки – 1′; ноніуса кругового стола – 3′. Гранична похибка відліку ±0,003...0,001 мм. Метод вимірювання мікроскопами – безконтактний.

Інструментальний мікроскоп БМИ (рис. 2.37) складається із основи *1*, освітлювача *2*, стола *3*, стояка *4*, кронштейна *5*, вертикальної головки *6*, тубуса *7*, об'єктива *8*, гвинта нахилу стояка *9*, кругового поворотного стола *10*, мікрометричних головок (поздовжнього переміщення *11* і поперечного переміщення *12* стола).

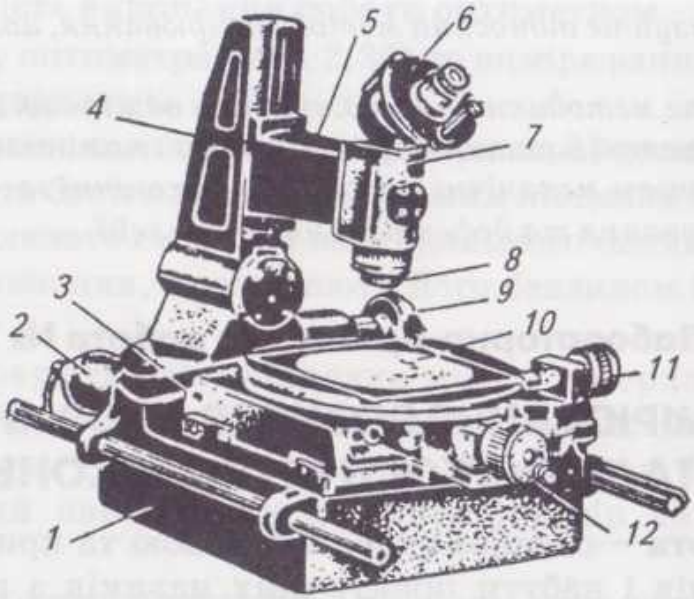


Рис. 2.37. Інструментальний мікроскоп БМИ

Плоскі вироби під час вимірювання встановлюють на скля-ну поверхню стола, а циліндричні та конічні – у центрах або в V-подібних призмах мікроскопа.

Контур виробу розглядають через окуляр *1* окулярної го-ловки (рис. 2.38, *а*). Зображення контура деталі проектується на штрихову пластинку (рис. 2.38, *б*), розміщену в корпусі 2 окулярної головки. Поворот штрихової пластини здійснюють дисковою рукояткою *5*. Кут повороту визначають за круговою шкалою, підсвіченою дзеркальцем *4*, і спостерігають через ку-томірний окуляр *2*.

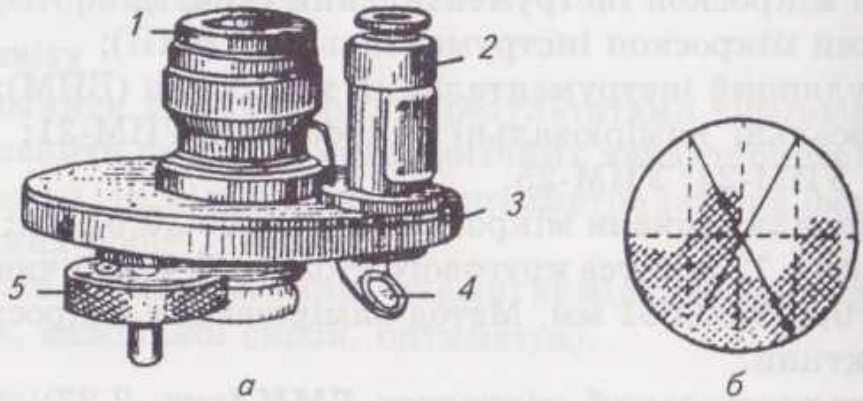


Рис. 2.38. Окулярна головка (*а*) і зображення контуру деталі (*б*)

Оптичну схему мікроскопа БМИ зображено на рис. 2.39. Світло лампи *1* освітлювача за допомогою поворотної призми 3 спрямовують через конденсатор *2*, світлофільтр *3*, діафрагму *4*,

дзеркало *5*, лінзу *6* і захисні стекла *9* і *10* на вимірюваний об'єкт. Тіньовий контур об'єкта проектують об'єктивом *7* на площину сітки *11* окулярної головки. Зображення розглядають через окуляр *12*. Кут повороту сітки *11* визначають за кутовою шкалою лімба *14* з відліковим пристроєм *13*.

Межі вимірювання в напрямках: поздовжньому – 150 мм; поперечному – 50 мм; вертикальному – 100 мм. Ціна поділок шкал для вимірювання довжини – 0,01 мм, кутомірної голов-

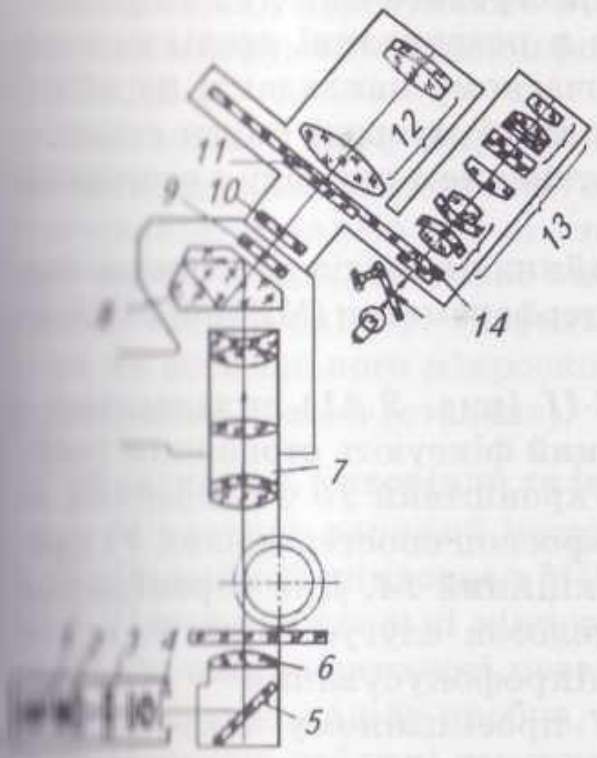


Рис. 2.39. Оптична схема мікроскопа

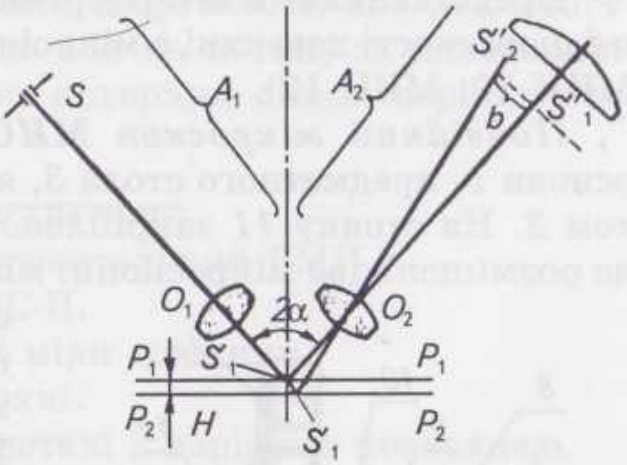


Рис. 2.40. Схема методу світлового перерізу

ки – 1′, ноніуса стола – 3′. Найбільший діаметр виробу: у центрах – 85 мм; у призматичних опорах – 130 мм. Збільшення мікроскопа: 10^x, 15^x, 30^x, 50^x.

Шорсткість поверхонь деталі вимірюють безконтактним і контактним методами. *До безконтактних* належать метод світлового перерізу, тіньової проекції, метод із застосуванням дзеркал тощо.

Принципову схему методу світлового перерізу зображено на рис. 2.40. Освітлену вузьку щілину проектують мікроскопом A_1 на поверхні P_1 і P_2, утворюючи сходинку висотою H. Зображення щілини на поверхні P_1 займає положення S'_1, а на поверхні P_2 –

положення S'_2. У полі зору мікроскопа A_2 зображення щілини матиме вигляд світлової сходинки. Розмір сходинки є мірою висоти нерівностей. O_1 і O_2 – об'єктиви мікроскопів A_1 і A_2. До приладів, побудованих на застосуванні методу світлового перерізу, належать: ПСС, ПСС-2, МИС-П.

Принцип тіньової проекції є видозміненим принципом світлового перерізу, в якому межа між світловою і тіньовою поверхнями створюється лезом ножа. Представником приладів тіньової проекції є ПТС-1. Суть растрового методу вимірювання шорсткості поверхні полягає в розгляданні досліджуваної поверхні через мікроскоп й одночасному накладанні на зображення муарової картини. Викривлені муарові смуги свідчать про величину нерівностей. Представником приладу з растровим методом вимірювання є ОРИМ-1.

Представниками інтерференційних приладів для вимірювання шорсткості поверхні є мікроінтерферометри (МИИ-4; МИИ-9; МИИ-10; МИИ-12).

Подвійний мікроскоп МИС-II (рис. 2.41) складається з основи *1*, предметного стола *3*, який фіксують стопорним гвинтом *2*. На стояку *11* закріплено кронштейн *10* з полозками *8*, де розміщені два мікроскопи: мікроскоп спостереження *5* і проекційний *14*. Для переміщення полозок слугує гвинт *9*, а для мікрофокусування – гвинт *7*. У проекційному мікроскопі є прямолінійна щілина, яка освітлюється. Зображення щілини проектують на поверхню деталі *4* і розглядають мікроскопом спостереження, спорядженим окулярним мікрометром *6* і окуляром із п'ятнадцятикратним збільшенням.

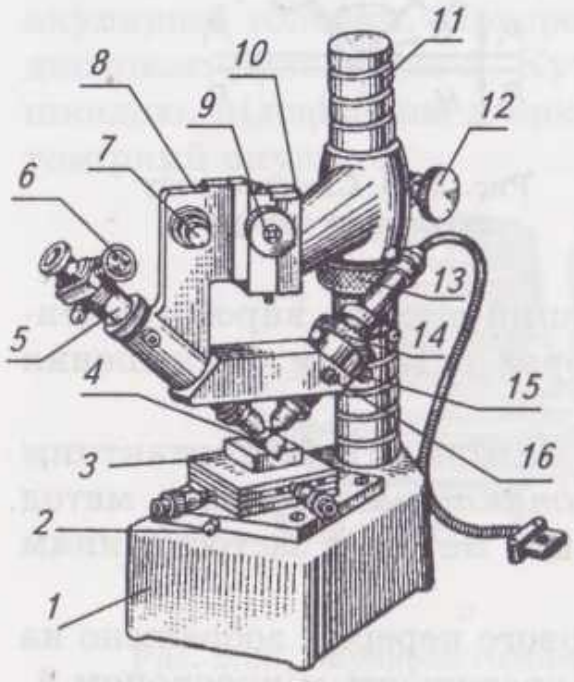


Рис. 2.41. Подвійний мікроскоп МИС-II

Освітлювальний тубус споряджено регулювальним кільцем *15* і гвинтом *16*. Стіл переміщують двома мікрометричними головками в двох взаємно перпендикулярних напрямках. Крон-

шейки *10* переміщують по стояку за допомогою гайки *13* і закріплюють стопорним гвинтом *12*.

Межі вимірювання висоти нерівності R_z – від 80 до 1,6 мкм. Похибка приладу – від ±4 до ±24%. Збільшення мікрооб'єктива – $5{,}8^x$...$34{,}5^x$. Загальне збільшення приладу – 87^x...517^x.

До контактних приладів для вимірювання шорсткості поверхонь належать щупові (профілометри і профілографи).

До індуктивних приладів належать моделі: 201, 240, 252, 261, "Калибр-ВЭИ"; перебувають в експлуатації, але вже не випускаються інструментальною промисловістю профілометри КВ-7, ВЧ-2, ДБ-1.

Зазначимо, що у виробничих умовах доволі поширений метод контролю шорсткості поверхні порівнянням виробу з еталонованою деталлю або зі стандартним зразком шорсткості. Цей метод не дає числової оцінки шорсткості, але дає змогу робити якісну оцінку. Візуально або на дотик, за допомогою лупи чи спеціального мікроскопа поверхню деталі порівнюють з поверхнею зразка (еталона).

Обладнання, матеріали та інструмент

1. Мікроскоп великий інструментальний БМИ.
2. Подвійний мікроскоп МИС-II.
3. Плоскопаралельні кінцеві міри довжини.
4. Еталони шорсткості поверхні.
5. Нарізний калібр-пробка, деталі з нарізною поверхнею.
6. Плакати, таблиці граничних розмірів і відхилів діаметрів вирізей, калібрів на їх виготовлення.

Вимірювання на інструментальному мікроскопі

Підготовку мікроскопа (див. рис. 2.37) до вимірювання здійснюють у такій послідовності:

1. Перевіряють правильність положення осі центрів (при базуванні деталі на центри).
2. Встановлюють деталь у центри для подальшого контролю.
3. Досягають чіткого зображення профілю деталі в окулярі мікроскопа (переміщенням поворотного стола *3*, тубуса *7* і об'єктива *8*).
4. Поворотом гайки *5* оптичного лімба (див. рис. 2.38) суміщають нуль рухомої шкали кутомірного окуляра з нулем нерухомої шкали мікроскопа.

5. Суміщають горизонтальну лінію штрихової пластини з віссю контрольованої деталі або з її зовнішнім діаметром (поворотом столика мікроскопа) і стопорять поворотний столик.

Вимірювання параметрів нарізного калібра-пробки: зовнішнього та внутрішнього діаметрів нарізі (калібра-пробки) [16, 42]

1. Суміщають мікроголовкою *12* (див. рис. 2.37) горизонтальну лінію штрихової пластини з виступами нарізі (I положення, рис. 2.42) і за ноніусом механізму поперечного переміщення стола зчитують значення заміру.

2. Переміщують столик з деталлю до суміщення виступів нарізі з протилежного боку з горизонтальною лінією (II положення, рис. 2.42) і за ноніусом механізму поперечного переміщення стола зчитують значення заміру. Зовнішній діаметр нарізі d дорівнює різниці відліків (I і II положень, рис. 2.42).

Методика заміру внутрішнього діаметра нарізі d_1 аналогічна заміру зовнішнього діаметра d. Внутрішній діаметр нарізі d_1 дорівнює різниці відліків (III і IV положень, рис. 2.42).

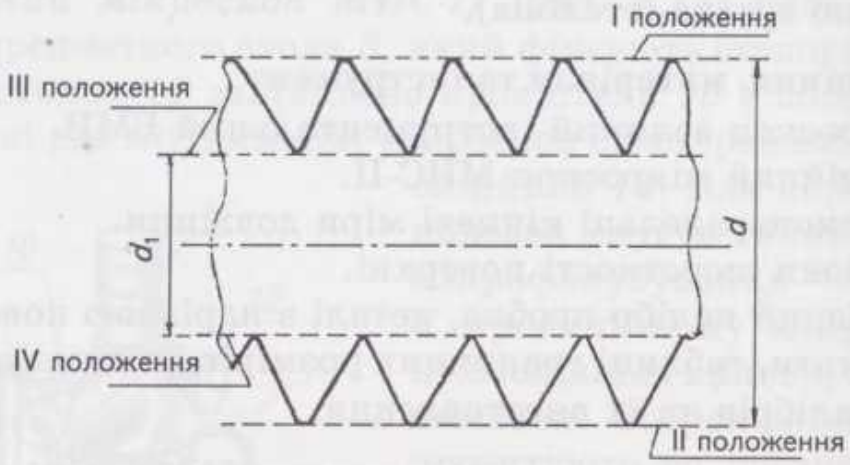


Рис. 2.42. Вимірювання зовнішнього та внутрішнього діаметрів нарізі

Вимірювання середнього діаметра нарізі

1. Поворотом гайки оптичного лімба *5* мікроскопа (див. рис. 2.38) суміщують вертикальну пунктирну лінію штрихової пластини з лівого боку профілю нарізі (I положення, рис. 2.43) і на лімбі механізму поперечного переміщення стола зчитують значення заміру.

2. Переміщуючи стіл мікроскопа (див. рис. 2.37), мікрометричною головкою *12* суміщують пунктирну лінію з правим боком профілю нарізі (II положення, рис. 2.43) і зчитують значення заміру. Середній діаметр нарізі $d_{2л}$ дорівнює різниці

положень (I і II положень, рис. 2.43). Аналогічно вимірюють середній діаметр $d_{2п}$. Він дорівнює різниці між відліками (III і IV положення, рис. 2.43). Дійсний середній діаметр нарізі можна обчислити за формулою:

$$Д_{2д} = \frac{d_{2л} + d_{2п}}{2}. \qquad (2.11)$$

Вимірювання кроку нарізі

1. Поздовжнім переміщенням столика й поворотом гайки мікрометричного лімба суміщають вертикальну пунктирну лінію окулярної сітки з лівим боком профілю крайнього правого витка (I положення, рис. 2.44) і за лімбом механізму поздовжнього переміщення стола зчитують значення першого заміру.

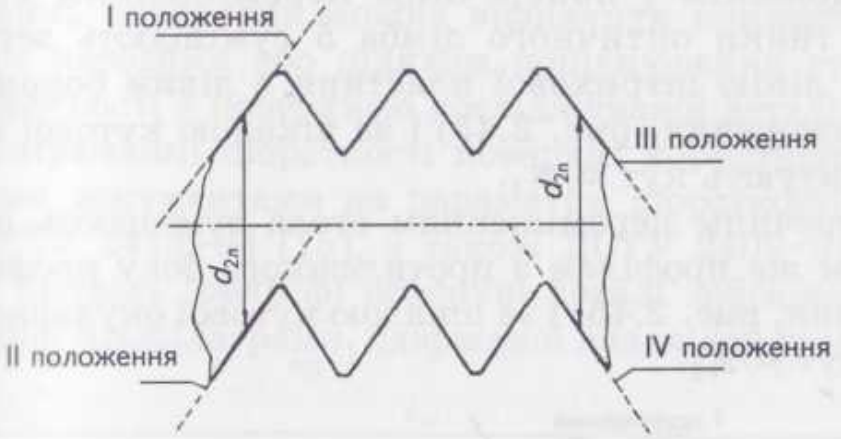


Рис. 2.43. Вимірювання середнього діаметра нарізі

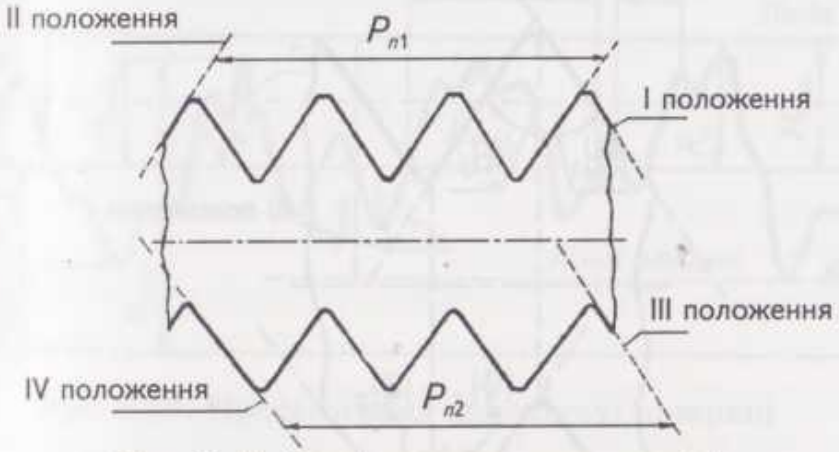


Рис. 2.44. Вимірювання кроку нарізі

2. Переміщують стіл до суміщення пунктирної лінії з лівим боком профілю крайнього лівого витка нарізі (II положення, рис. 2.44) і за лімбом механізму поздовжнього переміщення стола зчитують значення другого заміру (II положення). Різниця між

першим і другим відліками дорівнює n кроків нарізі по лівому боці профілю (P_{n1}).

3. Аналогічні вимірювання виконують і для правого боку профілю нарізі (III–IV положення, рис. 2.44), де визначають n кроків нарізі по правому боці профілю P_{n2}.

Середній крок нарізі обчислюють за формулою

$$P_c = \frac{P_{n1} + P_{n2}}{n_1 + n_2}. \qquad (2.12)$$

Вимірювання половини кута профілю нарізі

1. Поворотом гайки оптичного лімба *5* (див. рис. 2.38) суміщають нуль рухомої шкали з нулем нерухомої шкали кутомірного окуляра мікроскопа.

2. Поздовжнім і поперечним переміщенням столика та поворотом гайки оптичного лімба *5* суміщають вертикальну пунктирну лінію штрихової пластини з лівим боком профілю нарізі (I положення, рис. 2.45) і за шкалою кутової окулярної головки зчитують кут $|\alpha/2|_1$.

3. Поперечним переміщенням стола суміщають пунктирну лінію з цим же профілем з протилежного боку профілю нарізі (II положення, рис. 2.45) і за шкалою кутової окулярної головки зчитують кут $|\alpha/2|_2$.

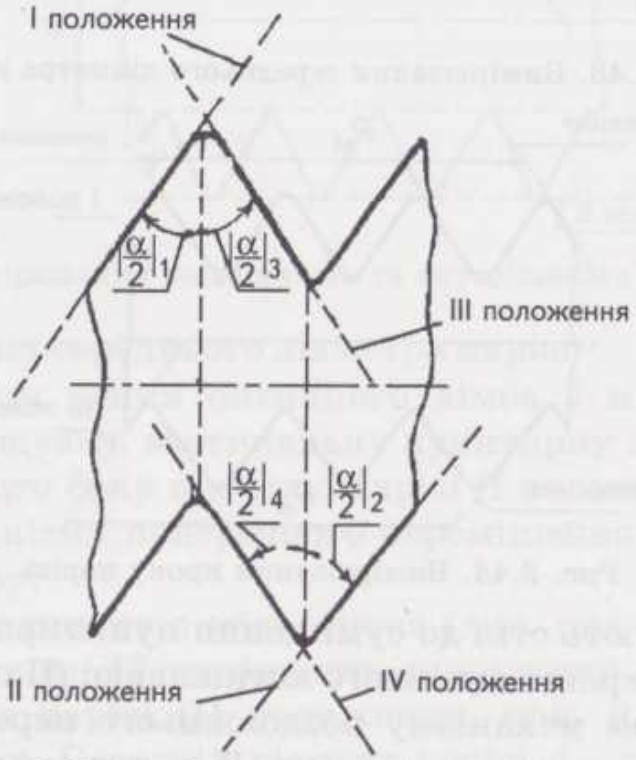


Рис. 2.45. Вимірювання кутів профілю нарізі

Аналогічні заміри виконують і для правого боку кута профілю (III і IV положення, рис. 2.45), де визначають кути $|\alpha/2|_3$ і $|\alpha/2|_4$. Половину кута профілю лівого та правого боків визначають за формулами

$$\alpha/2л = \frac{|\alpha/2|_1 + |\alpha/2|_2}{2}; \quad \alpha/2п = \frac{|\alpha/2|_3 + |\alpha/2|_4}{2}. \qquad (2.13)$$

Відхил половини кута профілю в нарізі обчислюють за формулою

$$\Delta\alpha/2 = \frac{|\Delta\alpha/2л| + |\Delta\alpha/2|}{2}. \qquad (2.14)$$

Вимірювання параметрів шорскості поверхні

Шорсткість поверхонь можна визначити контактним і безконтактним методами або шляхом порівнювання стандартних зразків шорсткості з поверхнею досліджуваної деталі.

При вимірюванні шорсткості поверхні користуються регламентованими документами на параметри шорсткості поверхні, зокрема ДСТУ 2413–94 [15], а також ДСТУ 2409–94 [40]. Характерний профіль (рельєф) поверхні деталі зображено на рис. 2.46 у вигляді профілограми, одержаної внаслідок вимірювання.

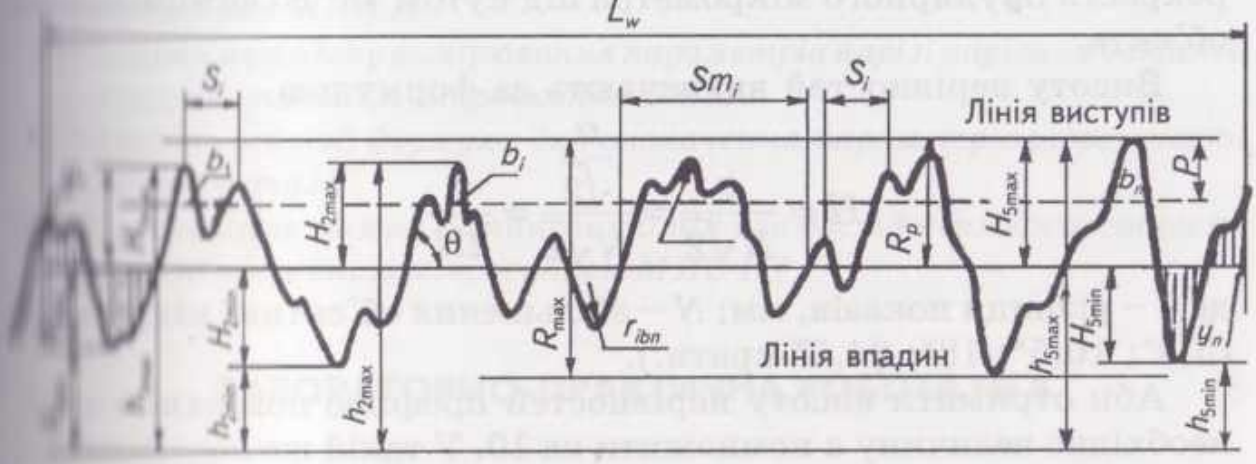


Рис. 2.46. Профілограма шорсткості поверхні

Вимірювання шорсткості поверхні деталі подвійним мікроскопом

1. Протерту тканиною деталь встановлюють на предметний столик *2* (див. рис. 2.41), потім за допомогою гвинта тонкої подачі *6* в окулярі подвійного мікроскопа наводять різкість зображення.

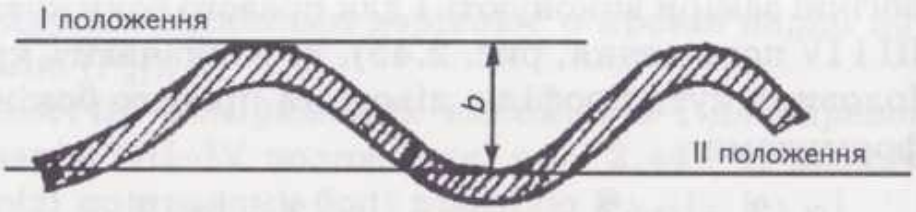


Рис. 2.47. Вимірювання шорсткості поверхні

2. Поворотом барабана окулярного мікрометра й предметного столика суміщають горизонтальну лінію перехрестя окулярного мікрометра з вершинами мікронерівностей поверхні деталі (I положення, рис. 2.47) і на барабані зчитують числове значення першого заміру.

3. Переміщенням барабана окулярного мікрометра суміщають горизонтальну лінію перехрестя з впадинами мікронерівностей поверхні деталі (II положення, рис. 2.47) і зчитують числове значення другого заміру.

4. Визначають різницю показів a на барабані другого заміру за формулою

$$a = b\sqrt{2}, \tag{2.15}$$

де b – величина зображення нерівностей профілю в площині сітки окуляра; $\sqrt{2}$ – множник, зумовлений переміщенням перехрестя окулярного мікрометра під кутом 45° до вимірюваного об'єкта.

Висоту нерівностей визначають за формулою

$$H = \frac{b}{N\sqrt{2}} = \frac{\frac{\alpha}{\sqrt{2}}}{N\sqrt{2}} = \frac{\alpha}{2N}, \tag{2.16}$$

де a – різниця показів, мм; N – збільшення об'єктива мікроскопа (5,9$^{\times}$; 10,5$^{\times}$; 18$^{\times}$; 34,5$^{\times}$ кратн.).

Аби отримати висоту нерівностей профілю поверхні в мкм, необхідно величину a помножити на 10. У такій же послідовності виконують десять замірів у різних місцях деталі.

Висоту нерівностей профілю поверхні деталі за десятьма точками в межах базової довжини визначають за формулою

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^{5}\left|H_{\max_i}\right| + \sum_{i=1}^{5}\left|H_{\min_i}\right|}{5}, \tag{2.17}$$

H_1, H_2 ... H_5 – висота нерівностей профілю за кожним заміром; 5 – кількість нерівностей профілю; H_{max_i} – висота i-го найбільшого виступу нерівностей профілю; H_{min_i} – глибина i-ї найбільшої впадини нерівностей профілю (ГОСТ 2789–73 [39]).

5. За виміряними значеннями R_z з таблиць встановлюють клас шорсткості досліджуваної поверхні деталі.

Зміст звіту

1. Заповнити звітну форму 7 до лабораторних робіт результатами вимірювань (завдання 1, 2).

2. Заповнити таблицю метрологічних характеристик інструментального мікроскопа БМИ і подвійного мікроскопа МИС-II (звітна форма 7).

3. Виконати оптичну схему мікроскопів БМИ і МИС-II.

Контрольні запитання та завдання

1. *Класифікуйте мікроскопи (вимірювальні та спеціальні).*
2. *Опишіть будову та принцип роботи вимірювальних мікроскопів.*
3. *Дайте метрологічну характеристику вимірювальних мікроскопів.*
4. *Які ви знаєте засоби вимірювання шорсткості поверхонь деталей?*
5. *Назвіть методи вимірювання шорсткості поверхонь деталей.*
6. *Опишіть методику вимірювання шорсткості поверхонь подвійним мікроскопом МИС-II.*
7. *Опишіть методику вимірювання параметрів нарізі нарізних деталей інструментальним мікроскопом БМИ.*
8. *Наведіть основні формули для визначення параметрів шорсткості поверхні деталі.*
9. *Яку точність можна встановити під час дослідження жорсткості поверхні подвійним мікроскопом МИС-II?*

ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

2.3.8. ВИМІРЮВАННЯ ТА КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Мета роботи – ознайомитися зі стандартом системи допусків для зубчастих коліс, а також набути практичних навиків щодо користування приладами з вимірювання та контролю елементів зубчастих коліс.

Загальні відомості

Точність зубчастих коліс, згідно з ДСТУ 3423–96 [22, 23], характеризують ступені точності, які передбачають перелік показників точності за трьома чинними нормами точності.

До комплексних норм оцінки точності зубчастих коліс і передач належать: кінематична норма точності; норма плавності роботи; норма контакту зубців зубчастих коліс у передачі. Кожну із норм характеризує комплекс показників точності як для колеса, так і для передачі.

Для встановлення виду спряжень зубців зубчастих коліс у передачі за ГОСТ 1643–81 [24] маємо норму гарантованого бічного зазору $j_{n\min}$.

Комплексними показниками є найбільша кінематична похибка колеса F'_{ir} і передачі F'_{ior}, циклічна похибка колеса f_{zkr} і передачі f_{zkor}, циклічна похибка зубцевої частоти в передачі f_{zzor}, сумарна площина контакту й гарантований бічний зазор $j_{n\min}$, що характеризує вид спряження в передачі.

Контроль зубчастих коліс і передач можна здійснювати за всіма показниками комплексу або лише за окремими. При виборі комплексних норм для контролю враховують експлуатаційне призначення зубчастих коліс чи передач (кінематичні або відлікові, швидкісні, силові).

Відповідно до експлуатаційних вимог усі параметри точності зубчастих коліс і передач поділено на три групи: параметри, що забезпечують кінематичну точність; параметри, що забезпечують плавність роботи, і параметри, що забезпечують повноту контакту зубців. Для контролю зубчастих коліс передбачено низку контрольно-вимірювальних засобів (приладів).

За конструкцією прилади бувають: стаціонарні й накладальні.

За контрольними показниками: прилади для контролю похибок кроку; прилади для контролю радіального биття, коливання міжцентрової відстані тощо.

До найбільш поширених контрольно-вимірювальних засобів для контролю циліндричних зубчастих коліс у дрібносерійному та ремонтному виробництві належать: штангензубоміри, мікрометри зубомірні (МЗ), нормалеміри (мод. 5В-5047-25, 5В-5047-50), крокоміри (мод. КШ-15, 5В-500ІМ), евольвентоміри

мод. 5В-5032, КЕУ-СМБ), оптичні ділильні головки, прилади для контролю елементів зубчастих коліс (мод. БВ-5915, МК-4005, УЗП-400) та ін.

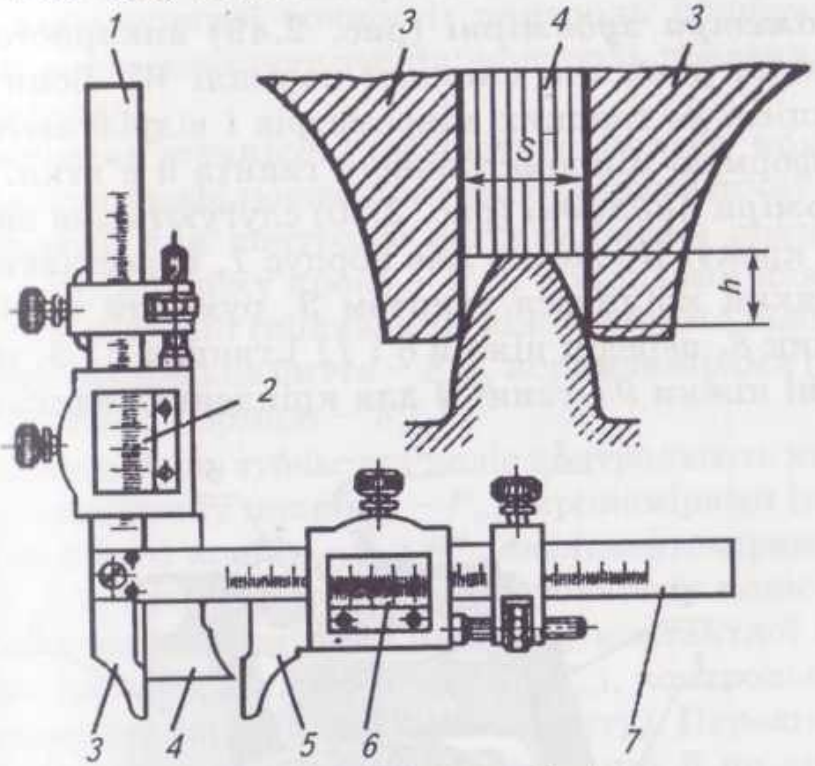


Рис. 2.48. Штангензубомір

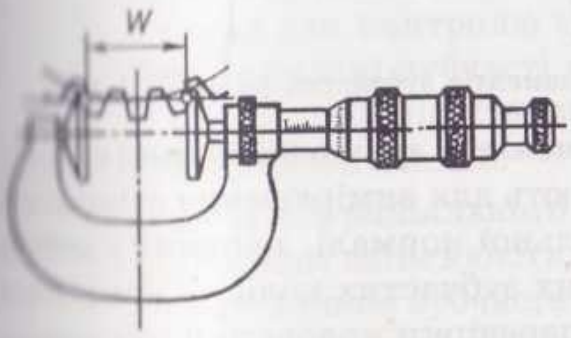


Рис. 2.49. Мікрометр зубомірний

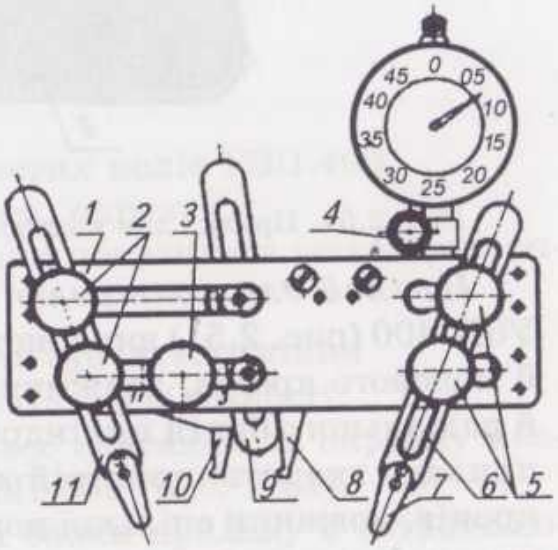


Рис. 2.50. Крокомір накладний

Штангензубоміри (рис. 2.48) слугують для вимірювання товщини зубця по постійній хорді. Штангензубомір має дві взаємно перпендикулярні шкали *1* і *7*: одну для визначення

висоти головки зубця h, а другу – для вимірювання довжини постійної хорди S. Позиції *3* і *5* – вимірювальні губки, *4* – упор, *2* і *6* – ноніуси зі шкалою вимірювання.

Мікрометри зубомірні (рис. 2.49) використовують для вимірювання довжини спільної нормалі W. Вони подібні за конструкцією до гладких мікрометрів і відрізняються від них лише за формою мікрометричного гвинта й п'ятки.

Крокоміри накладні (рис. 2.50) слугують для вимірювання колового кроку. Крокомір має корпус *1*, переставний наконечник *10*, який кріпиться гвинтом *3*, рухомий вимірювальний наконечник *8*, передні ніжки *6* і *11* і гвинти *2* і *5*, торцеві упори *7*, задні ніжки *9* і гвинт *4* для кріплення індикатора.

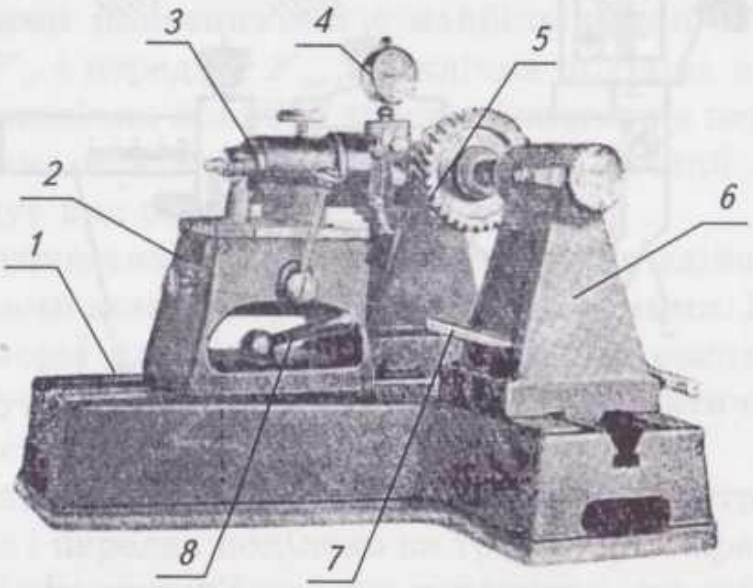


Рис. 2.51. Прилад для контролю елементів зубчастих коліс УЗП-400

Прилад для контролю елементів зубчастого вінця типу УЗП-400 (рис. 2.51) використовують для вимірювання основного й колового кроків, довжини спільної нормалі, напрямку зубця й радіального биття циліндричних зубчастих коліс. У комплект приладу входять: пристрій для перевірки колового й основного кроків, довжини спільної нормалі колеса; пристрій для перевірки напрямку зубця; пристрій для перевірки радіального биття зубчастого вінця.

Прилад складається з основи *1*, вимірювальної бабки *2*, рукоятки *3* відведення каретки, передньої бабки *5*, задньої бабки *6*, індикатора *4*, рукояток кріплення бабок *7* і *8*.

Контроль зубчастих коліс може бути приймальним (кінцевим) і технологічним (на стадії виготовлення). Залежно від виду контролю нормами точності зубчастих коліс передбачено: контроль кінематичної точності; контроль плавності роботи; контроль повного контакту зубців; контроль показників бічного зазору у передачі.

Кінематичну точність зубчастого колеса контролюють приладами однопрофільного контролю (кінематичну похибку – F'_i), приладами для контролю нагромадженої похибки кроку (нагромаджену похибку кроку – F_{pr}), приладами для контролю міжцентрової відстані (коливання міжцентрової відстані – f''_{ir}), биттемірами (радіальне биття – F_{rr}), нормалемірами (коливання довжини спільної нормалі – $F_{w\sigma r}$).

Плавність роботи зубчастих коліс контролюють хвилемірами (миттєву кінематичну похибку – f'_{ir}), крокомірами (похибку основного і колового кроків – f_{ir} і f_{pr}), евольвентомірами (похибку профілю – f_{fr}). *Точність контакту* зубчастих коліс в передачі контролюють контактомірами (похибку контактної лінії – $F_{\kappa r}$), ходомірами (похибку напрямку зуба – $F_{\beta r}$), контрольно-обкатними приладами (сумарну площину контакту). Перелічені порожнини вимірюються у відсотках по довжині й по висоті бічної поверхні зубця.

Обладнання, матеріали та інструмент

1. Штангензубомір.
2. Крокомір КМ-15.
3. Прилад для контролю зубчастих коліс УЗП-400.
4. Вимірювальні зубчасті колеса, оправки.
5. Плакати, таблиці стандартних показників усіх норм точності для зубчастих коліс.

Вимірювання радіального биття зубчастого вінця

Вимірювання здійснюють у такій послідовності:

1. Вимірювальне зубчасте колесо одягають на оправку і базують на центри приладу мод. УЗП-400 (рис. 2.51).
2. У шпиндель вимірювальної бабки приладу *2* встановлюють конічну або призматичну модульну оправку відповідно до модуля зубчастого колеса.
3. Підводять вимірювальну бабку до зчеплення модульної оправки із зубчастим колесом, створюючи натяг індикатора поворотом стрілки на 0,5...1 оберт, потім фіксують бабку стопором *8*.

4. Встановлюють індикатор "на нуль" і роблять мітку на торці колеса навпроти впадини, де встановлено модульну оправку (ця впадина при замірах є першою для відліку вимірювань).

5. Відводять рукояткою *3* вимірювальну бабку з модульною оправкою і вручну повертають зубчасте колесо на один зубець, відтак підводять модульну оправку у зчеплення із наступною впадиною; потім за шкалою індикатора зчитують числове значення заміру, яке записують у протоколі замірів.

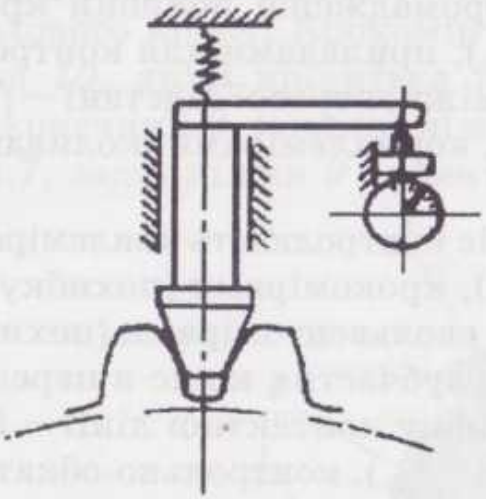


Рис. 2.52. Вимірювання радіального биття зубчастого вінця

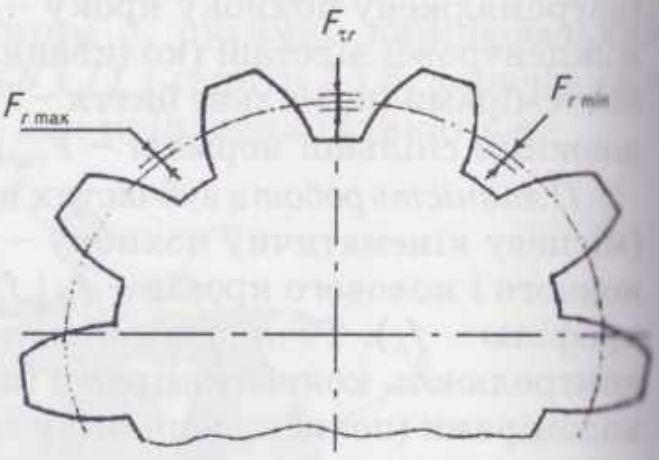


Рис. 2.53. Визначення радіального биття зубчастого колеса

6. У такій же послідовності виконують заміри для кожної впадини зубця по довжині кола зубчастого колеса.

Схему вимірювання радіального биття вінця циліндричного зубчастого колеса зображено на рис. 2.52. Радіальне биття зубчастого вінця F_{tr} дорівнює алгебраїчній різниці найбільших додатних ($F_{r\max}$) і найбільших від'ємних ($-F_{r\max}$) відхилів від нульового значення за один повний оберт зубчастого колеса (рис. 2.53).

$$F_{tr} = F_{r\max} - (-F_{r\max}). \qquad (2.18)$$

Радіальне биття зубчастого вінця можна також зобразити круговою діаграмою у вигляді променів (кількість яких дорівнює кількості впадин), де відкладають у масштабі покази індикатора, отримані під час вимірювання.

Радіальне биття зубчастого вінця можна також вимірювати биттємірами мод. 25002; Б-10 М та ін.

Принцип вимірювання биття зубчастого вінця циліндричного колеса биттєміром полягає в доборі заданого діаметра кульки для

підпружиненого штока, яка повинна дотикатися у двох точках профілю на ділильному діаметрі такого колеса.

Вимірювання похибки колового кроку і нагромадженої похибки колового кроку зубчастого вінця

Ці вимірювання здійснюють у такій послідовності:

1. Вимірювальне зубчасте колесо базують на оправку і встановлюють у гладкі центри приладу, мод. УЗП-400 (див. рис. 2.51).

2. У шпиндель вимірювальної бабки *2* встановлюють пристрій для заміру колового кроку.

3. Кулькові наконечники пристрою добирають відповідно до модуля зубчастого колеса.

4. Рукояткою *3* підводять вимірювальну бабку з кульковими наконечниками до контакту із однойменними профілями двох суміжних зубців; потім вимірювальну бабку фіксують стопором *8*.

5. Налагоджують пружний упор приладу до контакту з поверхнею колеса, при цьому забезпечуючи натяг індикатора поворотом стрілки на 0,5...1 оберт; після цього фіксують упор у даному положенні.

6. Встановлюють індикатор *4* "на нуль" і роблять мітку на торці зубчастого колеса між вимірювальними кульковими наконечниками (даний крок при замірах є першим); потім фіксують вимірювальну бабку стопором *8*.

7. Відводять вимірювальну бабку і пружний упор за допомогою рукоятки *3*, вручну повертають зубчасте колесо на один зубець, потім підводять вимірювальні кулькові наконечники до контакту з однойменними профілями двох наступних зубців, а потім за шкалою індикатора зчитують значення заміру, яке записують у протоколі замірів (завдання 2 звітної форми 8 до лабораторних робіт).

У такій самій послідовності виконують заміри похибок усіх кроків і їх значення заносять у протокол замірів.

Схему вимірювання колового кроку зображено на рис. 2.54.

8. Похибки сусідніх колових кроків f_p ілюструє схема на рис. 2.55, їх значення обчислюють за формулою

$$f_p = \Delta P = P_1 - P_2, \qquad (2.19)$$

де $P_1 - P_2$ – різниця значень між двома сусідніми кроками.

9. Нагромаджену похибку колового кроку для зубчастого колеса визначають за формулою

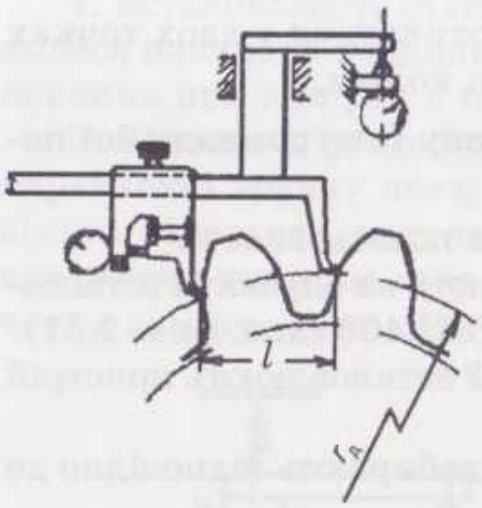


Рис. 2.54. Вимірювання колового кроку в зубчастому колесі

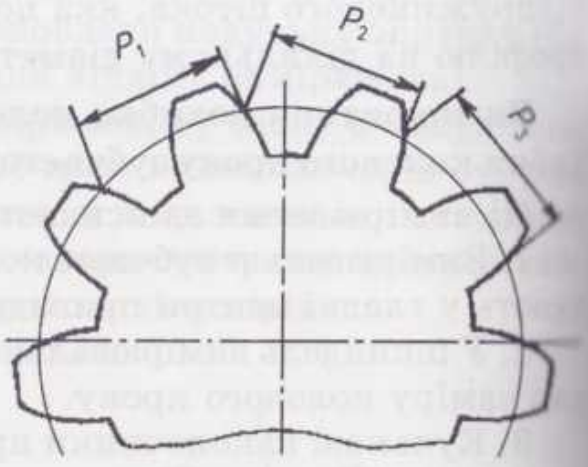


Рис. 2.55. Колові кроки зубчастого колеса

$$F_{pr} = F_{pr\max} + (-F_{pr\max}), \qquad (2.20)$$

де $F_{pr\max}$ – найбільша додатна нагромаджена похибка; $-F_{pr\max}$ – найбільша від'ємна нагромаджена похибка.

Нагромаджену похибку колового кроку по кожному зубцю визначають шляхом послідовного алгебраїчного підсумовування значень всіх замірів.

Нагромаджену похибку кроку F_{pr} зубчастого колеса можна також визначити з графіка (рис. 2.56), що характеризує зміну нагромадженої похибки колового кроку при переході від кроку

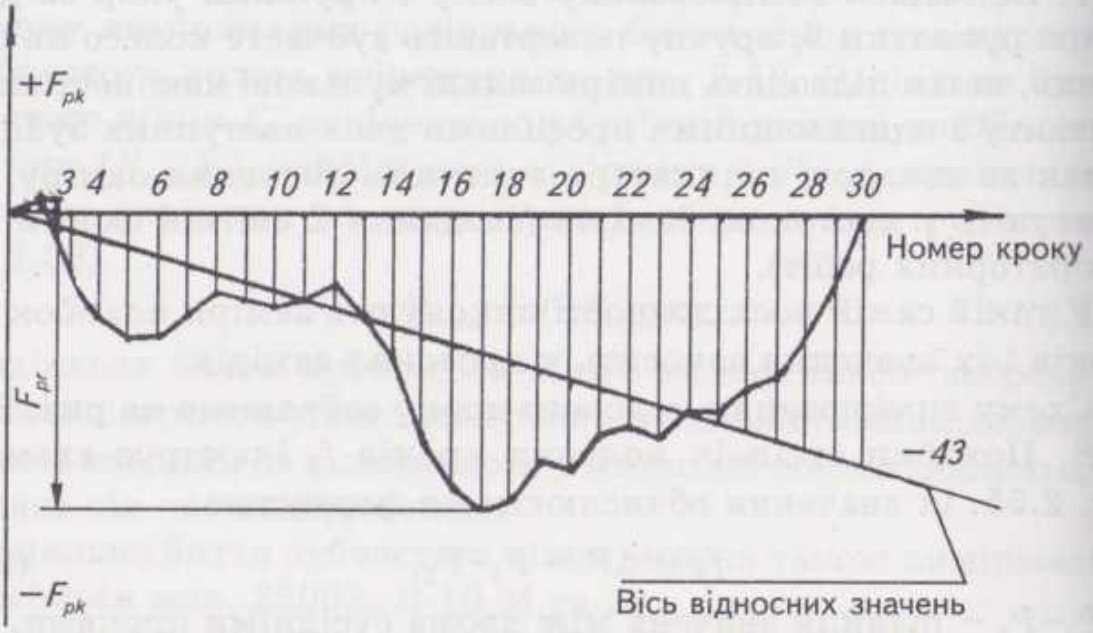


Рис. 2.56. Графік зміни нагромадженої похибки колового кроку заданої кількості кроків зубців зубчастого колеса

ня кроку, який побудовано за даними табл. 2.1 для заданої кількості зубців.

Таблиця 2.1

Значення похибки кроку та нагромадженої похибки кроку

Номер кроку	Похибка кроку, мкм	Нагромаджена похибка кроку, мкм	Номер кроку	Похибка кроку, мкм	Нагромаджена похибка кроку, мкм
1	0	0	16	−5	−24
2	+6	+6	17	−3	−27
3	−13	−7	18	+4	−23
4	−5	−12	19	+7	−16
5	−3	−15	20	0	−16
6	+2	−13	21	+9	−7
7	+6	−7	22	+2	−5
8	+4	−3	23	−1	−6
9	0	−3	24	+5	−1
10	−2	−2	25	+3	+2
11	+1	−1	26	+6	+8
12	+6	+5	27	+2	+10
13	−5	0	28	+8	+18
14	−5	−5	29	+12	+30
15	−14	−19	30	+13	+43

Значення нагромадженої похибки кроку F_{pi} відкладають від осі відносних значень, нахил якої визначається величиною F_{pk} на останньому кроці, відкладеному від 30-го кроку з протилежним знаком.

Зміст звіту

1. Заповнити звітну форму 8 результатами вимірювань (завдання 1,2).

2. Побудувати в полярних координатах діаграму радіального биття зубчастого вінця колеса (рис. 2.57, звітна форма 8).

3. Побудувати в прямокутних координатах діаграму нагромадженої похибки кроку зубчастого циліндричного колеса (рис. 2.58, звітна форма 8).

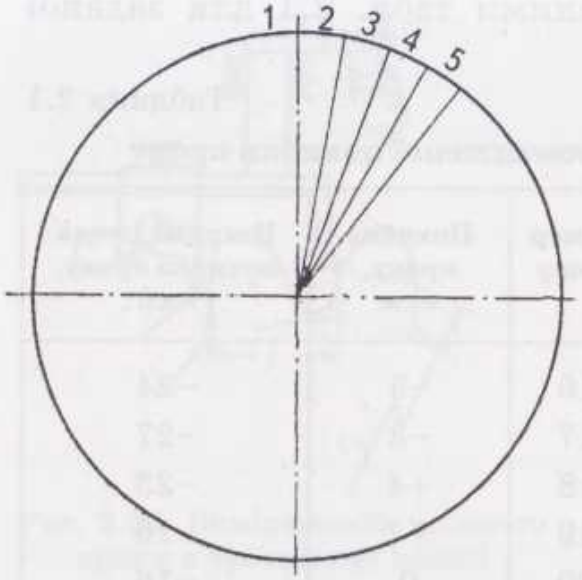


Рис. 2.57. Діаграма зміни радіального биття зубчастого вінця від кількості кроків зубців для циліндричного колеса (у полярних координатах)

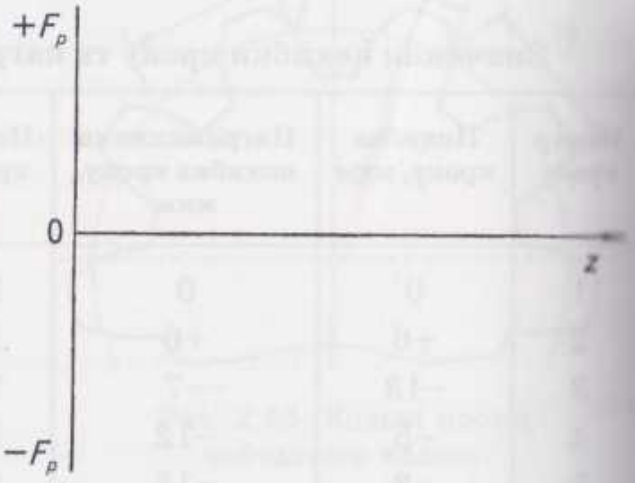


Рис. 2.58. Графік зміни нагромадженої похибки колового кроку від кількості кроків зубців для циліндричного колеса

Усі наведені схеми, ескізи, схемні зображення різних видів, спряжень машинобудівних деталей, вузлів і машин виконувати згідно з вимогами ЄСКД та нормативних документів України [51, 52].

Контрольні запитання та завдання

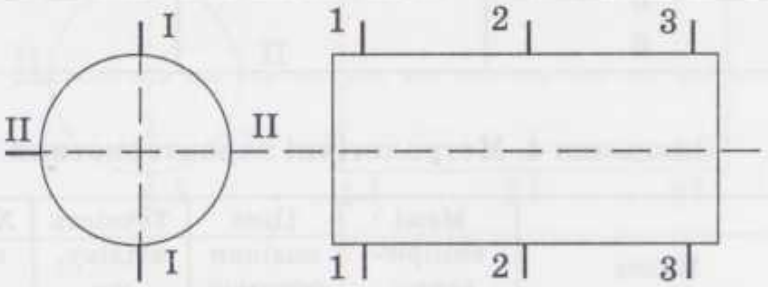
1. *Які ви знаєте ступені точності та норми точності зубчастих коліс і передач?*
2. *Окресліть параметри вінця зубчастого колеса.*
3. *Назвіть комплекси контролю циліндричних зубчастих коліс і передач.*
4. *Які ви знаєте вимірювальні засоби для контролю циліндричних зубчастих коліс?*
5. *Дайте конструктивну й метрологічну характеристики вимірювальних засобів для контролю циліндричних зубчастих коліс.*
6. *Опишіть методику вимірювання параметрів зубчастого вінця (радіального биття, похибки кроку, нагромадженої похибки кроку) для циліндричних зубчастих коліс.*

Звітна форма 1

Назва кафедри, лабораторії з метрології	Лабораторно-практична робота № 1 Вимірювання деталей штангенінструментами	Група, прізвище

Завдання 1. Вимірювання деталей штангенциркулем

Схема вимірювання



Результати вимірювання деталей, мм

Перерізи	Розміри в напрямах		Граничні розміри за стандартом		Відхили від правильної геометричної форми	Висновки про придатність
	I	II	найбільше	найменше		
1					Овальність Конусність Опуклість Увігнутість	
2						
3						
1					Овальність Конусність Опуклість Увігнутість	
2						
3						

Завдання 2. Вимірювання деталей штангенглибиномірами

Глибина впадин, мм	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5

Завдання 3. Вимірювання деталей штангенрейсмусом

Номер шатунної шийки	Покази штангенрейсмуса, мм		Радіус кривошипа, мм
	при верхньому положенні, А	при нижньому положенні, В	
1			
2			
3			
4			
5			
6			

Завдання 4. Метрологічні характеристики штангенінструментів

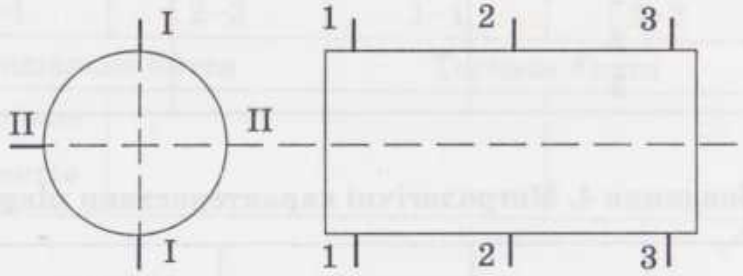
Назва інструмента	Межі вимірювання, мм	Ціна поділки основної шкали, мм	Точність відліку, мм	Характеристика шкали ноніуса (n,$в$,c,l)	Граничні похибки інструментів ($\delta_{інстр}$), мкм
Штанген-циркуль					
Штанген-глибиномір					
Штангенрейсмус					

Звітна форма 2

Назва кафедри, лабораторії з метрології	**Лабораторно-практична робота № 2 Вимірювання деталей мікрометричними інструментами**	**Група, прізвище**

Завдання 1. Вимірювання деталей гладким мікрометром

Схема вимірювання



Результати вимірювання деталей, мм

Переріз	Розміри в напрямах		Граничні розміри за стандартом		Відхили від правильної геометричної форми	Висновки про придатність
	I	II	найбільше	найменше		
1					Овальність Конусність Опуклість Увігнутість	
2						
3						
1					Овальність Конусність Опуклість Увігнутість	
2						
3						

Завдання 2. Вимірювання деталей штангенглибиномірами

Глибина впадин (отвору), мм	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5

Завдання 3. Вимірювання деталей мікрометричним нутроміром

Переріз	Розміри отворів у напрямах, мм		Висновки про придатність
	I–I	II–II	
1			
2			
3			
1			
2			
3			

Завдання 4. Метрологічні характеристики мікрометричних інструментів

Назва інструмента	Межі вимірювання, мм	Ціна поділки на барабані, мм	Ціна поділки основної шкали, мм	Граничні похибки інструментів ($\delta_{інстр}$), мкм
Мікрометр гладкий				
Мікрометричний глибиномір				
Мікрометричний нутромір				

Звітна форма 3

Назва кафедри, лабораторії з метрології	**Лабораторно-практична робота № 3 Вимірювання деталей індикаторними інструментами**	**Група, прізвище**

Завдання 1. Вимірювання радіального і торцевого биття вала

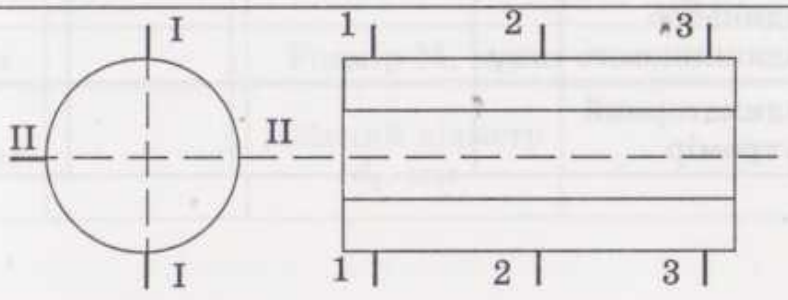
Переріз	1–1	2–2	1–1	2–2
Вид биття	Радіальне биття		Торцеве биття	
Відхили за шкалою індикатора, мм	найбільше найменше			

Завдання 2. Вимірювання конусності вала синусною лінійкою

Покази індикатора, мм		Різниця показів, мм $n = \delta - a$	Відстань між a і $в$ (l),мм	Похибка конусності ΔK, мм	Висновки про придатність
точка a	точка $в$				

Завдання 3. Вимірювання діаметрів гільз

Схема вимірювання



Результати вимірювання деталей, мм

Напрям		Переріз			Відхили від правильної геометричної форми	Висновки про придатність
		1–1	2–2	3–3		
I–I	Покази індикатора				Овальність Конусність Опуклість Увігнутість	
	Діаметр, мм					
II–II	Покази індикатора					
	Діаметр, мм					
I–I	Покази індикатора				Овальність, Конусність, Опуклість, Увігнутість	
	Діаметр, мм					
I–II	Покази індикатора					
	Діаметр, мм					

Завдання 4. Метрологічна характеристика приладів

Назва приладу	Межі вимірювання, мм	Ціна поділки, мм	Розташування атестованої ділянки	Граничні похибки інструментів ($\delta_{інстр}$), мкм
Штангенциркуль				
Мікрометр				
Індикатор годинникового типу				
Індикаторний нутромір				

Звітна форма 4

Назва кафедри, лабораторії з метрології	**Лабораторно-практична робота № 4 Вимірювання параметрів метричної нарізі й кутів у деталях спеціальними інструментами**	**Група, прізвище**

Завдання 1. Вимірювання зовнішнього та середнього діаметрів нарізі гладким і нарізним мікрометрами

Елемент нарізі	Дійсні розміри, мм	Розміри за стандартом
d, мм		
d_2, мм		
P, мм		
Позначення нарізі за стандартом		
Висновки про придатність нарізі		

Завдання 2. Вимірювання середнього діаметра нарізі (нарізної пробки) за методом трьох дротинок

Середній діаметр нарізі за стандартом	d_2, мм	Значення	Нарізний калібр-пробка	Висновки про придатність нарізного калібра-пробки за d_2
Крок нарізі	P, мм		Розмір М, мм	
Оптимальний діаметр дротинок, мм	$d_{др}$, мм		Дійсний діаметр d_2, мм	

Завдання 3. Вимірювання кутів кутоміром

Назва деталі	Кількість кутів та їх значення, град.						Допустима похибка, хв
	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	$\Delta = \Delta\alpha_т - \Delta\alpha_д$

Завдання 4. Метрологічна характеристика інструментів

Назва інструмента	Межі вимірювання, мм	Ціна поділки, мм	Гранична похибка, $\delta_{інстр}$
Мікрометр гладкий			
Мікрометр нарізний			
Індикатор годинникового типу			
Кутомір			

Звітна форма 5

Назва кафедри, лабораторії з метрології	**Лабораторно-практична робота № 5 Контроль деталей калібрами та шаблонами**	**Група, прізвище**

Завдання 1. Налагодження регульованої скоби

Розмір вала з відхилами, мм	Розміри блоків кінцевих мір, мм	Розміри кінцевих мір, які входять у блок, мм				
		1	2	3	4	5
Розміри калібрів з відхилами, мм	ПР НЕ К+ПР К-НЕ					

Завдання 2. Контроль валиків калібром-скобою

Номер партії деталей (шт.)	Результати контролю, шт.				Висновок		
	прохідна скоба		непрохідна скоба		кількість придатних валиків, шт.	брак за завищеним розміром, шт.	брак за заниженим розміром, шт.
	проходить	не проходить	проходить	не проходить			

Завдання 3. Контроль деталей калібром-пробкою

Номер партії деталей (шт.)	Результати контролю, шт.				Висновок		
	прохідна пробка		непрохідна пробка		кількість втулок, шт.	брак за завищеним розміром, шт.	брак за заниженим розміром, шт.
	проходить	не проходить	проходить	не проходить			

Завдання 4. Метрологічна характеристика плоскопаралельних кінцевих мір

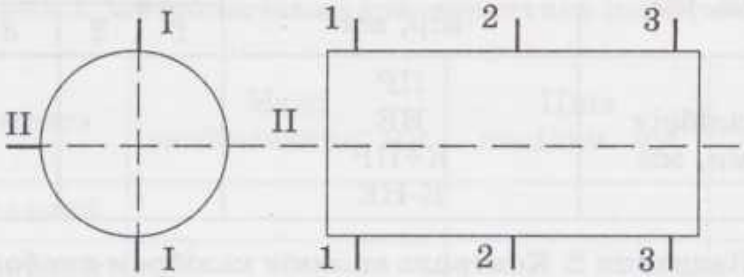
Набори кінцевих мір (номер і кількість)	Класи кінцевих мір	Розряди кінцевих мір	Матеріал кінцевих мір	Твердість, HRC	Допустимі похибки, мкм

Звітна форма 6

Назва кафедри, лабораторії з метрології	Лабораторно-практична робота № 6 Вимірювання деталей механічними і оптико-механічними засобами підвищеної точності	Група, прізвище

Завдання 1. Контроль валиків відносними методами

Схема вимірювання та ескіз вимірюваної деталі



Номер деталі Розмір за стандартом	Назва приладу	Результати вимірювання, мм						Відхили від правильної геометр. форми	Висновок про придатність
		Перерізи і напрями							
		1		2		3			
		I	II	I	II	I	II		
	Мініметр								
	Важільна скоба								
	Оптиметр								

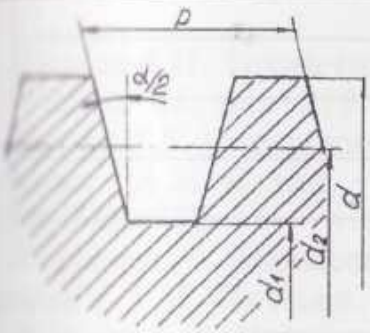
Завдання 2. Метрологічна характеристика приладів

Назва приладу	Границі вимірювання, мм		Ціна поділки шкали, мм	Вимірювальне зусилля, Н	Допустима похибка, мкм
	за шкалою	за приладом			
Мініметр					
Важільна скоба					
Оптиметр					

Звітна форма 7

Назва кафедри, лабораторії з метрології	**Лабораторно-практична робота № 7 Вимірювання розмірів і форми деталей та шорсткості їх поверхонь**	**Група, прізвище**

Завдання 1. Вимірювання параметрів нарізі інструментальним мікрометром

Елементи нарізного профілю	Дійсні розміри, мм	Розміри за стандартом, мм
	$d =$ $d_2 =$ $d_1 =$ $p =$ $\alpha_{/2л} =$ $\alpha_{/2п} =$	$d =$ $d_2 =$ $d_1 =$ $p =$ $\alpha_{/2л} =$ $\alpha_{/2п} =$

Висновок про придатність нарізі

Завдання 2. Вимірювання шорсткості поверхні подвійним мікрометром

Номер зразу	1-й відлік за шкалою окулярного мікрометра	2-й відлік за шкалою окулярного мікрометра	Різниця показів a, мкм	Висота виступів H, мкм	Висота нерівності R_z, мкм	Клас шорсткості за стандартом
1						
2						
3						
4						
5						

Завдання 3. Метрологічна характеристика приладів

Назва приладу	Межі вимірювання, мм		Точність відліку, мкм	Загальне збільшення (разів)	Допустима похибка, мкм
	у поздовжньому напрямі	у поперечному напрямі			
Інструментальний мікроскоп (ІМІ)					
Подвійний мікроскоп (МІС 11)					

Звітна форма 8

Назва кафедри, лабораторії з метрології	Лабораторно-практична робота № 8 Вимірювання та контроль параметрів зубчастих коліс	Група, прізвище

Завдання 1. Вимірювання радіального биття зубчастого вінця

Номер зубця	Відхили за шкалою індикатора, мм
1	
2	
3	
...	
30	

Радіальне биття зубчастого вінця F_{rr} =
Допустиме биття зубчастого вінця F_r =
Ступінь точності зубчастого колеса – за стандартом

Примітка: ступінь точності зубчастого колеса визначають на підставі значень похибок за вказаними показниками.

Завдання 2. Вимірювання похибки колового кроку та нагромадженої похибки колового кроку зубчастого колеса

Номер зубця	Відхили від колового кроку ΔP_i,мм	Нагромаджена похибка кроку F_{pr}, мм
1		
2		
3		
...		
30		

Найбільша різниця сусідніх колових кроків f_p =
Нагромаджена похибка колового кроку F_{pr} =
Допуски елементів зубчастого колеса F_{pr} =
Ступінь точності зубчастого колеса – за стандартом

Примітка: Ступінь точності зубчастого колеса визначають на підставі значень похибок за вказаними показниками.

Використана література

1. *Железна А.О.* Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: навч. посіб. / А.О. Железна, В.А. Курилович. – К: Вікар, 2005. – 793 с.
2. ДСТУ 2234–93. Калібри. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 17 с.
3. *Сірий І.С.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / І.С. Сірий, В.С. Колісник. – К.: Урожай, 1995. – 262 с.
4. *Якушев А.И.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1979. – С. 83–85; 190–197.
5. *Иванов А.И.* Технические измерения / А.И. Иванов. – М.: Колос, 1970. – С. 13–61, 231–279.
6. *Кутай А.К.* Справочник по производственному контролю в машиностроении / А.К. Кутай. – Л.: Машиностроение, 1975. – С. 280–305; 413–483; 648–688.
7. *Якушев А.И.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1979. – С. 88–95.
8. *Иванов А.И.* Технические измерения / А.И. Иванов. – М.: Колос, 1970. – С. 153–168.
9. *Кутай А.К.* Справочник по производственному контролю в машиностроении / А.К. Кутай. – Л.: Машиностроение, 1975. – С. 495–523.
10. ДСТУ 2500–94. Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми. – К.: Держстандарт України, 1998. – 57 с.
11. *Базієвський С.Д.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / С.Д. Базієвський, В.Ф. Дмитришин. – К.: Слово, 2004. – С. 171–175.
12. *Якушев А.И.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1979. – С. 83–85; 102–104; 132–140;145–150.
13. *Иванов А.И.* Технические измерения / А.И. Иванов. – М.: Колос, 1970. – С. 179–188; 295–302.
14. *Кутай А.К.* Справочник по производственному контролю в машиностроении / А.К. Кутай. – Л.: Машиностроение, 1975. – С. 528–646; 788–800.
15. ДСТУ 2413–94. Основні норми взаємозамінності шорсткості поверхні. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 41 с.
16. ГОСТ 24705–2004. (ИСО 724:1993). ОНВ. Резьба метрическая. Основные размеры. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 25 с.
17. ДСТУ ГОСТ 7661:2009. Глубиномеры индикаторные. Технические условия. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 5 с.

18. ГОСТ 8074–82. Микроскопы инструментальные, типы, основные параметры и размеры. Технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 23 с.

19. *Якушев А.И.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1979. – С. 283–291.

20. *Иванов А.И.* Технические измерения / А.И. Иванов. – М.: Колос, 1970. – С. 231–279.

21. *Когут М.С.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів інженерних спеціальностей освітньо-кваліфікаційного рівня "Бакалавр" / М.С. Когут. – Львів, ЛДАУ, 2006. Ч. 1. – 40 с.

22. ДСТУ 3423–96. Передачі зубчасті. Похибки та допуски. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1998. – 69 с.

23. *Гаврилюк В.І.* Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу "ВСТВ" / В.І. Гаврилюк, С.М. Кошіль. – ЛСГІ. – Дубляни, 1983: Ч. 2. – 51 с.

24. ГОСТ 1643–81. ОНВ. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 69 с.

25. *Базієвський С.Д.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / С.Д. Базієвський, В.Ф. Дмитришин. – К.: Слово, 2004. – 503 с.

26. *Гаврилюк В.І.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / В.І. Гаврилюк, М.Л. Кукляк. – К.: НМК, 1990. – 214 с.

27. *Грушецька М.Г.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / М.Г. Грушецька. – Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2004. – 136 с.

28. *Дудников А.А.* Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения / А.А. Дудников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 286 с.

29. *Когут М.С.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для студентів інженерних спеціальностей освітньо-кваліфікаційного рівня "Бакалавр" / М.С. Когут. – Львів: ЛДАУ, 2006. Ч. 2. – 38 с.

30. *Сірий І.С.* Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / І.С. Сірий, В.С. Колісник. – К.: Урожай, 1995. – 262 с.

31. *Тищенко О.Ф.* Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / О.Ф. Тищенко, А.С. Валединский. – М.: Машиностроение, 1977. – 248 с.

32. *Тюрин И.И.* Введение в метрологию / И.И. Тюрин. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 248 с.

33. *Якушев А.И.* Справочник контролера машиностроительного завода / А.И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1980. – С. 307–310.

34. ДСТУ 2681–94. Метрологія. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1996. – 72 с.

35. ДСТУ 3651.0–97. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць.

Основні положення, назви та позначення. – К.: Держстандарт України, 1999. – 38 с.

36. ДСТУ 3651.1–97. Метрологія. Одиниці фізичних величин. Вихідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення. – К.: Держстандарт України, 2000. – 94 с.

37. ДСТУ 3231:2007. Метрологія. Еталони одиниць фізичних величин. Основні положення, порядок розроблення, затвердження, реєстрації, зберігання та застосування. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 24 с.

38. *Володарський Є.Т.* Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навч. посіб. / Є.Т. Володарський, В.В. Кухарчук, В.О. Подченко, Г.Б. Сердюк. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 219 с.

39. ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 8 с.

40. ДСТУ 2409–94. Вимірювання параметрів шорсткості. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 25 с.

41. ГОСТ 9038–90. Меры длины концевые плоскопараллельные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 13 с.

42. ГОСТ 24853–91. Калибры для размеров до 500 мм. Допуски. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 15 с.

43. ДСТУ 2497–94. Основні норми взаємозамінності. Різьба і різьбові з'єднання. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 48 с.

44. ДСТУ ГОСТ 577:2009. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 11 с.

45. ГОСТ 4380–93. Микрометры со вставками. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – 20 с.

46. ГОСТ 166–89 (ИСО 3599–76). Штангенциркули. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 18 с.

47. ГОСТ 164–90. Штангенрейсмусы. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 11 с.

48. ДСТУ ГОСТ 6507:2009. Микрометры. Технические условия. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 12 с.

49. ГОСТ 162–90. Штангенглубиномеры. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 8 с.

50. *Когут М.С.* Основи взаємозамінності, стандартизації, сертифікації, акредитації та технічні вимірювання: підруч. / М.С. Когут, І.М. Лебідь, О.В. Білоус, І.Є. Кравець. – Львів: Світ, 2010. – 528 с.

51. ДСТУ ISO 129-1:2007. Кресленики технічні. Проставлення розмірів і допусків. – Ч. 1. Загальні принципи. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 30 с.

52. ДСТУ ISO 3040:2006. Кресленики технічні. Конуси. Розміри та допуски. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 10 с.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДОЛОГІЇ ВИМІРЮВАНЬ І КОНТРОЛЮ ДЕТАЛЕЙ УНІВЕРСАЛЬНИМИ ІНСТРУМЕНТАМИ ТА ПРИЛАДАМИ

У розділі показано методологічні підходи до набуття навичок учнями-початківцями виробничого навчання під час безпосереднього виконання контрольної операції з вимірювання чи контролю заданої деталі (виробу) за допомогою універсальних інструментів і приладів. Крім цього, наведено низку схем, ескізів, рисунків із конкретними поясненнями цього чи іншого методу вимірювання чи контролю з метою встановлення числового значення заданої фізичної величини. Матеріал є доповненням до розділу 2, підготовлений на основі літературних джерел [1–8], а також чинних в Україні російських ГОСТів.

3.1. ПРИЛАДИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ АБСОЛЮТНИХ ВИМІРЮВАНЬ

3.1.1. ВИМІРЮВАЛЬНІ МЕТАЛЕВІ ЛІНІЙКИ

Лінійки вимірювальні металеві штрихові (ГОСТ 427–75) використовують для безпосередніх вимірювань довжин деталей (виробів) із низькою точністю. Верхня межа вимірювання такою лінійкою – від 150 до 1000 мм. Ціна поділки – 1 мм.

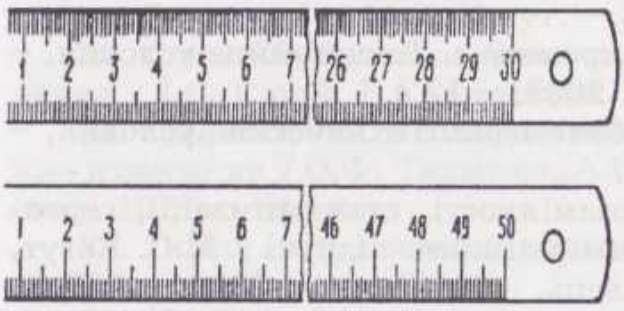


Рис. 3.1. Вимірювальні штрихові лінійки

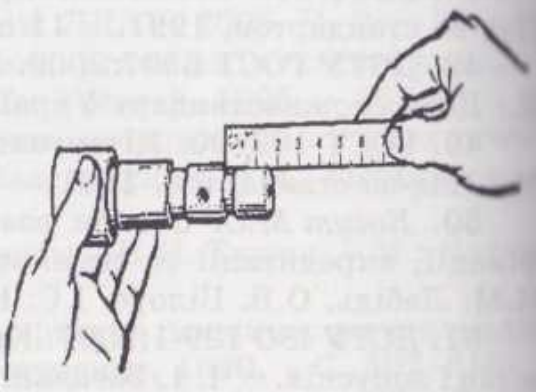


Рис. 3.2. Вимірювання деталей металевою лінійкою

Лінійки можуть мати один або два робочі торці, одну або дві шкали. Для вимірювання довжин (лінійних розмірів) використовують також рулетки. Межі вимірювань рулетками – від 1500 до 10 000 мм.

Загальний вигляд металевих штрихових лінійок зображено на рис. 3.1, а процес вимірювання циліндричної деталі за допомогою такої лінійки – на рис. 3.2. Для правильного заміру розміру її накладають на твірну циліндра без перекошування.

3.1.2. КУТНИКИ

Кутники перевірні (ГОСТ 3749–77) з кутом при вершині 90° використовують для розмітки та контролю прямих кутів деталей, а також перевірки перпендикулярності окремих їх поверхонь, під час монтажу обладнання та перевірки інструментів, приладів, верстатів, машин тощо.

Типи кутників зображено на рис. 3.3. Перш ніж застосувати кутник, його треба перевірити, порівнявши із точнішим кутником "на просвіт", тобто, чи немає щілини після базування їх на перевірну плиту.

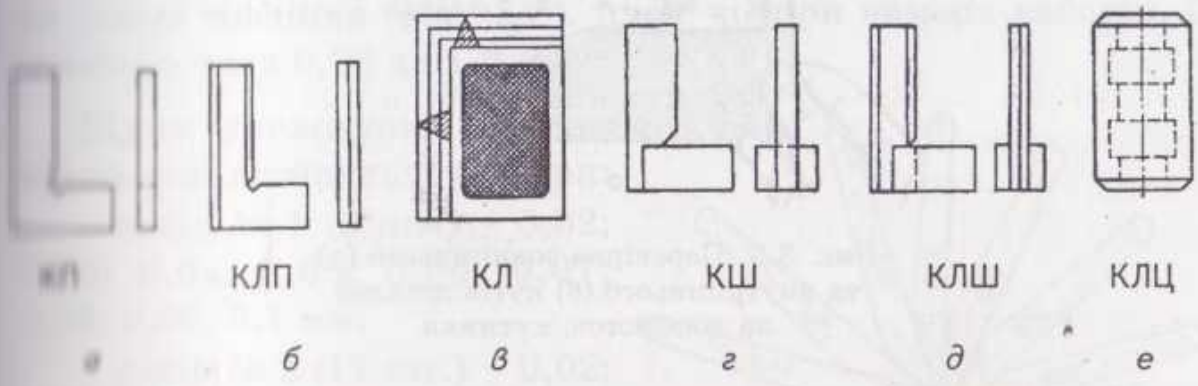


Рис. 3.3. Типи кутників: *а* – слюсарний плоский (КП); *б* – лекальний простий (КЛП); *в* – лекальний (КЛ); *г* – слюсарний із широкою основою (КШ); *д* – лекальний із широкою основою (КЛШ); *е* – лекальний циліндричний (КЛЦ)

Схеми перевірки внутрішнього та зовнішнього кутів кутника відносно лекального кутника показано на рис. 3.4, *а*, *б* відповідно. Схеми перевірки зовнішнього та внутрішнього кутів вимірюваних деталей зображено на рис. 3.5 *а*, *б* відповідно. В обох випадках робочі грані кутника повинні без зазору прилягати до поверхонь деталі.



Рис. 3.4. Перевірка внутрішнього (*а*) та зовнішнього (*б*) кутів кутника за допомогою лекального кутника

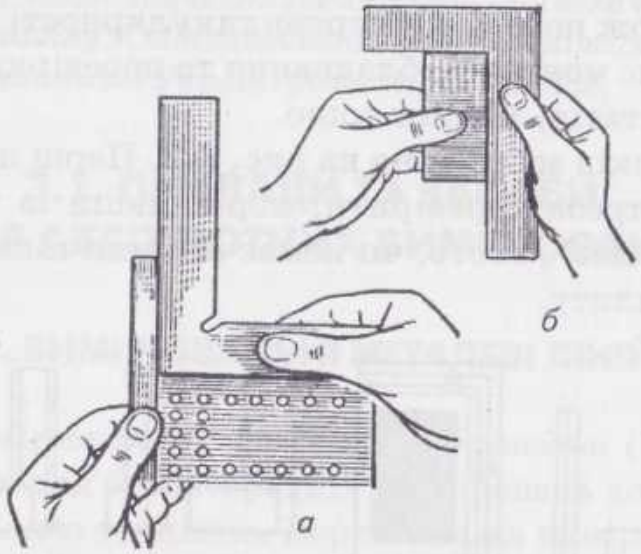
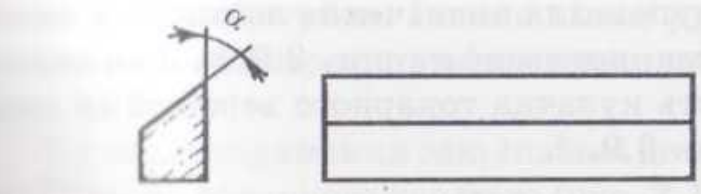


Рис. 3.5. Перевірка зовнішнього (*а*) та внутрішнього (*б*) кутів деталей за допомогою кутника

Необхідно зазначити, що для якісного контролю кутів деталей за допомогою кутників як допоміжне спорядження використовують ***перевірні лінійки*** із широкою робочою поверхнею призматичної форми прямокутного, тригранного і трапецієподібного перерізів.

Для базування деталей, які підлягають контролю, застосовують перевірні плити, здебільшого чавунні, рідше сталеві. На рис. 3.6 зображено кутові перевірні лінійки. На рис. 3.7 представлено перевірну плиту з ручками.



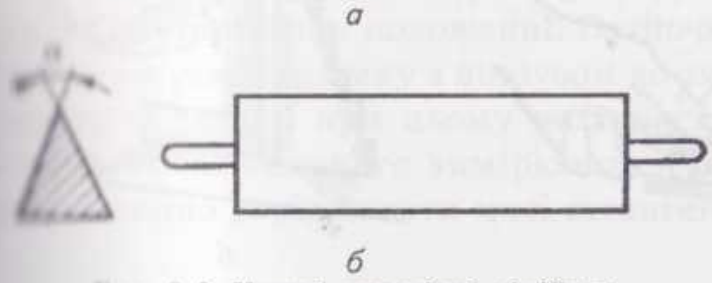


Рис. 3.6. Кутові перевірні лінійки: *а* – трапецієподібна, *б* – тригранна

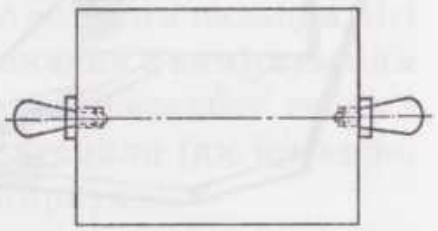


Рис. 3.7. Перевірна плита з ручками

У разі виявлення зазорів між двома поверхнями контактним методом застосовують щупи. ***Щупи*** (ТУ 2–034–225–87) – це сталеві пластини з паралельними вимірювальними площинами певної товщини й ширини. Їх комплектують наборами з певною кількістю пластин, які закріплюють в обойму у порядку зростання їхньої товщини (рис. 3.8). Існує чотири номери наборів, їх товщина – від 0,02 до 1,0 мм.

Щупи довжиною 100 мм мають такі номінальні розміри:

– набір № 1 (9 шт.) – 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1 мм;

– набір № 2 (17 шт.) – 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45; 0,5 мм;

– набір № 3 (10 шт.) – 0,55; 0,6; 0,65; 0,7; 0,75; 0,8; 0,85; 0,9; 0,95; 1,0 мм;

– набір № 4 (10 шт.) – 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 мм.

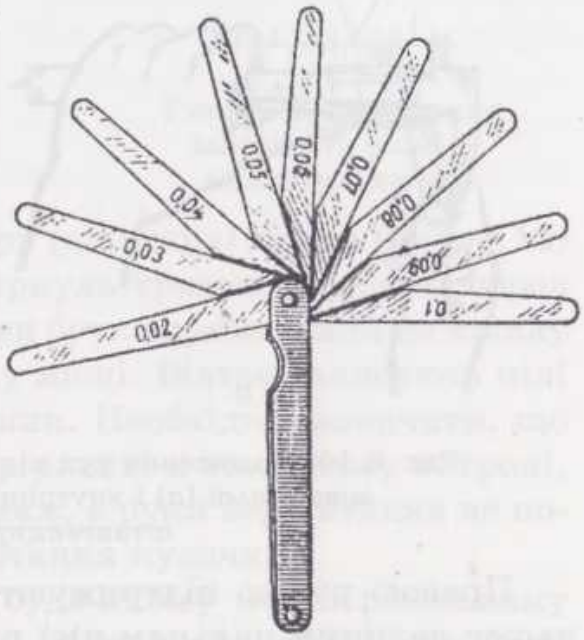
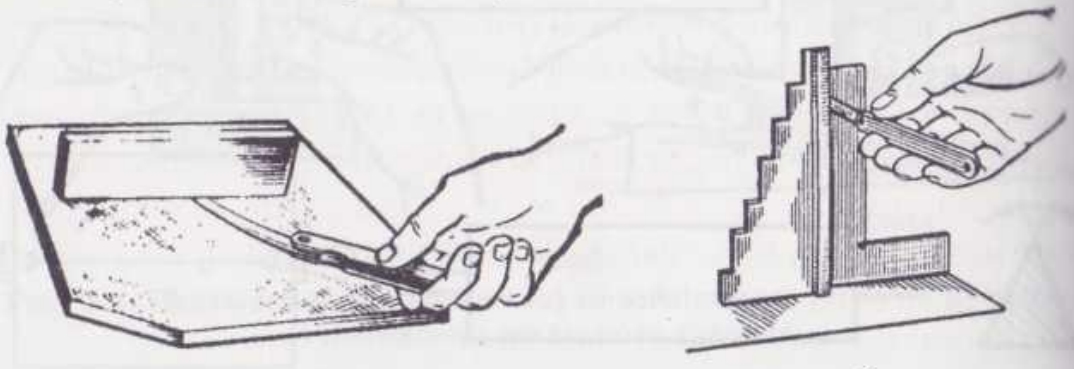


Рис. 3.8. Набір щупів у комплекті

Як користуватися щупом для визначення зазору між двома призматичними деталями, показано на рис. 3.9, *а*, а як перевірити перпендикулярність кулачка токарного верстата за допомогою кутника – на рис. 3.9, *б*.

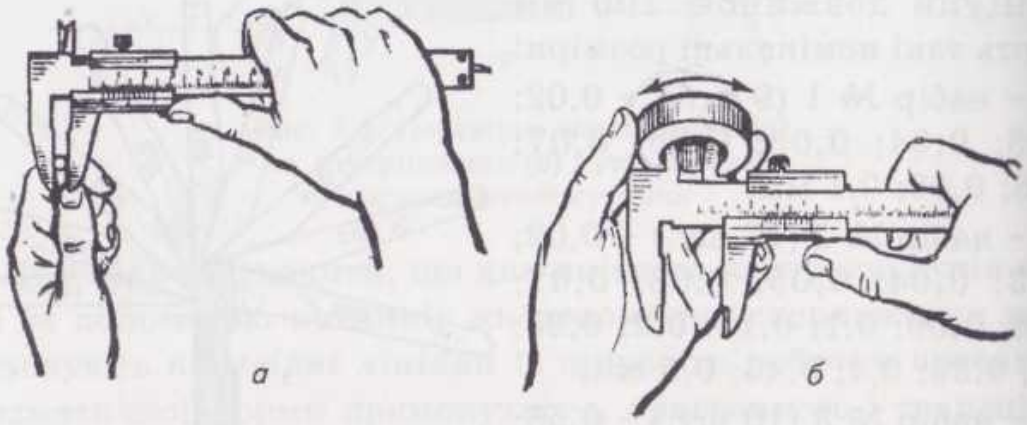


а *б*

Рис. 3.9. Перевірка деталі щупом на плиті (*а*) та кулачка на перпендикулярність за допомогою кутника й щупа (*б*)

3.1.3. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНЦИРКУЛЕМ ШЦ-1

Під час вимірювання незакріпленої деталі ***штангенциркулем ШЦ-1*** (ГОСТ 166–89) з межами вимірювання 0...125 мм з точністю ноніуса 0,1 мм (рис. 3.10, *а*) ліва рука повинна перебувати за губками штангенциркуля і тримати деталь недалеко від них.



а *б*

Рис. 3.10. Положення рук під час вимірювання незакріпленої зовнішньої (*а*) і внутрішньої (*б*) поверхонь деталей штангенциркулем ШЦ-1

Правою рукою підтримують штангу штангенциркуля, при цьому великим пальцем цієї руки переміщують рамку до контакту з вимірюваною поверхнею деталі, не допускаючи мож-

перекосів губок. Інколи лівою рукою деталь повертають навколо осі, аби переконатися у правильності заміряного розміру (рис. 3.10, *б*).

Під час вимірювання закріпленої деталі, наприклад, у кулачках патрона токарного верстата (рис. 3.11), ліва рука верстатника повинна легко притискати губку штанги штангенциркуля до вимірюваної поверхні деталі, а права рука – підтримувати штангу у горизонтальному положенні. Водночас великим пальцем цієї руки пересувають рамку з ноніусом до змикання з вимірюваним діаметром деталі, при цьому не допускаючи перекосу губок і докладаючи нормального вимірювального зусилля (як правило, воно повинно дорівнювати масі штангенциркуля).

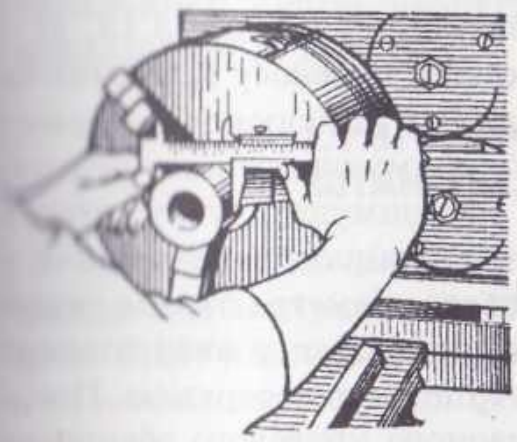


Рис. 3.11. Положення рук під час вимірювання деталі, закріпленої в патроні токарного верстата

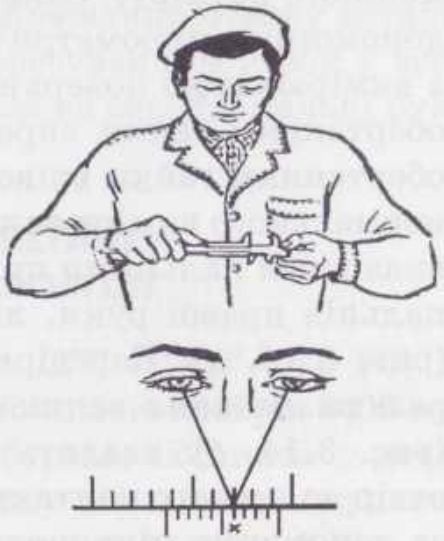


Рис. 3.12. Зчитування заміряного розміру (діаметра) деталі

Зчитування заміряного розміру (діаметра) деталі (рис. 3.12) проводять тоді, коли штангенциркуль тримають прямо перед очима, при цьому кут зору повинен бути спрямований на шкалу ноніуса та основну шкалу в цьому місці. Відтак записують цілі й десяті частки виміряної величини. Необхідно зазначити, що під час вимірювання деталі, закріпленої в токарному патроні, верстат завжди має бути вимкненим, а руки верстатника не повинні перебувати у площині обертання кулачків.

Після закінчення роботи на будь-якому металорізальному обладнанні штангенінструмент чи мікрометричний інструмент протирають мастилом з антикорозійним захистом, розводять

вимірювальні губки, а потім зводять до змикання, зафіксувавши штопорним гвинтом рухому рамку інструмента, а штангенциркуль кладуть у футляр або коробку для зберігання.

3.1.4. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНЦИРКУЛЕМ ШЦ-2

У разі застосування *штангенциркуля ШЦ-2* (ГОСТ 166–89) з межами вимірювання від 0 до 160 мм і точністю ноніуса 0,05 мм (рис. 3.13), який має мікрометричну подачу, вимірювання зовнішнього чи внутрішнього розмірів деталі проводять після попереднього встановлення рамки з ноніусом (для зовнішнього вимірювання дещо більшого, а внутрішнього дещо меншого розміру). Закріпивши рамку мікрометричної подачі за допомогою мікрометричної пари, доводять губки до змикання з вимірюваною поверхнею деталі (для зовнішньої (рис. 3.13, *а*) обертанням гайки вправо, а для внутрішньої (рис. 3.13, *б*) – обертанням гайки вліво), не допускаючи перекосу й досягаючи нормального вимірювального зусилля. Це здійснюють великим і вказівним пальцями правої руки, підтримуючи штангу рештою пальців правої руки, лівою рукою підтримують губку штанги (рис. 3.14, *а*). Перевіряють на дотик вимірювальне зусилля у разі визначення великого внутрішнього діаметра таким чином (рис. 3.14, *б*): вводять губки штангенциркуля у вимірюваний отвір до легкого контакту з його внутрішньою поверхнею. Потім за допомогою мікроподачі та одночасного кругового обертання гайки по поверхні гвинта губку і рамку переміщають в горизонтальному напрямку аж до змикання обох губок.

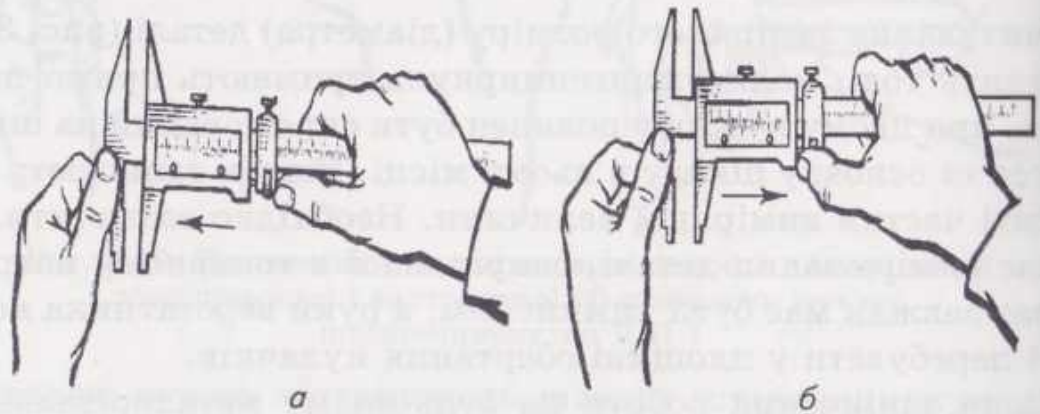


Рис. 3.13. Положення рук під час попереднього визначення розміру деталі (*а*) та закріплення рамки мікрометричної подачі штангенциркуля ШЦ-2 (*б*)



Рис. 3.14. Положення рук під час вимірювання зовнішнього (*а*) і внутрішнього (*б*) діаметрів деталей за допомогою штангенциркуля ШЦ-2

Щоб запобігти перекосу під час вимірювання отвору деталі, перевіряючи вимірювальне зусилля пересуванням губок у вертикальній площині, необхідно опиратися на середні пальці рук, забравши їх до губок.

3.1.5. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНГЛИБИНОМІРОМ ШГ

Застосовують *штангенглибиномір ШГ* (ГОСТ 162–90) із діапазоном вимірювання 0...250 мм й точністю ноніуса 0,05 мм (рис. 3.15) для вимірювання уступів, буртів, сходинок у деталях різної геометричної форми. Спочатку перевіряють нульове

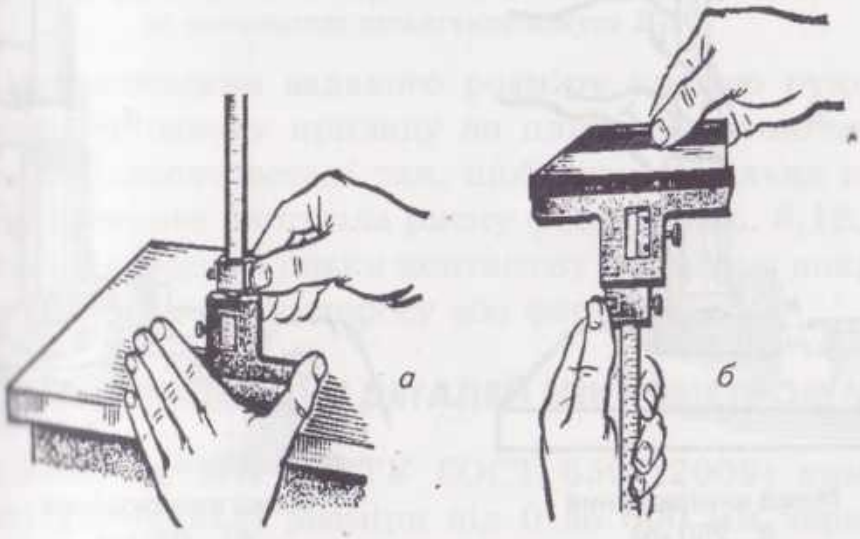


Рис. 3.15. Перевірка нульового положення штангенглибиноміра ШГ на перевірній плиті (*а*) та лекальній лінійці (*б*)

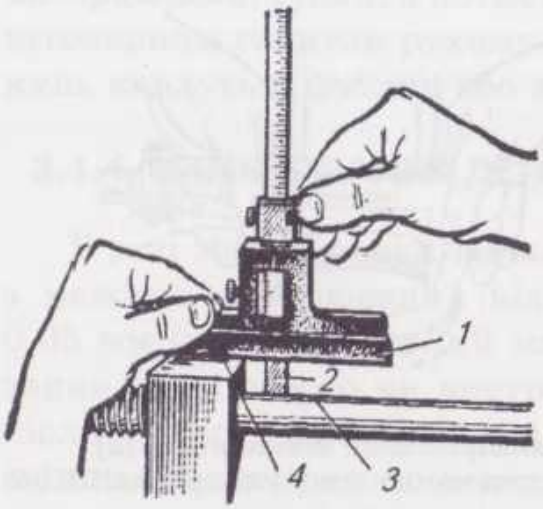
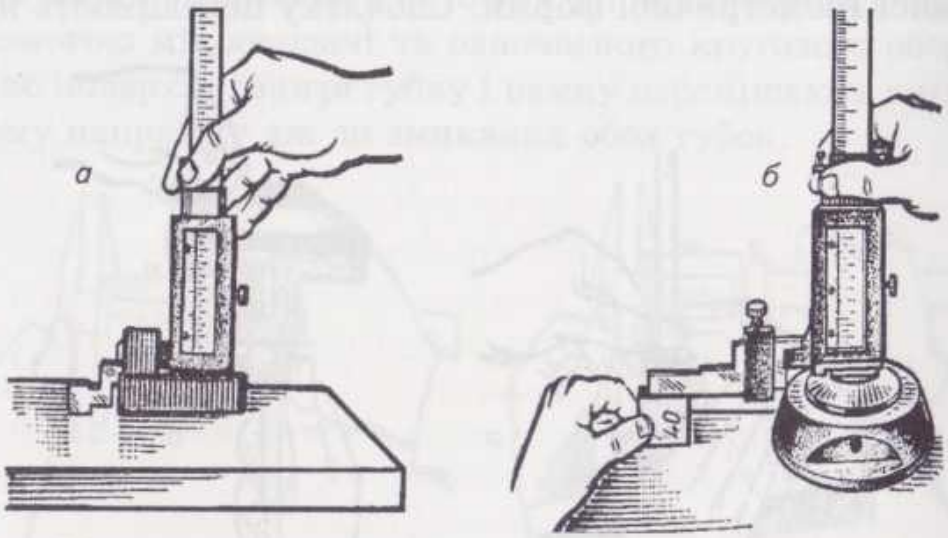


Рис. 3.16. Вимірювання заданого розміру деталі за допомогою штангенглибиноміра ШГ

положення ШГ базування основи й штанги на горизонтальну поверхню перевірної плити (рис. 3.15, *а*) або лекальної лінійки до цих поверхонь (рис. 3.15, *б*). В обох випадках нульові штрихи ноніуса і штанги повинні співпадати. Процедуру вимірювання заданого розміру деталі штангенглибиноміром проводять у такій послідовності (рис. 3.16): лівою рукою притискають основу *1* до поверхні *4*, а правою – доводять штангу *2* до змикання з поверхнею *3* деталі. Відлік розміру здійснюють за шкалою штанги та шкалою ноніуса – відповідно цілі й соті частки міліметра.

3.1.6. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ШТАНГЕНРЕЙСМУСОМ ШР

Штангенрейсмус ШР (ГОСТ 164–90) призначений для вимірювання висоти й виконання розмічувальних робіт при виготовленні деталей (виробів). За конструктивним виконанням їх



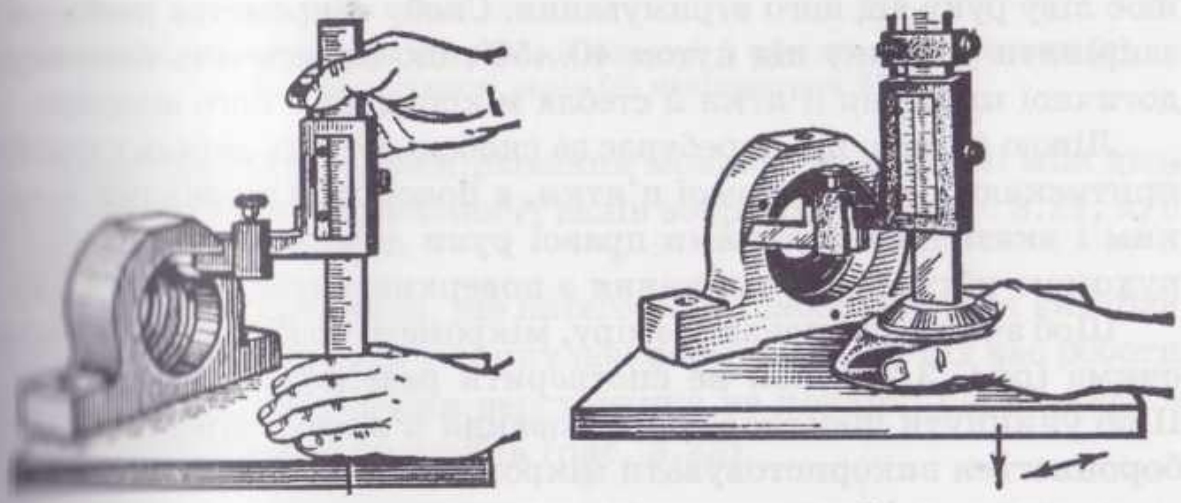
Межа вимірювання 0...250 мм

Межа вимірювання 40...400 мм

Рис. 3.17. Перевірка нульового положення штангенрейсмуса ШР на перевірній плиті (*а*) та за допомогою кінцевих мір (*б*)

поділяють на звичайні (рис. 3.17, *а*) з межами вимірювання від 0 до 250 мм і підвищеної якості (рис. 3.17, *б*) з межами вимірювання від 40 до 400 мм.

Перевірку нульового положення штангенрейсмуса здійснюють таким чином, щоб при його базуванні на перевірну плиту розмір між ніжкою і плитою або кінцевою мірою дорівнював певній межі вимірювання: нульові штрихи ноніуса й штанги повинні співпадати. Процедура вимірювання висоти деталі полягає в тому, що лівою рукою притискають основу приладу до плити, а правою – за допомогою мікроподачі доводять вимірювальну ніжку до контакту з поверхнею деталі (рис. 3.18, *а*).



а *б*

Рис. 3.18. Вимірювання висоти деталі (*а*) і нанесення рисок на ній (*б*) за допомогою штангенрейсмуса ШР

Після встановлення заданого розміру правою рукою злегка притискають основу приладу до плити, а штангенрейсмус переміщують відносно деталі так, щоб розмічувальна ніжка нанесла на контактній поверхні наносила риску (лінію) (рис. 3.18, *б*). Для контрастного нанесення риски контактну поверхню покривають тонким шаром мідного купоросу або фарби.

3.1.7. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МІКРОМЕТРОМ МК

Мікрометром МК (ДСТУ ГОСТ 6507:2009) вимірюють зовнішні або діагональні розміри від 0 до 600 мм через кожні 25 мм відповідно з точністю 0,01 мм. Перед вимірюванням заданої деталі перевіряють нульове положення МК таким чином,

аби нульовий штрих барабана збігався з поздовжнім штрихом стебла, при цьому скіс барабана повинен відкривати нульовий штрих стебла. У разі перевірки МК в діапазоні від 25 до 50 мм між п'ятками, тобто вимірювальними поверхнями, встановлюють кінцеву міру розміром 25 мм і, зводячи рухому п'ятку до змикання, перевіряють нульове положення стебла. У випадку незбіжності цих показів необхідно закріпити мікрогвинт стопором, роз'єднати барабан із мікрогвинтом, потім закріпити його і повторно перевірити нульове положення.

Перед вимірюванням розміру деталі МК бажано закріпити в спеціальному стояку (рис. 3.19). Застосування стояка для МК звільнює ліву руку від його втримування. Скобу мікрометра необхідно закріпити у стояку під кутом 40...50°, що забезпечить поле зору дотичної площини п'ятки й стебла мікрометра з його шкалою.

Лівою рукою, що перебуває за скобою, беруть деталь і злегка притискають до нерухомої п'ятки, а поворотом тріскачки великим і вказівним пальцями правої руки доводять мікрогвинт з рухомою п'яткою до змикання з поверхнею деталі (рис. 3.19).

Щоб зчитувати показ розміру, мікрометр треба тримати перед очима (рис. 3.20), аби не спотворити результат вимірювання. Щоб уникнути швидкого спрацювання п'яток, категорично забороняється використовувати мікрометр як скобу. Найменшого спрацювання п'яток досягають, напаявши на них твердосплавні пластини.

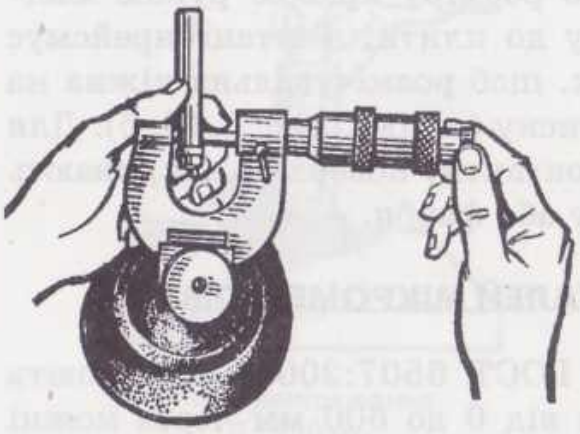


Рис. 3.19. Положення рук під час вимірювань деталі мікрометром МК, закріпленим у стояку



Рис. 3.20. Зчитування показу розміру деталі за допомогою мікрометра МК

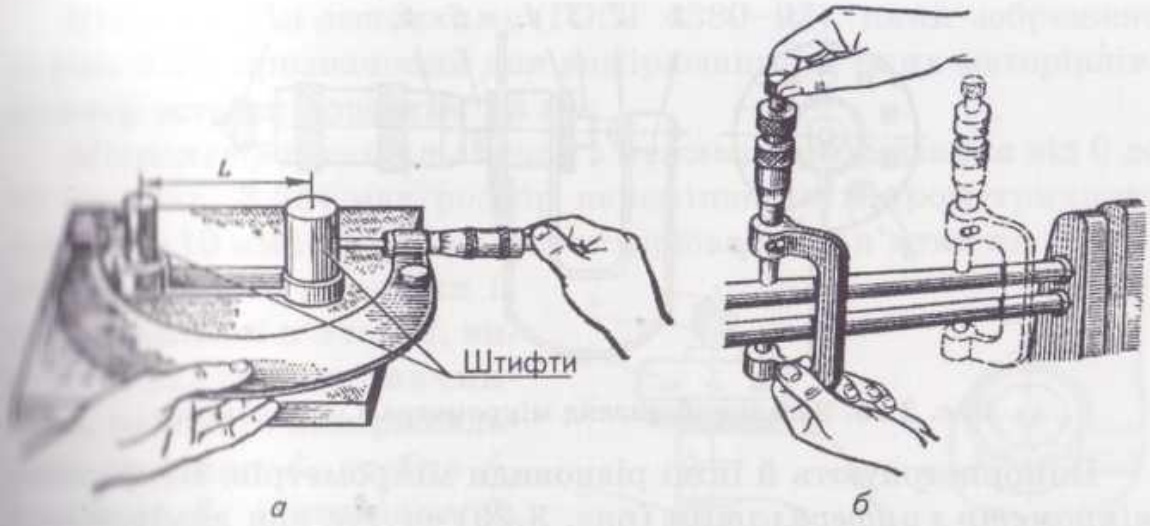


Рис. 3.21. Вимірювання міжосьової відстані L між двома штифтами (*а*) та паралельності валів (*б*) мікрометром МК

Характерні схеми вимірювання міжосьової відстані між двома штифтами й паралельності валів зображено на рис. 3.21, *а*, *б* відповідно.

Необхідно зазначити, що категорично забороняється вимірювати закріплену деталь у трикулачковому патроні під час роботи токарного верстата. Руки верстатника не повинні перебувати в площині обертання кулачків (рис. 3.22).

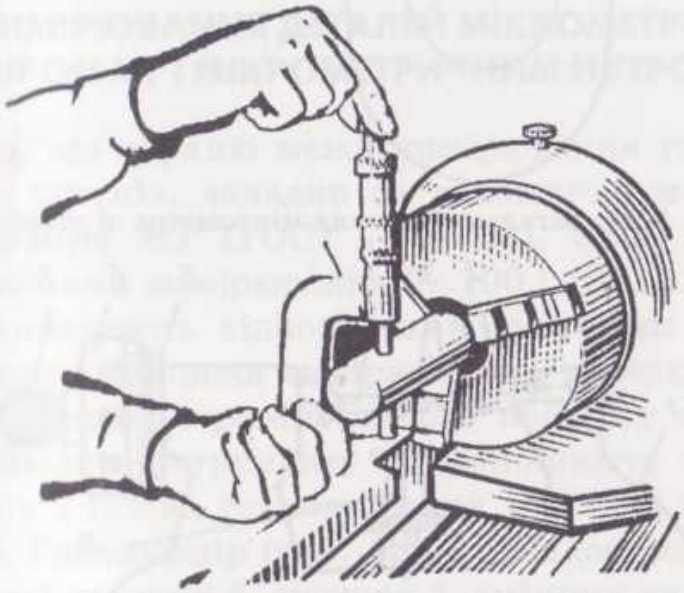


Рис. 3.22. Положення рук під час вимірювання деталі, закріпленої в трикулачковому патроні за допомогою мікрометра

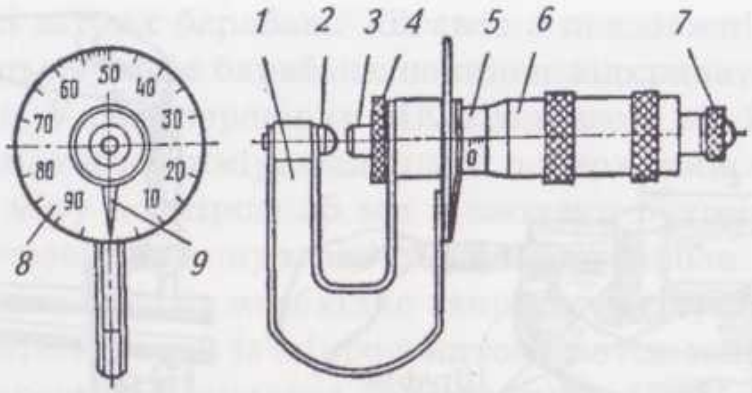


Рис. 3.23. Загальний вигляд мікрометра з циферблатом

Використовують й інші різновиди мікрометрів. Наприклад, *мікрометр з циферблатом* (рис. 3.23) слугує для вимірювання товщини листового матеріалу, оскільки має подовжену скобу. Межі вимірювання: 0...5; 0...10; 0...25 мм. Для кроку мікрометричного гвинта 0,5 мм циферблат має 50 поділок, а для кроку 1 мм – 100. Основними деталями такого мікрометра є: скоба – *1*; п'ятка –*2*; мікрометричний гвинт – *3*; стопор – *4*; стебло – *5*; барабан – *6*; тріскачка – *7*; циферблат – *8*; стрілка – *9*.



Рис. 3.24. Загальний вигляд мікрометра зі вставками

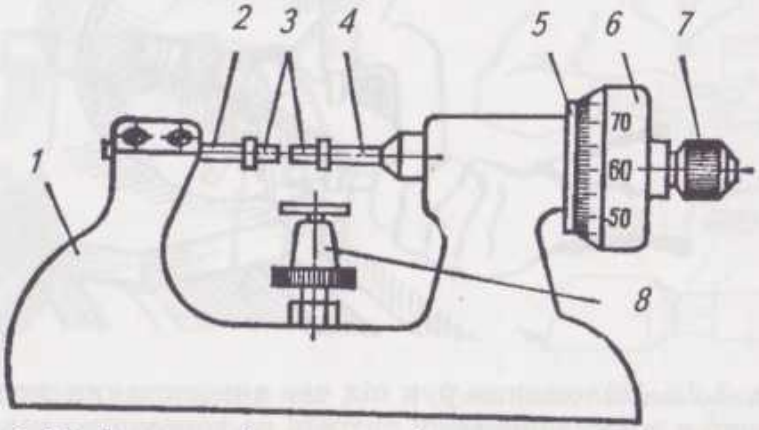


Рис. 3.25. Загальний вигляд мікрометра горизонтального

Мікрометр зі вставками (ГОСТ 4380–93), який зображено на рис. 3.24, призначений для вимірювання м'яких матеріалів. Діаметр вставок дорівнює 12 мм.

Мікрометр горизонтальний з межами вимірювання від 0 до 50 мм (рис. 3.25) має розмір переміщення мікрометричного гвинта до 10 мм і переміщення вимірювальної п'ятки на 10 мм. Він складається з корпуса *1*, вимірювальної п'ятки *2*, вимірювальних наконечників *3*, рухомого вимірювального стрижня *4*, стебла *5*, барабана *6*, фрикціона *7*, вимірювального стола *8*.

Мікрометр вертикальний з межами вимірювання 0...10 мм (рис. 3.26) складається з корпуса *1*, поворотної диска *2*, голки *3*, вимірювального стрижня *4*, стебла *5*, барабана *6*, фрикціона *7*, вимірювального стола *8*.

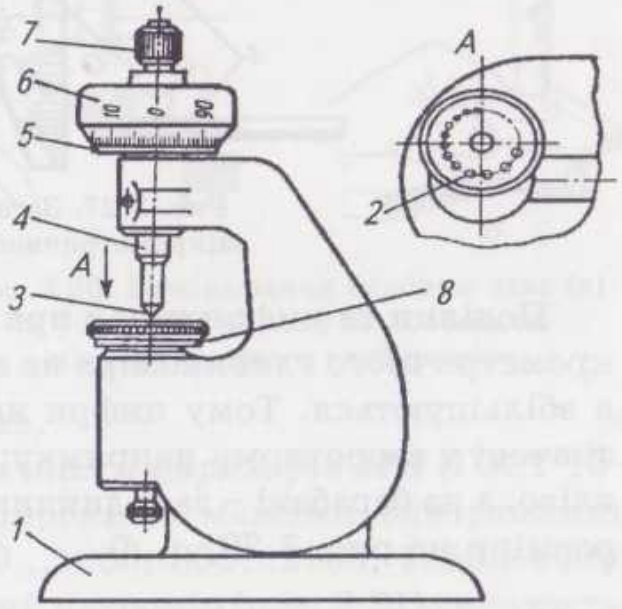


Рис. 3.26. Загальний вигляд мікрометра вертикального

3.1.8. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МІКРОМЕТРИЧНИМ ГЛИБИНОМІРОМ МГ І МІКРОМЕТРИЧНИМ НУТРОМІРОМ МН

Зазначимо, що верхню межу вимірювання глибини отворів, канавок, уступів, западин за допомогою ***мікрометричного глибиноміра МГ*** (ГОСТ 7470–92), який показано на рис. 3.27, з межами вимірювання 0...100 і 100...150 мм, аж до 400 мм, встановлюють відповідними змінними вимірювальними стрижнями. Широка вимірювальна поверхня основи та вузькі вимірювальні стрижні малого перерізу забезпечують високу стійкість інструменту та можливість вимірювання глибин отворів й інших технологічних уступів і пазів невеликих розмірів. Глибиномір (рис. 3.27) складається з основи *1*, мікрометричної головки *2*, стопора *3*, змінних вимірювальних стрижнів *4*, встановлювальної міри *5*.

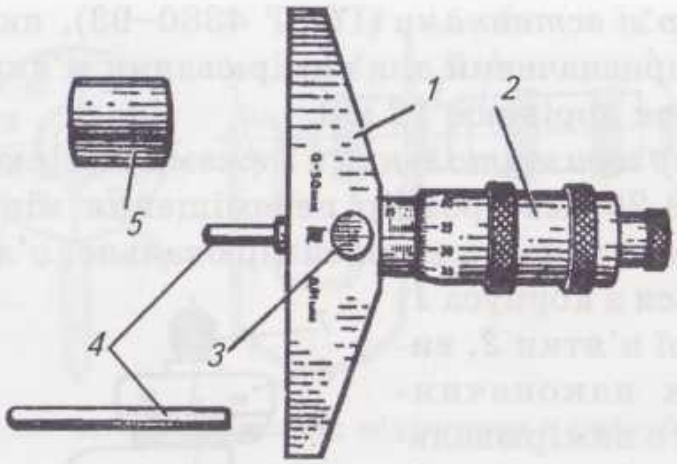


Рис. 3.27. Загальний вигляд мікрометричного глибиноміра

Поділки та цифри шкал при загвинчуванні мікрогвинта мікрометричного глибиноміра не зменшуються, як у мікрометра, а збільшуються. Тому цифри на шкалах стебла і барабана зазначені у зворотному напрямку: на стеблі збільшуються справа вліво, а на барабані – за годинниковою стрілкою (див. характерні розміри на рис. 3.28, *а*, *б*).

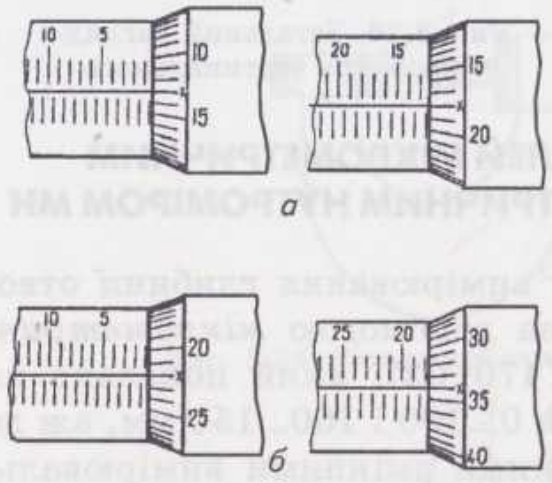


Рис. 3.28. Зчитування характерних розмірів деталей за нижньою і верхньою шкалами стебла (*а*) і барабана мікрометра (*б*)



Рис. 3.29. Перевірка нульового положення мікрометричного глибиноміра МГ з межами вимірювання понад 25 мм

Перед початком вимірювання розміру деталі проводять перевірку нульового положення мікрометричного глибиноміра на плиті з межами вимірювання 0...25; 25...50; 75...100 мм відповідно згідно з рис. 3.29.

Вимірювання цим інструментом виконують у такій послідовності: лівою рукою притискають основу до поверхні деталі, а правою, обертаючи тріскачку в кінці валу вимірювального стержня, доводять його до контакту з другою поверхнею деталі і стопорять мікрогвинт. Характерні схеми вимірювання глибини паза та уступу на валу зображено на рис. 3.30, *а*, *б* відповідно.

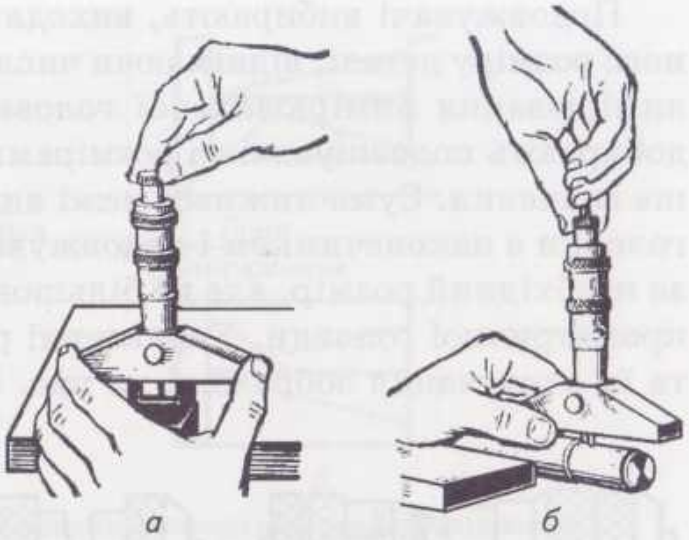


Рис. 3.30. Вимірювання глибини паза (*а*) та уступу (*б*) на валу за допомогою мікрометричного глибиноміра

Що стосується ***мікрометричних нутромірів МН*** (ГОСТ 10–), то їх виготовляють із широкими межами вимірювання ...75; 75...175; 75...600; 150...1250; 800...2500; 1250...4000; ...6000 мм. Мікрометричний нутромір (рис. 3.31) складається з вимірювального наконечника *1*, мікрометричної головки *2*, подовжувача *3*, встановлювальної міри *4*.

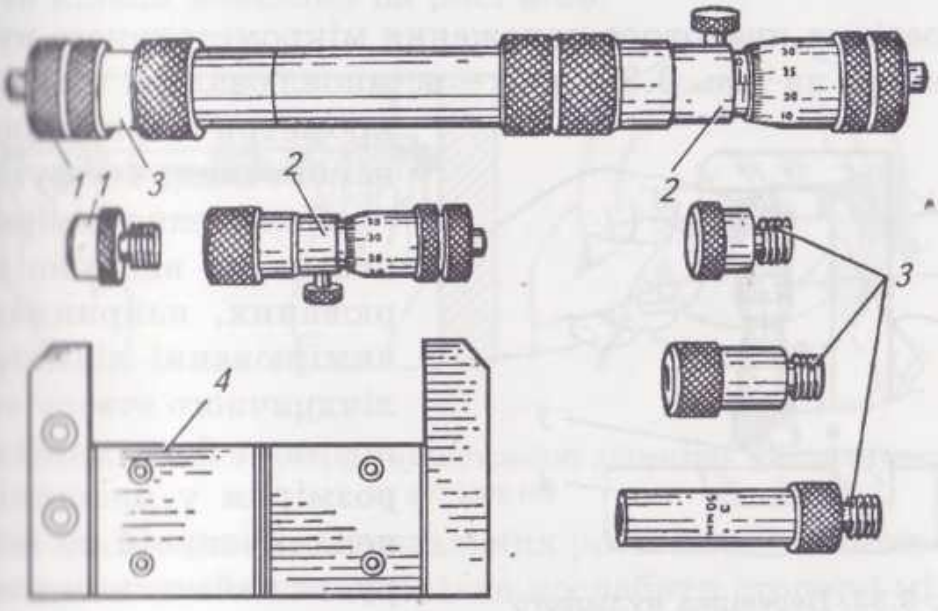


Рис. 3.31. Загальний вигляд мікрометричного нутроміра з відповідним спорядженням

Подовжувачі вибирають, виходячи зі значення перевірюваного розміру деталі, віднімаючи числове значення нижньої межі вимірювання вимірювальної головки з наконечником. Потім добирають подовжувачі за розмірами, забезпечуючи їх найменше значення. Сума нижньої межі вимірювання мікрометричної головки з наконечником і подовжувачем повинна бути меншою за необхідний розмір, але не більшою від межі вимірювання мікрометричної головки. Характерні результати замірів розмірів та їх зчитування зображені на рис. 3.32, *а*, *б*.

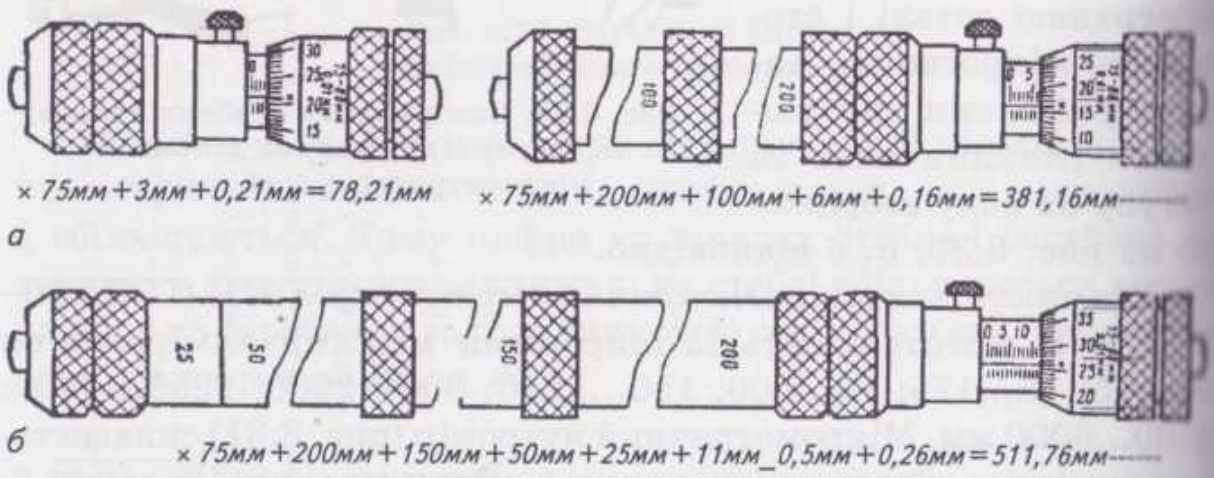


Рис. 3.32. Характерні результати замірів розмірів (*а*) та їх зчитування (*б*) за допомогою мікрометричного нутроміра

Перевірка нульового положення мікрометричного нутроміра показана на рис. 3.33, де *1* – встановлювальна міра, *2* – мікрометрична головка, *3* – наконечник, *4* – футляр.

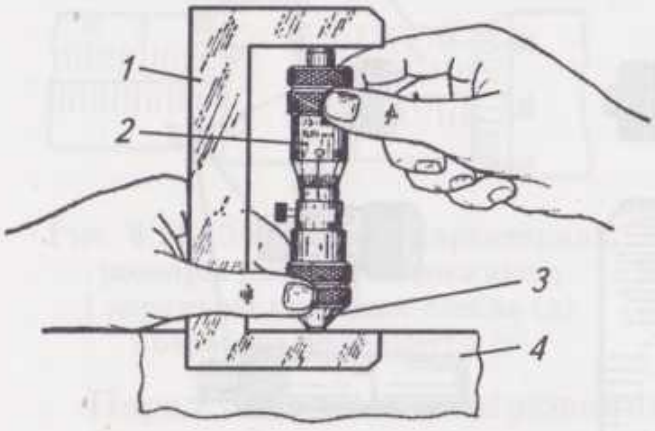


Рис. 3.33. Перевірка нульового положення мікрометричного нутроміра

Положення вимірюваних поверхонь відносно перевірюваних, наприклад, при вимірюванні діаметра циліндричного отвору втулки, повинно бути найбільшим розміром у площині, перпендикулярній до осі отвору, та найменшим розміром у площині, що проходить через вісь (рис. 3.34, *а*).

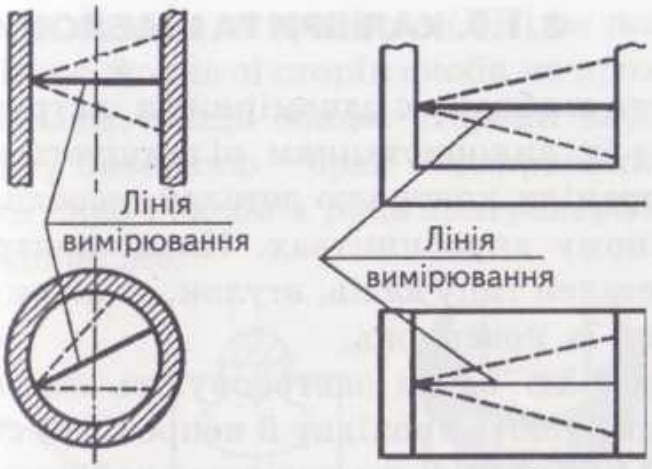


Рис. 3.34. Положення вимірюваних поверхонь деталей відносно вимірюваних для циліндричного отвору (*а*) і паралельних площин (*б*)

У разі вимірювання відстані між паралельними площинами правильне положення вимірюваних поверхонь (відсутність перекосу) забезпечує точний показ числового значення розміру (рис. 3.34, *б*).

Для зчитування вимірюваного розміру вибирають правильне положення мікрометричного нутроміра з нахилом (вправо, вліво) за умови легкого контактування його вимірювальних поверхонь із поверхнею деталей.

Характерні схеми вимірювання внутрішніх діаметрів отворів гільзи та кільця показано на рис. 3.35.

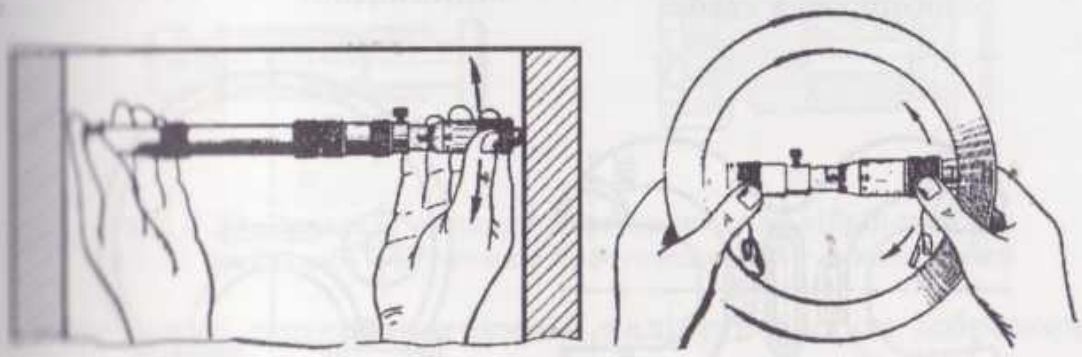


Рис. 3.35. Положення рук при вимірюванні діаметрів отворів гільзи (*а*) та кільця (*б*)

Після закінчення вимірювальних робіт за допомогою мікрометричних інструментів необхідно послабити стопор і мікрометричний гвинт, протерти інструменти, змастити антикорозійним мастилом і покласти у футляр.

3.1.9. КАЛІБРИ ТА ШАБЛОНИ

Калібри та ***шаблони*** є одномірними інструментами без шкали, а тому з їх використанням підвищується продуктивність праці на операціях контролю деталей, особливо у масовому чи великосерійному виробництвах. Ними контролюють розміри (діаметри) деталей типу валів, втулок, а також форму та взаємне розташування їх поверхонь.

Для контролю валів застосовують *калібри-скоби* (ГОСТ 18355–73), які мають прохідну й непрохідну сторони. Прохідна сторона (ПР) має розмір, що дорівнює найбільшому граничному розміру вала, а непрохідна (НЕ) – найменшому.

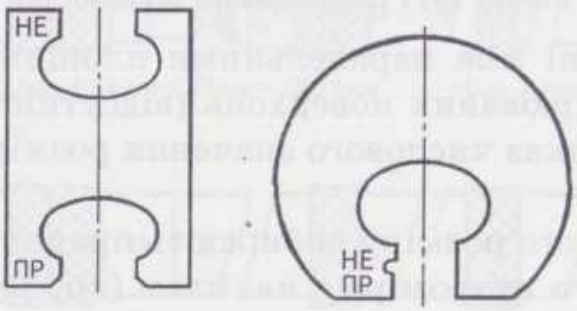


Рис. 3.36. Загальний вигляд граничних калібрів-скоб: *а* – листова двостороння скоба; *б* – листова одностороння скоба

Характерні типи конструкцій калібрів-скоб зображено на рис. 3.36, *а*, *б*, зокрема скобу листову двосторонню від 1 до 50 мм і скобу листову одностороннюю від 1 до 180 мм відповідно. Існують скоби штамповані двосторонні, наприклад, від 3 до 100 мм (рис. 3.37, *а*), а також регульовані, наприклад, від 0 до 340 мм (рис. 3.37, *б*) відповідно.

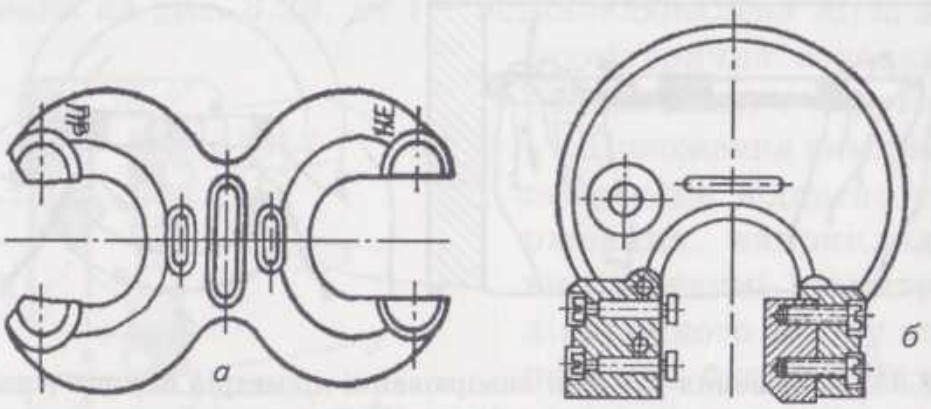
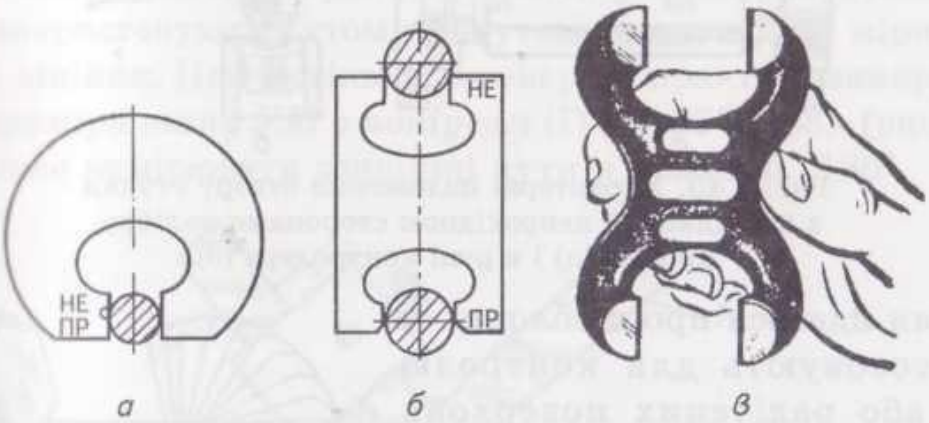


Рис. 3.37. Загальний вигляд калібрів-скоб: *а* – штампована двостороння скоба; *б* – регульована скоба

Процедуру контролю деталі здійснюють так: прохідна сторона калібру-скоби (ПР) повинна проходити через перевірювану

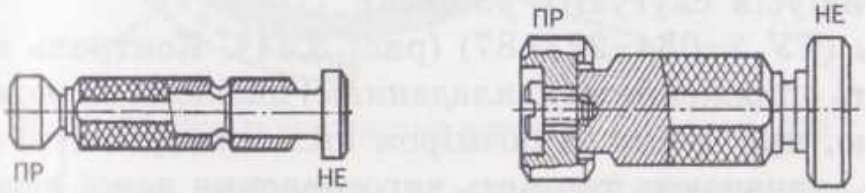
поверхню (діаметр) вала, а непрохідна (НЕ) не повинна проходити через неї. Якщо жодна зі сторін скоби не проходить – брак виправний і, навпаки, якщо обидві сторони скоби проходять через перевірювану поверхню – брак невиправний. Положення вала між губками скоб і скоби в руці контролера зображено на рис. 3.38, *а–в* відповідно.



а *б* *в*

Рис. 3.38. Положення вала між губками скоб (*а*, *б*) і скоби в руці контролера (*в*)

Для контролю отворів втулок застосовують *калібри-пробки* (ГОСТ 14810–69), які мають прохідну і непрохідну сторони. Розмір прохідної сторони дорівнює найменшому розміру отвору, непрохідної сторони – найбільшому граничному розміру отвору.

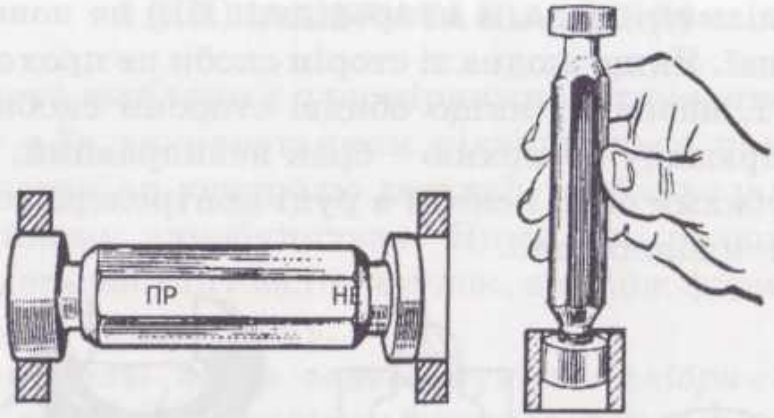


а *б*

Рис. 3.39. Загальні вигляди двосторонніх калібрів-пробок: *а* – зі вставками і конусним хвостовиком; *б* – з насадками

Характерні типи конструкцій калібрів-пробок зображено на рис. 3.39, тобто двосторонню зі вставками і конусним хвостовиком в межах вимірювання від 3 до 50 мм (рис. 3.39, *а*) і двосторонню з насадками в межах вимірювання від 50 до 100 мм (рис. 3.39, *б*).

Процедура контролю діаметра отвору втулки за допомогою калібру-пробки така ж, як і для калібру-скоби. Характерні положення отвору втулки з прохідною й непрохідною сторонами калібру-пробки і в руці контролера показано на рис. 3.40.



а *б*

Рис. 3.40. Характерні положення отвору втулки з прохідною й непрохідною сторонами калібру-пробки (*а*) і в руці контролера (*б*)

Коли йдеться про шаблони, то їх застосовують для контролю висот або радіусних поверхонь різноманітних деталей (виробів) пересуванням вимірюваних поверхонь відносно перевірюваних поверхонь деталей.

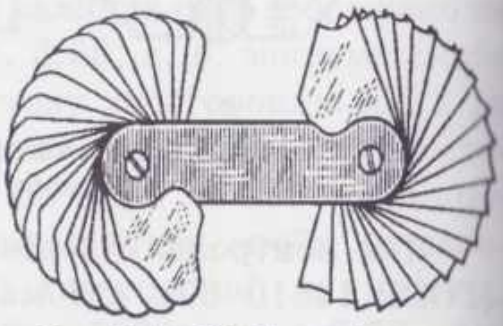
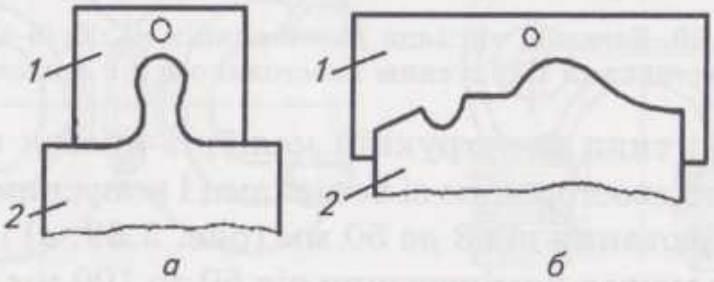


Рис. 3.41. Набір радіусних шаблонів

Для контролю увігнутих чи опуклих поверхонь деталей заданих радіусів слугують *радіусні шаблони* (ТУ 2–034–228–87) (рис. 3.41). Контроль поверхонь проводять спряженням (накладанням) шаблона на перевірювану поверхню, при цьому за розміром щілини (просвіту) по всьому контуру визначають точність виготовлення даної деталі.



а *б*

Рис. 3.42. Різновиди шаблонів для контролю деталей з простим (*а*) і складним (*б*) профілями

Для контролю криволінійних поверхонь складного профілю деталі використовують *криволінійні шаблони*, контур

робочої поверхні яких збігається з контуром перевірюваних поверхонь таких деталей (рис. 3.42, *а*, *б*), де *1* – шаблон, *2* – виріб (деталь).

3.1.10. КОНТРОЛЬ КУТІВ

Для контролю кутів різних деталей у машинобудуванні широко використовують кутоміри, кутові призматичні міри, рівні, лекальні лінійки. Найчастіше в інженерній практиці використовують ***кутоміри типу УМ з ноніусом*** (ГОСТ 5378–88), (рис. 3.43), який може вимірювати зовнішні кути в межах 0...180°.

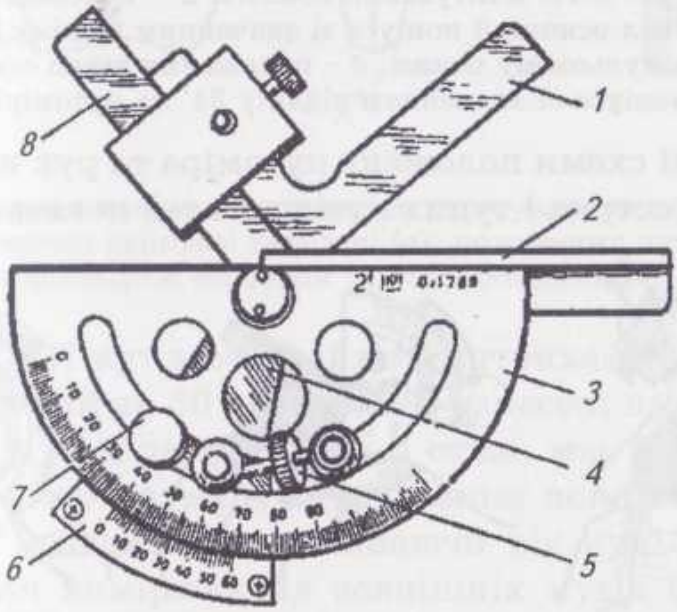


Рис. 3.43. Загальний вигляд кутоміра з ноніусом УМ

Він складається із кутника *1*, лінійки *2*, основи *3*, сектора *4*, пристрою для мікрометричної подачі *5*, ноніуса *6*, стопора *7*, рухомої лінійки *8*. Кут між крайніми штрихами шкали ноніуса поділено на 30 частин, при цьому значення цього кута між суміжними штрихами дорівнює (60′×29): 30=58′, що на 2′ менше за 1° (рис. 3.44, *а*).

Зчитування показів на кутомірі з ноніусом цілого числа градусів проводять за основною шкалою зліва вправо нульовим штрихом ноніуса (рис. 3.44, *б*). Потім знаходять штрих ноніуса, розміщений на одній лінії зі штрихом основної шкали, і найближчу до нього зліва цифру. До цієї цифри додають результат від множення показника відліку на порядковий номер цього

штриха ноніуса, відлічуючи його від знайденої цифри ноніуса. Наприклад: 30′+(2′×2)=34′, як це показано на рис. 3.44, *б*.



Рис. 3.44. Зчитування показів: *а* – положення шкал основи й ноніуса зі значенням відліку 58′ при нульовому показі; *б* – положення шкал основи та ноніуса зі значенням відліку 34′ на кутомірі УМ

Характерні схеми положень кутоміра та рук контролера при вимірюванні гострих і тупих кутів деталей показані на рис. 3.45.

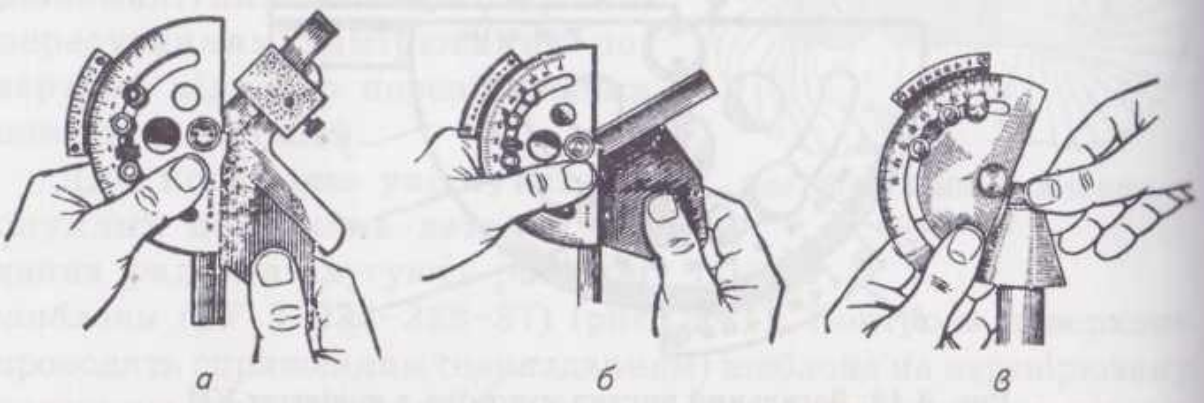


Рис. 3.45. Характерні схеми положень кутоміра УМ та рук контролера при вимірюванні гострих (*а*) і тупих (*б, в*) кутів деталей.

Ширші можливості для вимірювання зовнішніх (0...180°) і внутрішніх (40...180°) кутів має ***кутомір УН*** (ГОСТ 5378–88), (рис. 3.46), який складається з основного сектора *1*, кутника *2*, ноніуса *3*, стопора *4*, жорстко з'єднаної лінійки *5*, лінійки знімної *6*, тримача *7*, хомутика *8*.

У цьому кутомірі сектор з ноніусом плавно пересувається по дузі основи за допомогою рейкової передачі

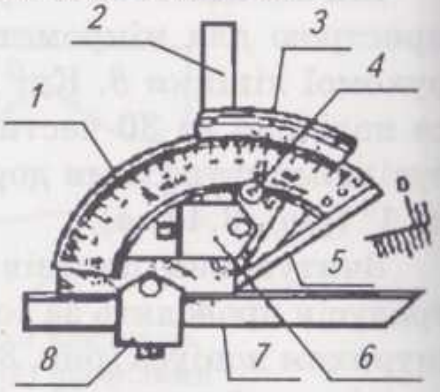
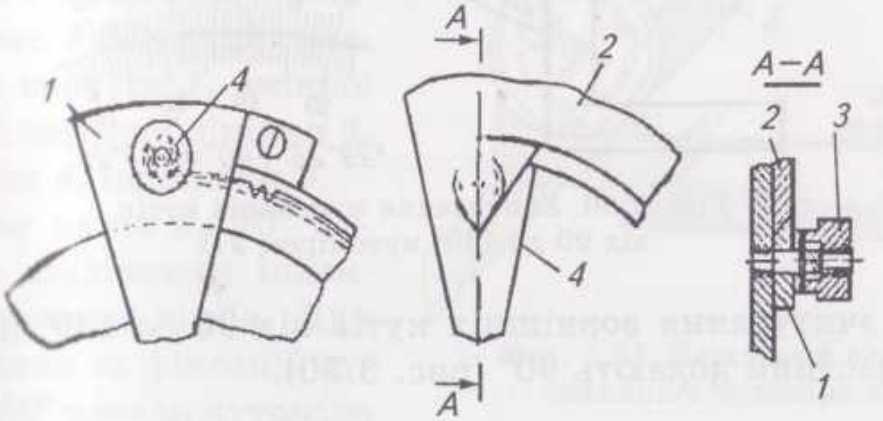


Рис. 3.46. Розташування шкал кутоміра УН для зчитування його показів

(рис. 3.47, *а*). Вузол складається з основи *1*, рейки *2*, сектора *4*, рейкового зубчастого колеса *3*. Положення кутоміра фіксують стопором. Цей вузол має сухар *1*, основу *2*, затискну гайку *3*, сектор *4* (рис. 3.47, *б*).



а *б*

Рис. 3.47. Сектор з ноніусом із плавним пересуванням по дузі основи за допомогою рейкової передачі (*а*); положення кутоміра з фіксацією стопором та його деталями (*б*)

У кутоміра УН кут між крайніми штрихами ноніуса дорівнює 29° і поділений на 30 частин, які нанесені на дузі більшого радіуса, ніж у кутоміра типу УМ, а отже, має більшу відстань між штрихами, що полегшує зчитування показів. Праві і ліві шкали основи розглядають починаючи від нульового штриха (рис. 3.48). Для вимірювання зовнішніх кутів 0...50° покази зчитують з правої частини шкали. Для вимірювання зовнішніх кутів від 50 до 90° – з лівої (рис. 3.49).

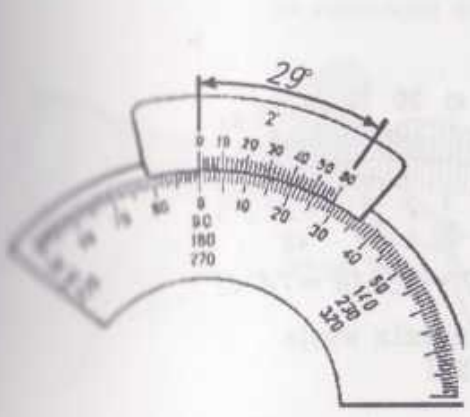


Рис. 3.48. Загальний вигляд кутоміра з ноніусом УН

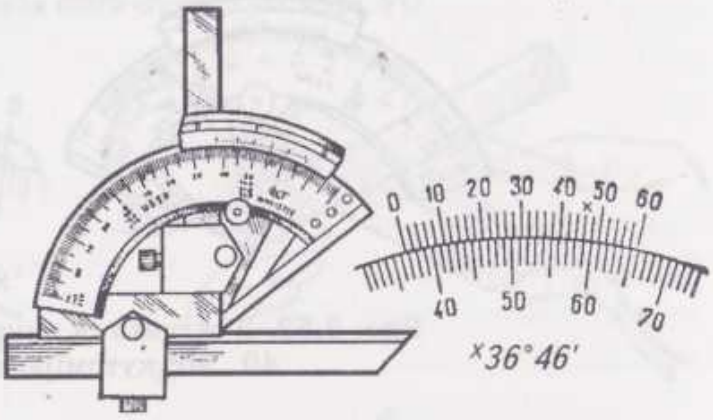


Рис. 3.49. Зчитування зовнішніх кутів від 50 до 90° кутоміром УН

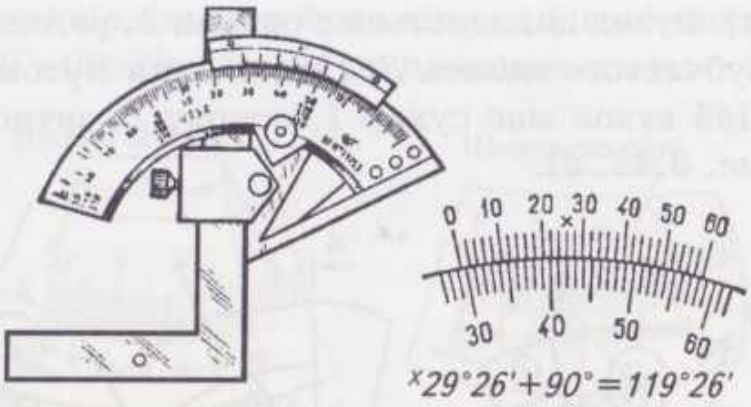


Рис. 3.50. Зчитування зовнішніх кутів від 90 до 140° кутоміром УН

Для зчитування зовнішніх кутів від 90 до 140° до показів правої частини додають 90° (рис. 3.50).

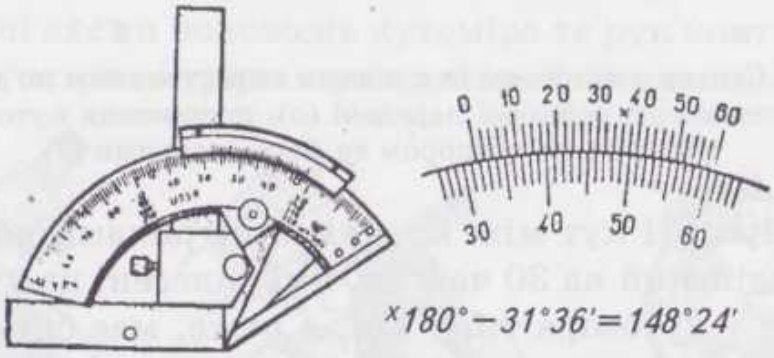


Рис. 3.51. Зчитування внутрішніх кутів від 180 до 130° кутоміром УН

Для зчитування внутрішніх кутів 180...130° покази правої частини шкали віднімають від 180° (рис. 3.51).

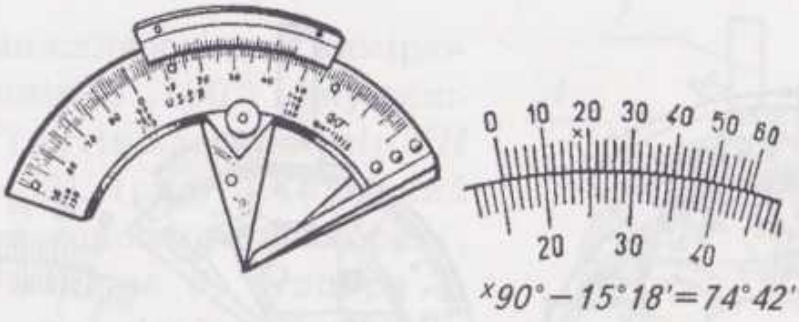


Рис. 3.52. Зчитування внутрішніх кутів 40...90° кутоміром УН

Для зчитування внутрішніх кутів 40...90° покази правої частини шкали віднімають від 90° (рис. 3.52). Необхідно зазначи-

ня, що перед вимірюванням у кутомірі треба протерти шкали, а перевірку нульового положення шкали ноніуса і основної шкали виконати за допомогою кутової міри ($\alpha = 90^\circ$).

Різновидом перелічених кутомірів є ***оптичний кутомір УО*** (рис. 3.53), який складається з корпуса *1*, змінної лінійки *2*, здвоєної лінійки *3*, притискача *4*, підставки *5*.

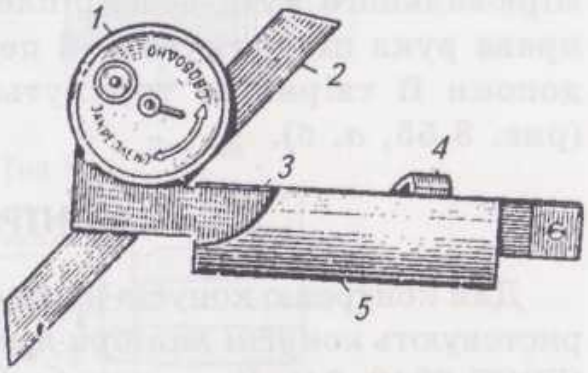


Рис. 3.53. Загальний вигляд оптичного кутоміра УО

Покази кутів 0...90° визначають відліковим індексом за шкалою лімба. Для вимірювання та фіксації кутів 90...180° покази кутоміра відмічають від 180°. Зазначимо, що скляний лімб розградуйовано по колу на 360 частин – градусів. Кожен градус поділено на 6 або 12 частин. Ціна поділки 10′ і 5′ (рис. 3.54, *а*, *б*).



Рис. 3.54. Визначення кутів 0...90° відліковим індексом за шкалою лімба оптичного кутоміра УО

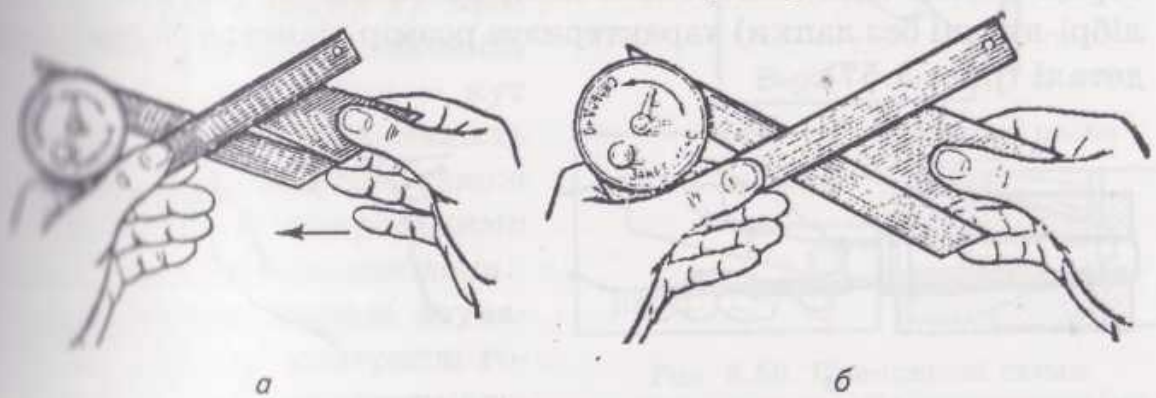


Рис. 3.55. Визначення кутів за допомогою нижньої (*а*) і верхньої (*б*) вимірювальних поверхонь здвоєної і змінної лінійок оптичним кутоміром УО

Для вимірювання оптичним кутоміром кутів використовують нижню і верхню вимірювальні поверхні здвоєної і змінної лінійок. Під час встановлення кутоміра відносно твірних вимірювального кута незакріпленої деталі рекомендують, щоб права рука підтримувала й пересувала деталь таким чином, допоки її твірні не торкнуться здвоєної і змінної лінійок (рис. 3.55, *а*, *б*).

3.1.11. КОНТРОЛЬ КОНУСІВ

Для контролю конусів інструментів і конусних деталей використовують ***конусні калібри-пробки*** та ***конусні калібри-втулки*** (ГОСТ 2849–94). Вони належать до комплексних контрольних інструментів, оскільки одночасно перевіряють кут конуса, діаметр і довжину конусної деталі. Характерні конструкції конусних калібру-пробки та калібру-втулки зображено на рис. 3.56.



а *б*

Рис. 3.56. Характерні конструкції калібрів: конусний калібр-пробка (*а*) та конусний калібр-втулка (*б*)

Придатність деталі визначають осьовим пересуванням конусного калібру до змикання з перевірюваною конусною поверхнею за допомогою кругового його обертання навколо осі. Положення торця деталі між контролюючими рисками чи уступом (у калібрі-втулці без лапки) характеризує розмір діаметра та довжини деталі (рис. 3.57).



а *б*

Рис. 3.57. Положення торця деталі між контролюючими рисками калібру-пробки (*а*) та калібру-втулки (*б*) без лапок за довжиною деталей

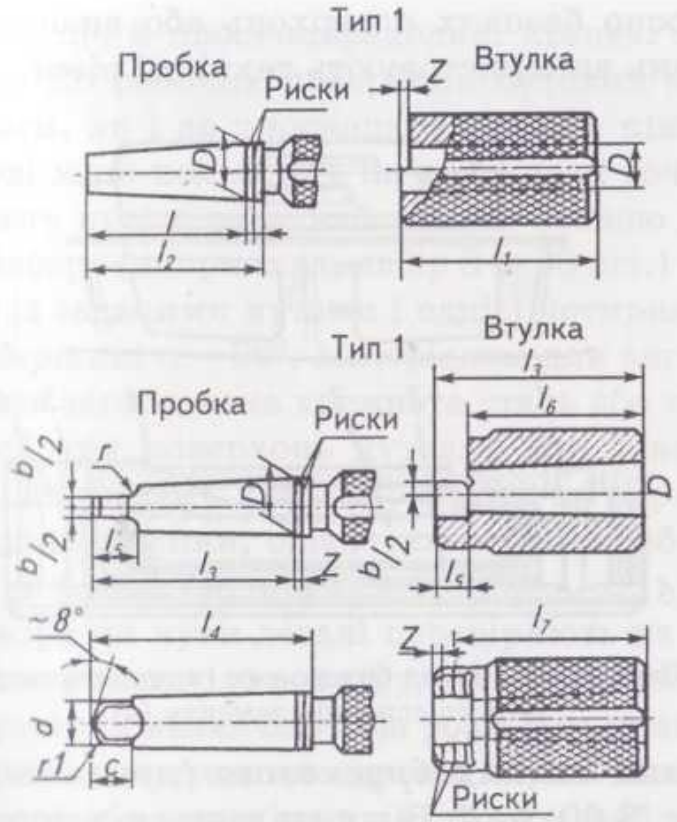


Рис. 3.58. Характерні типи конструкцій конусних калібрів-пробок і конусних калібрів-втулок

Характерні типи конструкцій конусних калібрів-пробок і конусних калібрів-втулок зображено на рис. 3.58.

Для контролю кута в деталі також слугують односторонні *кутові шаблони* (рис. 3.59). Перевірку кутів деталей (виробів) проводять шаблонами, накладаючи їх на конусну поверхню до зіткнення. Якщо щілина між цими поверхнями відсутня, то кут правильний (у правильних межах), і, навпаки, за наявності щілини – кут неправильний. Правильність кута (конуса) в деталі також визначають за контрольними рисками кутового шаблона.

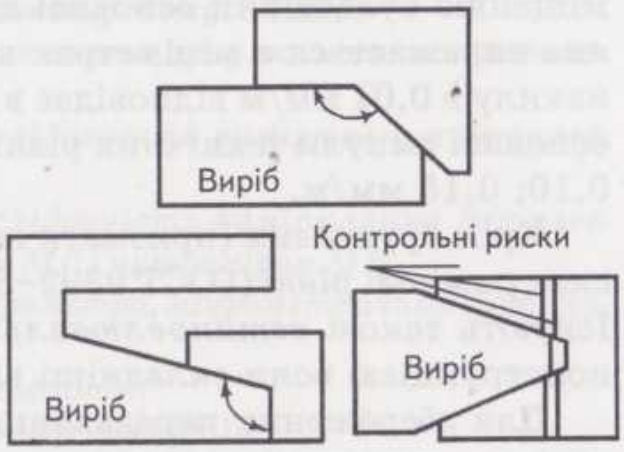


Рис. 3.59. Принципові схеми вимірювання виробів односторонніми кутовими шаблонами

Необхідно також зауважити, що для контролю горизонтального чи вертикального положення поверхонь

деталей відносно базових поверхонь або визначення відхилів від їх положень використовують технічні рівні.

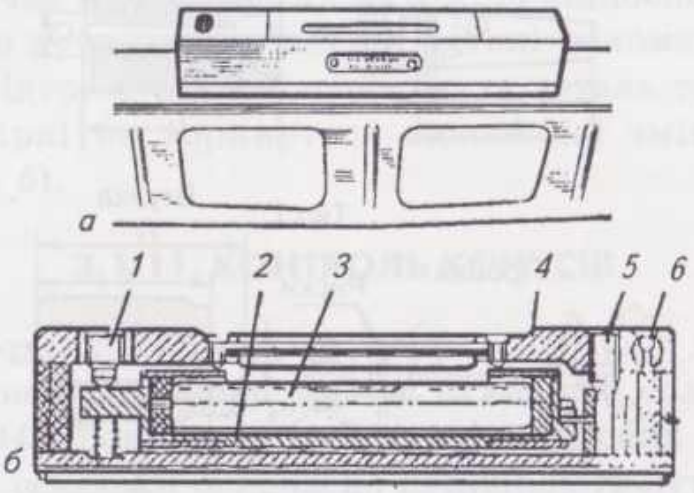


Рис. 3.60. Загальний вигляд брускового (призматичного) рівня (*а*) та його основні елементи (*б*)

Характерний вигляд ***брускового (призматичного) рівня*** подано на рис. 3.60, *а*, *б*. Він складається з гвинтів *1* і *5*, корпуса *2*, ампули *3*, конуса *4*, поперечної ампули *6*.

Принцип його дії полягає в тому, що повітряна бульбашка в ампулі, яка утворюється в запаяній скляній трубці, що не повністю заповнена рідиною, розташована в її верхній частині і при нахилі рівня залишається на місці, а ампула з нанесеними на ній поділками переміщається відносно бульбашки. Ціною поділки ампули називають нахил рівня, що відповідає переміщенню бульбашки основної ампули на одну поділку шкали, яка виражається в міліметрах на довжині 1 м. Наприклад, кут нахилу в 0,01 мм/м відповідає в градусній мірі 2″. Ціна поділки основної ампули технічних рівнів може дорівнювати 0,02; 0,05; 0,10; 0,15 мм/м.

Крім брускових (призматичних) рівнів промисловість випускає ***рамкові рівні*** (ГОСТ 9392–89), які мають квадратну форму. Існують також ***встановлювальні*** та ***мікрометричні рівні***. За конструкцією вони складніші від брускового рівня.

Для збереження передавання одиниці плоского кута та перевірки градуювання кутових засобів вимірювання, а також контролю кутів у виробах використовують кутові призматичні міри (ГОСТ 2875–88). Вони відіграють у кутових вимірюваннях

таку саму роль, що й плоскопаралельні кінцеві міри для контролю довжин. До робочих поверхонь кутових мір висувають такі самі вимоги, як і до плоскопаралельних кінцевих мір. За точністю кутові міри поділяють на три класи точності: 0; 1; 2.

Виготовляють кутові міри наборами з певною кількістю мір для кожного набору (наприклад, набір 8 із 33 шт.) у вигляді трикутних призм із заданими кутами і однієї чотирикутної призми з кутами при вершині $\alpha = 90°$. Матеріалом для виготовлення кутових мір слугує загартована хромиста сталь або твердий сплав. Шорсткість робочих поверхонь кутових мір доводять до R_z = 0,1...0,05 мкм. Складають кутові призматичні міри у блоки так, як і кінцеві міри довжини, орієнтуючись при доборі на останні цифрові розміри блока.

Кути кутоміра чи кути деталі перевіряють на відповідність показів кутового розміру до розміру, складеного із кутових мір. Процедуру перевірки визначають за розміром щілини (просвіту) між контактними поверхнями кутової міри і поверхнями контролюючої деталі або кутоміра чи кутового шаблону.

Контрольні запитання та завдання

1. *Перелічіть прилади та засоби для абсолютних вимірювань.*
2. *Яке призначення вимірювальних металевих лінійок і кутників?*
3. *Охарактеризуйте будову і послідовність вимірювання деталей штангенциркулями ШЦ-1 і ШЦ-2.*
4. *Охарактеризуйте будову і послідовність вимірювання деталей штангенглибиноміром ШГ і штангенрейсмусом ШР.*
5. *Яка точність шкали ноніусів штангенциркуля, штангенглибиноміра та штангенрейсмуса?*
6. *Охарактеризуйте будову і послідовність вимірювання деталей мікрометром МК.*
7. *Охарактеризуйте будову і послідовність вимірювання деталей мікрометричними глибиноміром МГ і нутроміром МН.*
8. *Яка точність шкал ноніусів мікрометра, мікрометричних глибиноміра МГ та нутроміра МН?*
9. *Для чого слугують калібри та шаблони?*
10. *Перелічіть інструменти для контролю кутів.*
11. *Перелічіть інструменти для контролю конусів.*

3.2. ПРИЛАДИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ВІДНОСНИХ ВИМІРЮВАНЬ

3.2.1. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІНДИКАТОРНОЮ СКОБОЮ СИ

Індикаторна скоба СИ (ГОСТ 11098–75) (рис. 3.61) складається із індикатора *1*, важеля *2*, теплоізольованої накладки *3*, корпуса *4*, ковпачка *5*, переставної п'ятки *6*, рухомої п'ятки *7*, пружини *8*, гвинта *9* і слугує для відносного вимірювання деталей з верхньою межею до 1000 мм й точністю вимірювання 0,01 мм.

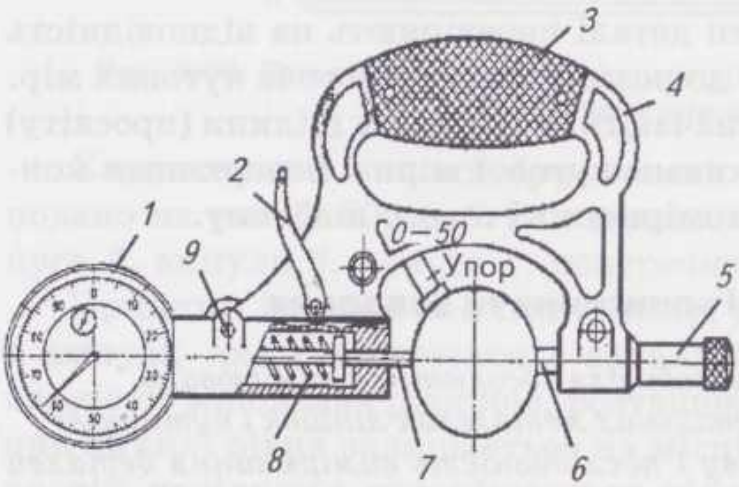


Рис. 3.61. Загальний вигляд індикаторної скоби

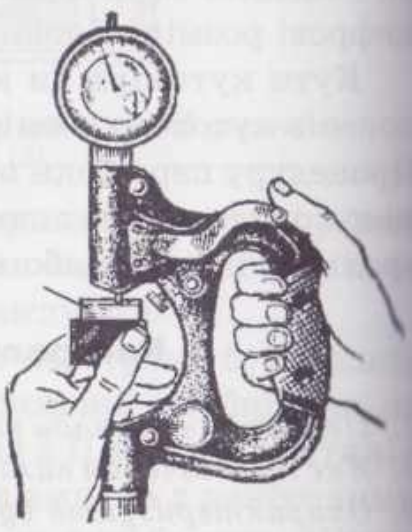


Рис. 3.62. Налагодження індикаторної скоби за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір довжини на заданий розмір

Необхідно зазначити, що індикаторну скобу спочатку налагоджують за допомогою плоскопаралельних кінцевих мір на заданий розмір (рис. 3.62). Якщо контрольований розмір деталі близький до верхньої межі вимірювання індикаторної скоби, то спочатку відгвинчують ковпачок, відпускають затиск переставної п'ятки і вручну виставляють її на розмір, менший від контрольованого. Для зручності обчислень під час контакту п'яток із кінцевими мірами обертають повідок індикатора до встановлення великої стрілки на нульове положення.

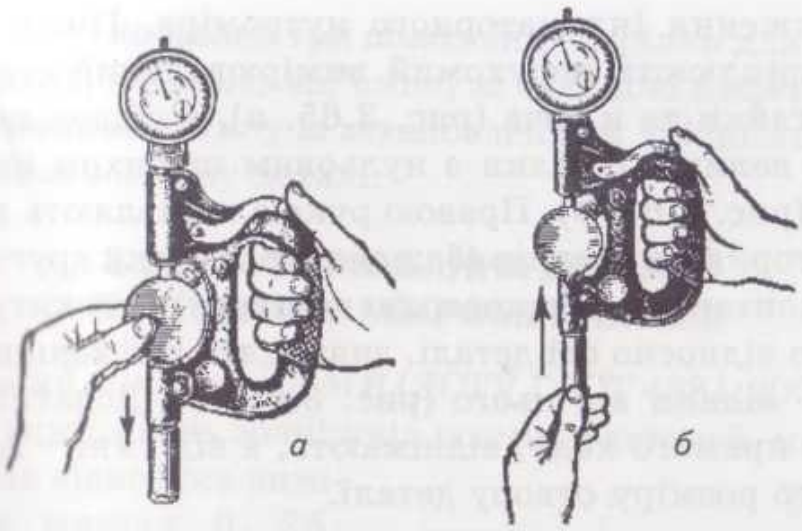


Рис. 3.63. Встановлення індикаторної скоби відносно деталі:
а – незакріпленої; *б* – закріпленої

Індикаторну скобу до вимірюваної деталі фіксують притисканням останньої до переставної п'ятки та її просуванням між поверхнею рухомої п'ятки; при цьому похитуванням скоби усувають можливі перекоси, які можуть виникнути між їхніми контактними поверхнями (рис. 3.63, *а*). Маса скоби не повинна передаватися на рухому п'ятку. Після встановлення індикаторної скоби відносно деталі (рис. 3.63, *б*) визначають знак і розмір відхилів. Додатні відхили, які одержують за прямого ходу, додають до розміру, на який була налагоджена скоба, а від'ємні – віднімають від нього.

3.2.2. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ІНДИКАТОРНИМ НУТРОМІРОМ

Індикаторні нутроміри належать до приладів відносних вимірювань, які використовують для контролю внутрішніх розмірів деталей від 6 до 1000 мм. Інтервали вимірювання: 6...10; 10...18; 18...50; 50...100; 100...160; 160...250; 250...450; 450...700; 700...1000 мм. Індикатори годинникового типу виробляють за ДСТУ ГОСТ 577:2009 з точністю вимірювання 0,01 мм.

Залежно від контрольованого розміру деталі вибирають й попередньо закріплюють нерухомий вимірювальний стрижень (рис. 3.64, *а*). Потім на мікрометрі, закріпленому на стояку (рис. 3.64, *б*) або за допомогою кінцевих мір із боковичками, закріпленими у спеціальних струбцинах, встановлюють розмір

для налагодження індикаторного нутроміра. Після цього остаточно закріплюють нерухомий вимірювальний стрижень за допомогою гайки та ключа (рис. 3.65, *а*), а обідок повертають до збігання великої стрілки з нульовим штрихом циферблата індикатора (рис. 3.65, *б*). Правою рукою вставляють в отвір деталі індикаторний нутромір (бажано на початку другого оберту стрижня з контактуючою поверхнею отвору) і розхитуючи його вправо-вліво відносно осі деталі, знаходять найменший розмір, а точніше – відхил від нього (рис. 3.65, *в*). Додатні відхили, одержані за прямого ходу, віднімають, а від'ємні – додають до номінального розміру отвору деталі.

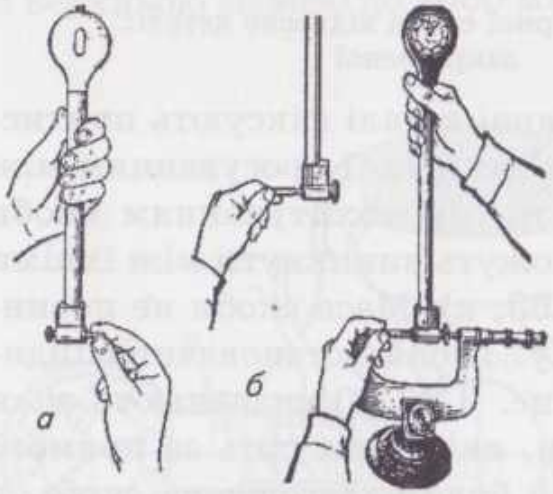


Рис. 3.64. Положення рук при закріпленні нерухомого вимірювального стрижня (*а*) та встановленому вимірювальному стрижні в мікрометрі, закріпленому в стояку (*б*)

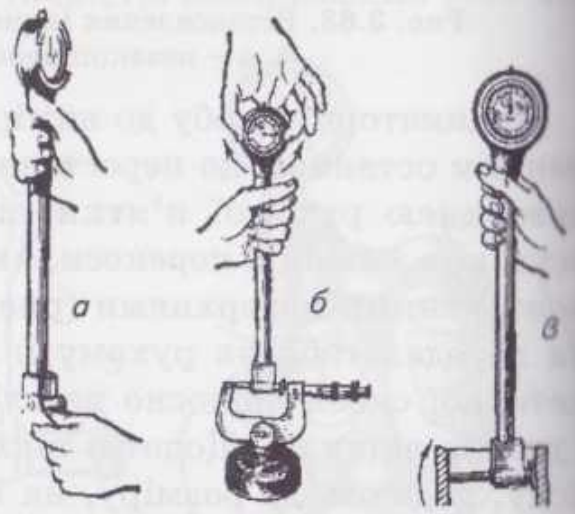


Рис. 3.65. Визначення відхилів при закріпленні нерухомого вимірювального стрижня гайковим ключем (*а*); встановлення поворотного обідка (*б*); похитування нутроміра при вимірюванні отвору (*в*)

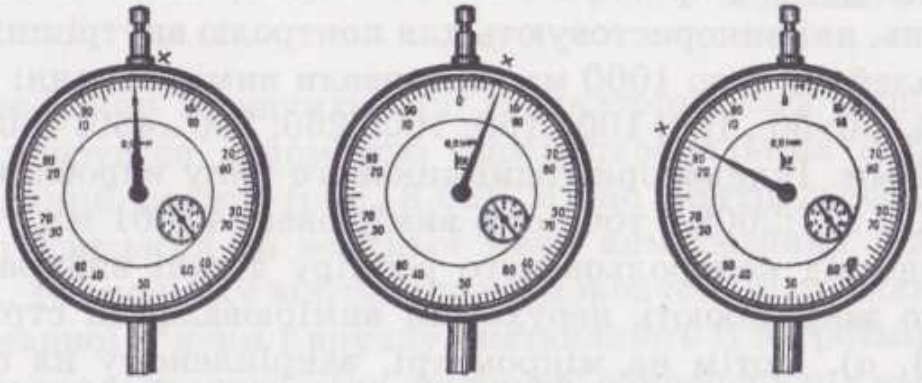


Рис. 3.66. Три положення стрілки для обчислення відхилів за шкалою циферблата індикатора годинниково типу

На рис. 3.66 показано три положення стрілки для підрахунку шкалів (нуль, додатне, від'ємне) за шкалою циферблата індикатора годинниково типу із встановленими дійсними розмірами нормованого отвору деталі.

3.2.3. ВИМІРЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВАЖІЛЬНИМ МІКРОМЕТРОМ МВ

Важільний мікрометр МВ (ДСТУ ГОСТ 4381:2009), призначений для вимірювань зовнішніх розмірів деталей, можна застосовувати для відносних вимірювань у межах 0...25; 25...50 мм. Основними складовими важільного мікрометра типу МВ (рис. 3.67) є шкала *1*, рухома п'ятка *2*, встановлювана міра *3*, мікрометрична головка *4*, ключ *5*, скоба *6*, покажчик меж поля допуску *7*, кнопка відведення рухомої п'ятки *8*.

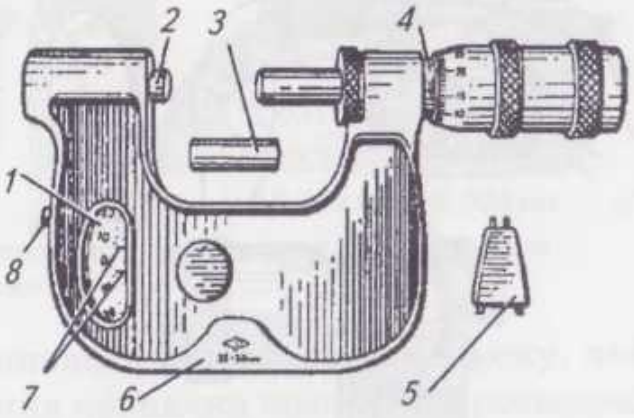


Рис. 3.67. Загальний вигляд важільного мікрометра МВ

Крім мікрометричної головки такий мікрометр має важільно-відліковий пристрій з ціною поділки 0,002 мм (рис. 3.68, *а*). Межі вимірювання відлікового пристрою ±0,02 мм.

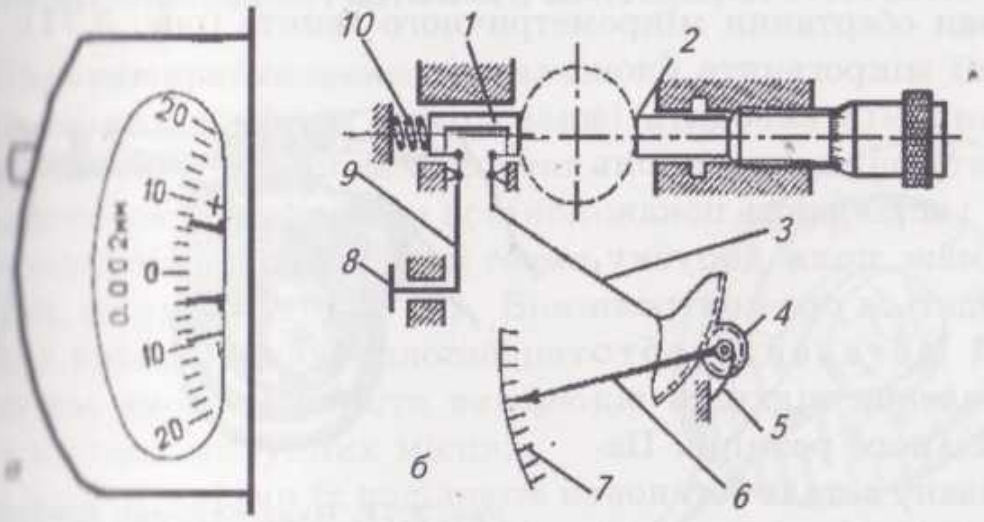


Рис. 3.68. Важільно-відліковий пристрій мікрометра МВ (*а*) та його основні деталі (*б*).

Основними деталями пристрою (рис. 3.68, *б*) є рухома п'ятка *1*, нерухома п'ятка *2*, важіль секторний *3*, зубчастий триб *4*, волосок *5*, стрілка *6*, шкала *7*, кнопка *8*, важіль *9*, пружина *10*.

Перед безпосереднім вимірюванням перевіряють нульове положення мікрометра. У разі збігання стрілки з нульовим штрихом шкали відлікового пристрою мікрометрична головка повинна перебувати в нульовому положенні (рис. 3.69). Безпосереднє вимірювання заданого розміру деталі проводять зчитуванням показу на мікрометричній головці мікрометра (рис. 3.70).

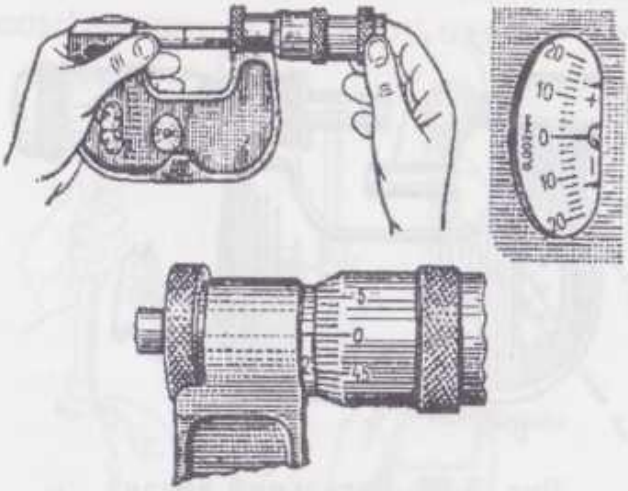


Рис. 3.69. Перевірка нульового положення важільного мікрометра МВ

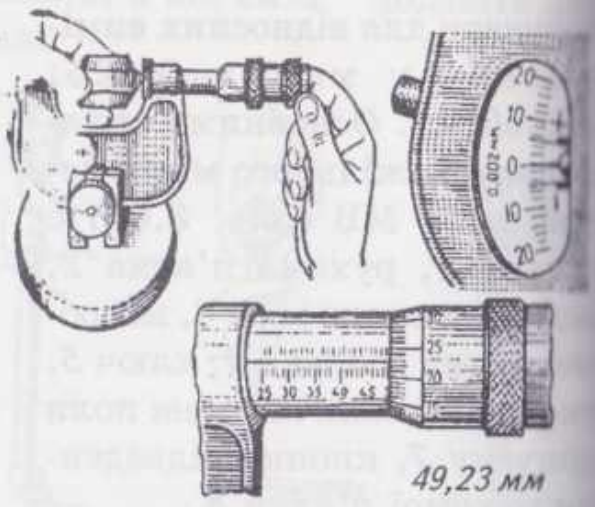


Рис. 3.70. Вимірювання заданого розміру деталі важільним мікрометром МВ

У разі відносних вимірювань важільний мікрометр налагоджують за блоком кінцевих мір довжини необхідних розмірів за умови обертання мікрометричного гвинта (рис. 3.71). Після фіксації мікрогвинта блок кінцевих мір виводять із контактуючих поверхонь п'яток і вставляють покажчики меж поля допуску, коли йдеться про контроль партії деталей, тобто встановлення відхилів від номінального розміру. Перевірювану деталь встановлюють між вимірювальні поверхні мікрометра, усу-

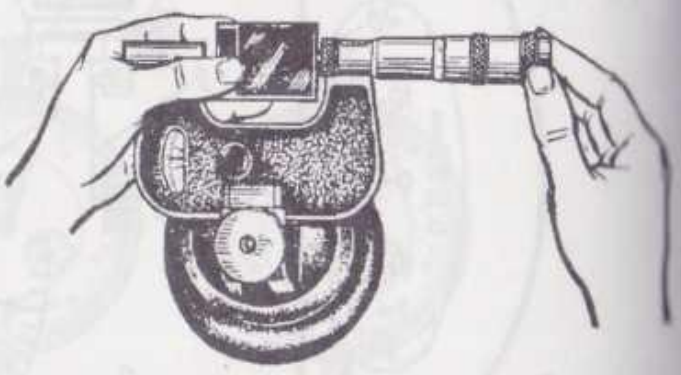
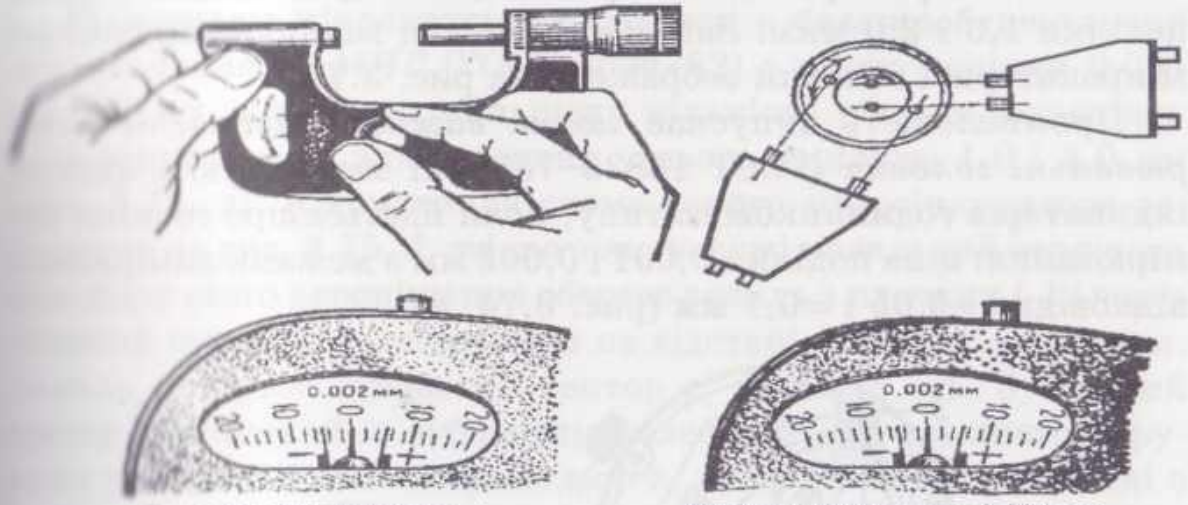


Рис. 3.71. Налагодження важільного мікрометра МВ за допомогою кінцевих мір довжини

шать перекоси, переміщуючи їх між контактними п'ятками, визначають відхили й встановлюють дійсні розміри деталі.



Поле допуску 0,002 мм Відхил: +0,004 мм; −0,004 мм

Рис. 3.72. Встановлення меж поля допуску на шкалі важільного мікрометра МВ

На рис. 3.72. показано встановлення меж поля допуску, яке здійснюють після відгвинчування ковпачка незначним розведенням гайкового ключа. Задають поле допуску переміщенням лівого покажчика відносно правого, а потім більшим розведенням гайкового ключа поле допуску виставляють відносно нульового штриха шкали важільного мікрометра.

3.3.4. МІКРОКАТОРНІ ГОЛОВКИ, ОПТИКАТОРИ ТА ОПТИМЕТРИ

Мікрокаторні головки призначені для точних лінійних вимірювань різних деталей відносним контактним способом, а також для встановлення відхилів від правильної геометричної форми (рис. 3.73). Вони прості в користуванні, малогабаритні, що дає змогу здійснити вимірювання у важкодоступних місцях.

За конструкціями їх поділяють на *пружинні*, які мають пружинний механізм мікрокатора (ГОСТ 28798–90)

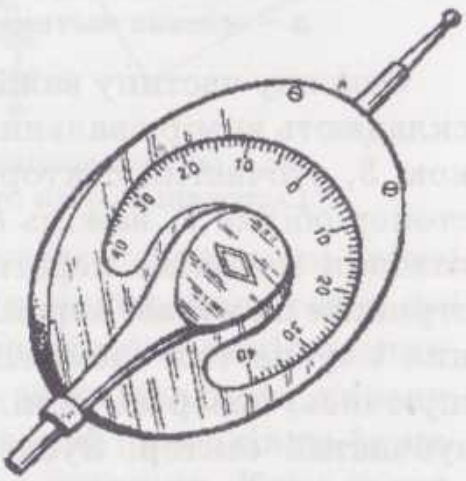


Рис. 3.73. Загальний вигляд мікрокаторної головки

з ціною поділки 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 мкм, та *важільно-пружинні мікрокатори* бічної дії – кут повороту вимірювального наконечника забезпечує перпендикулярність до площини шкали з ціною поділки 1,0 і 2,0 мкм. Загальний вигляд важільно-пружинної мікрокаторної головки зображено на рис. 3.73.

Промисловість випускає також ***важільно-зубчасті вимірювальні головки*** (ГОСТ 18833–73), які застосовують замість індикаторів годинникового типу, коли йдеться про точніші вимірювання: ціна поділки 0,001 і 0,002 мм з межами вимірювань відповідно ±0,05 і ±0,1 мм (рис. 3.74, *а*).

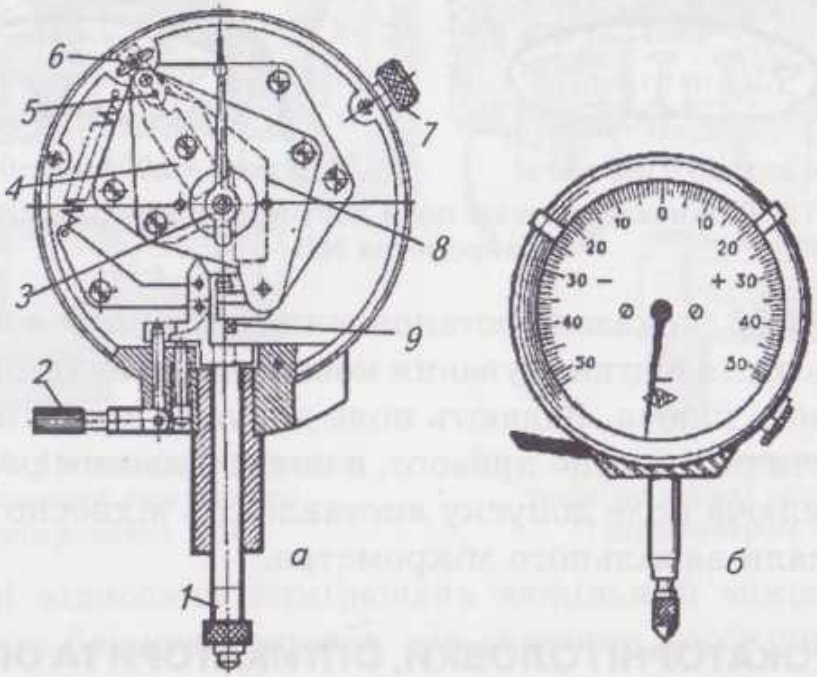


Рис. 3.74. Загальний вигляд важільно-зубчастої вимірювальної головки:
а – основна частина; *б* – головка зі шкалою вимірювань

Основну частину важільно-зубчастої вимірювальної головки складають вимірювальний стрижень *1*, відводка *2*, триб зі стрілкою *3*, зубчастий сектор *4*, опорний штифт *5*, компенсатор *6*, стопор обідка *7*, важіль *8*, ексцентрик *9*. У важільно-зубчастої головки механізм перетворення переміщення вимірювального стрижня на кутові переміщення стрілки складається із важільних і зубчастих елементів. Вимірювальний стрижень, переміщуючись, повертає важіль, який через опорний штифт обертає зубчастий сектор. Зубчастий сектор, з'єднуючись із трибом, обертає стрілку, яка насаджена на його вісь. Довжину малого плеча важеля регулюють ексцентриком, а положення зубчас-

його сектора – переміщенням компенсатора. Загальний вигляд важільно-зубчастої головки зі шкалою вимірювань показано на рис. 3.74, *б* відповідно.

Різновидом мікрокаторних головок є ***багатообертальний мікроіндикатор МИГ*** (ГОСТ 9696–82) з ціною поділки 0,001 і 0,002 мм, який має збільшену кількість обертів, внаслідок чого верхня межа вимірювання у нього дорівнює 1,0 і 2,0 мм (рис. 3.75, *а*). Кінематична схема такого мікроіндикатора зображена на рис. 3.75, *б*, згідно з якою вимірювальний стрижень внаслідок свого переміщення обертає важіль з плечами l_1 і l через вертикальний штифт, розташований на відстані l_2 від осі обертання. Важіль повертає зубчастий сектор z_1 навколо осі. Зубчастий сектор зачеплений із зубчастим колесом z_2, на осі якого нерухомо насаджено колесо z_3. Колесо z_3 знаходиться у зчепленні з тибом z_4, на осі якого встановлено стрілку. Колесо z завдяки пружинному волоску забезпечує однопрофільне зчеплення.

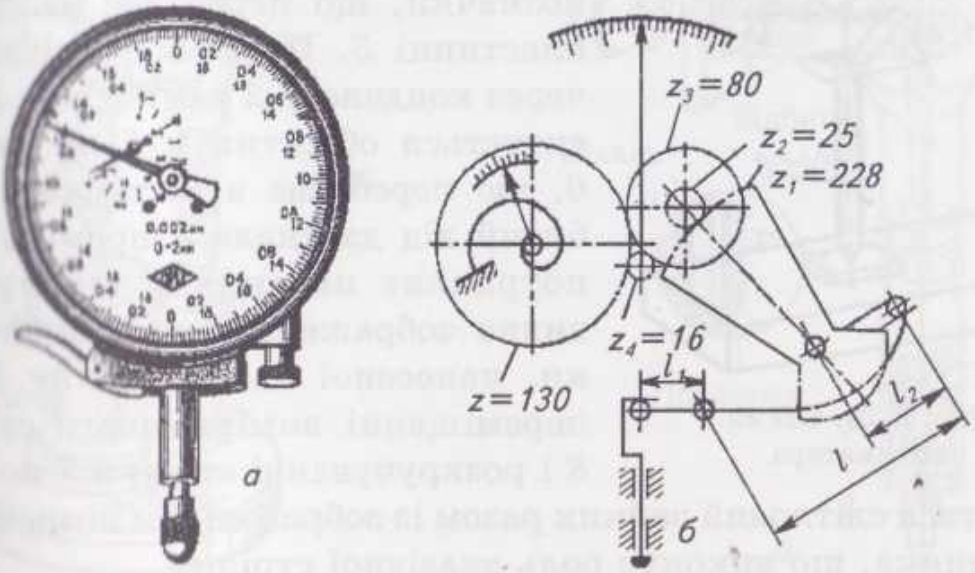


Рис. 3.75. Головка зі шкалою вимірювання (*а*) та кінематична схема багатообертального мікроіндикатора (*б*)

Перед перевіркою важільно-механічними приладами деталі протирають, аби позбутися крапель води, оливи, пилу тощо, які можуть вплинути на значення похибок під час вимірювання. Потрібно уникати потрапляння пилу із наждачного паперу, емульсії з верстатів на контрольні поверхні приладів та їх механізмів. Не можна струшувати прилад стрижня. Крім цього, забороняється відкривати механізми важільно-механічних го-

ловок для їх налагодження чи ремонту особам, які не мають кваліфікації юстувальника чи налагоджувальника.

Описані інструменти та прилади слід укладати в захисні футляри, коробки й зберігати в сухих приміщеннях, лабораторіях.

Оптикатор (ГОСТ 28798–90), принципова схема якого зображена на рис. 3.76, побудований за тим самим принципом, що й мікрокатор. Він складається із джерела світла *1*, конденсора *2*, скляної пластинки з позначкою *3*, шкали *4*, об'єктива *5*, дзеркала *6*, скрученої стрічки *7*, вимірювального стрижня *8* і вимірюваної деталі *9*.

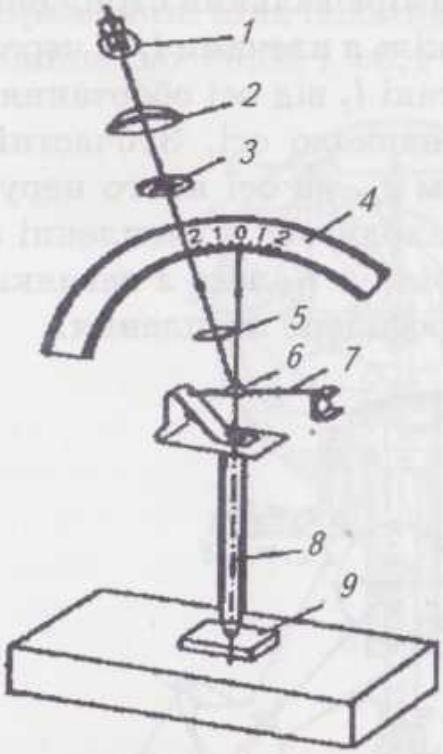


Рис. 3.76. Схема оптикатора

На відміну від мікрокатора в оптикаторі на скрученій стрічці *7* замість стрілки закріплено дзеркало *6*, яке відбиває на шкалу *4* зображення позначки, що перебуває на скляній пластинці *3*. Позначка освітлюється через конденсор *2* лампочкою *1* і проектується об'єктивом *5* на дзеркало 6, що перебуває в його фокусі. Відбитий від дзеркала *6* промінь світла потрапляє на скляну шкалу *4*, де видно зображення вказівної позначки, нанесеної на пластинку *3*. При переміщенні вимірюваного стрижня *8* і розкручуванні стрічки *7* по шкалі рухається світловий зайчик разом із зображенням позначкового вказівника, що виконує роль вказівної стрілки.

Чутливість оптикатора удвічі вища, ніж чутливість мікатора. Ціна поділки шкали залежить від моделі оптикатора і становить 0,0001...0,001 мм, а межі вимірювання за шкалою ±0,012...0,125 мм за допустимої похибки в межах шкали 0,05...0,4 мкм відповідно. У разі відносних вимірювань, як і інші вимірювальні головки, оптикатор налагоджують за допомогою блока кінцевих мір довжини.

Оптиметри належать до важільно-оптичних вимірювальних приладів. Робота оптиметра побудована на принципі

автоколімації, в основу якої покладена властивість об'єктива перетворювати пучок променів, що виходять із джерела світла, розташованого в його фокусі, на пучок паралельних променів, а потім збирати цей пучок, відбитий від дзеркала, у тому самому фокусі об'єктива. Для зручності в обслуговуванні оптичну систему оптиметра вмонтовано в трубку, зігнуту під прямим кутом (рис. 3.77, *а*, *б*). Промені світла від електричної лампочки *7* за допомогою дзеркала *6* спрямовуються на тригранну призму *5*, проходять через неї і потрапляють на шкалу *4* плоскої скляної пластинки *3*. Сама шкала зміщена в горизонтальному напрямку відносно основної оптичної осі *11* і має ±100 поділок на довжині 0,08 мм для зчитування як додатних, так і від'ємних відхилів вимірювального об'єкта (деталі).

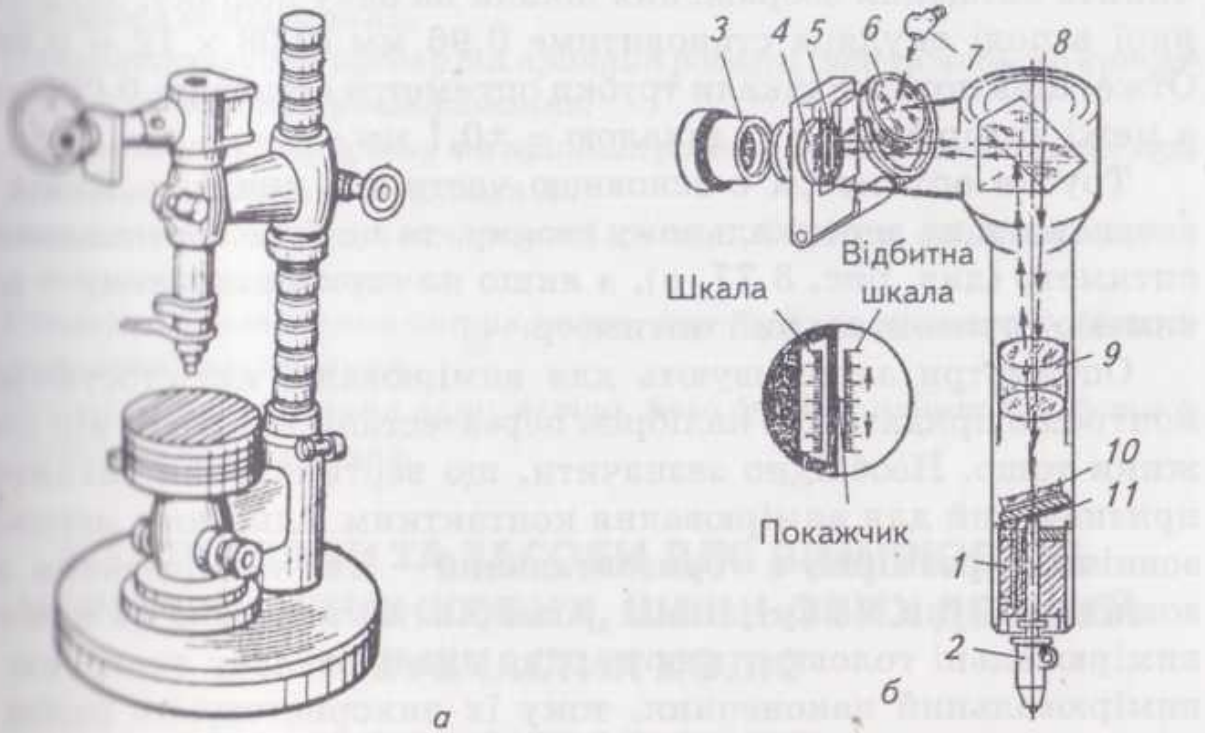


Рис. 3.77. Вертикальний оптиметр (*а*) і його схема (*б*)

Далі пучок променів проходить шкалу *4* плоскої скляної пластинки *3*, потім через заломлювальну призму *8* і об'єктив *9* потрапляє на дзеркало *10*, яке може відхилятися від дії вимірювального стрижня *1* за рахунок того, що його нижній кінець дотикається до вимірюваного виробу. Відбиті від дзеркала *10* промені тепер проходять через об'єктив і заломлювальну призму на шкалу *4* зі зміщенням у вертикальному напрямку відносно основної оптичної осі *11*. Розмір зміщення відбитої шкали у вер-

тикальному напрямку, яке спостерігаємо в окулярі *3* оптиметра, залежить від кута нахилу дзеркала *10*. Розмір цього зміщення оцінюють відносно нерухомого покажчика. За переміщенням шкали *4* спостерігають через окуляр *3*, коли дзеркало *10* з'єднане з вимірювальним стрижнем *1* за допомогою підпружиненого штока *2*, який створює вимірювальне зусилля. Натисканням на аретир підіймають вимірювальний стрижень вгору.

Трубка оптиметра має передавальне відношення 80:1. Це означає, що за переміщення вимірювального стрижня *1* на 1 мкм зображення шкали переміститься на 80 мкм. Оскільки відлік проводять через окуляр $12^{\times}$, то загальне збільшення зображення у трубці оптиметра буде становити $960^{\times}$ ($80 \times 12 = 960$). Таким чином, переміщення вимірювального стрижня на 0,001 мм спричинить зміщення зображення шкали на одну поділку, довжина якої в полі окуляра становитиме 0,96 мм ($0{,}08 \times 12 = 0{,}96$). Отже, ціна поділки шкали трубки оптиметра становить 0,001 мм, а межі вимірювання за шкалою – ±0,1 мм.

Трубка оптиметра є основною частиною приладу. Якщо її встановити на вертикальному стояку, то це буде вертикальний оптиметр (див. рис. 3.77, *а*), а якщо на горизонтальному – матимемо горизонтальний оптиметр.

Оптиметри застосовують для вимірювань, які стосуються контролю придатності калібрів, переатестації кінцевих мір довжини тощо. Необхідно зазначити, що вертикальний оптиметр призначений для вимірювання контактним відносним методом зовнішніх розмірів, а горизонтальний – для вимірювання як зовнішніх, так і внутрішніх розмірів. Оптиметри, як і інші вимірювальні головки, мають одну вимірювальну поверхню – вимірювальний наконечник, тому їх використовують разом з іншими приладами, найчастіше за наявності стояка.

Перед початком вимірювання оптиметр налагоджують "на нуль" за допомогою блока плоскопаралельних кінцевих мір довжини або еталонної деталі. Розмір блока повинен дорівнювати номінальному розміру контрольованої деталі, при цьому нульова позначка зображеної шкали повинна збігатися з покажчиком.

Після цього натисканням на аретир підіймають вимірювальний стрижень *1*, забирають блок кінцевих мір і замість нього на предметний столик встановлюють деталь так, щоб при відпуще-

ному аретирі вимірювальний наконечник торкався її поверхні. Плавно перекочуючи деталь (якщо вона циліндричної форми) по предметному столику, визначають найбільший (вправо) відхил стрілки, який відповідатиме відхилу розміру деталі від номінального його значення.

Дійсний розмір деталі визначають як алгебраїчну суму номінального розміру, на який був налагоджений оптиметр "на нуль", і відліку за шкалою оптиметра з урахуванням знака відхилу стрілки від нульового її положення.

Контрольні запитання та завдання

1. *Перелічіть прилади та засоби для відносних вимірювань деталей.*
2. *Охарактеризуйте будову та принцип роботи індикаторної скоби, її точність вимірювання.*
3. *Охарактеризуйте будову та принцип роботи індикаторного нутроміра, його точність вимірювання.*
4. *Охарактеризуйте будову та принцип роботи важільного мікрометра МВ, його точність вимірювання.*
5. *Опишіть призначення мікаторної головки, її будову, принцип роботи й точність вимірювання.*
6. *Опишіть призначення оптикатора, його будову, принцип роботи й точність вимірювання.*
7. *Опишіть призначення оптиметра, його будову, принцип роботи й точність вимірювання.*

3.3. ПРИЛАДИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ НАРІЗНИХ, ШПОНКОВИХ, ШЛІЦЬОВИХ ДЕТАЛЕЙ І ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

3.3.1. КОНТРОЛЬ НАРІЗІ

Для наближеного визначення кроку нарізі слугують ***нарізні шаблони***, які накладають зубцями на нарізну поверхню деталі (рис. 3.78, *а*, *б*). Нарізні шаблони комплектують наборами окремо для метричної та дюймової нарізей. Їхні розміри кроку для метричних нарізей – від 0,4 до 6 мм, а для дюймових нарізей – від 28 до 11 ниток на 1″. Крім кроку у нарізі за допомогою шаблонів визначають і її профіль.

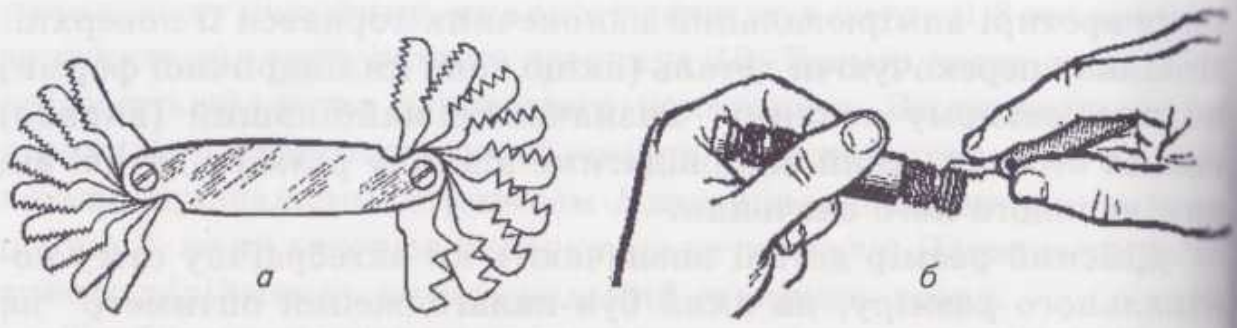


Рис. 3.78. Загальний вигляд нарізного шаблона для наближеного встановлення кроку нарізі (*а*) та накладання його зубців на нарізну поверхню деталі (*б*)

Прогресивнішими контрольними засобами є ***нарізні калібри***. За формою поверхні вони бувають циліндричними та конічними. Найпоширеніші циліндричні нарізні калібри-пробки та нарізні калібри-кільця. Їх застосовують для контролю внутрішніх і зовнішніх нарізей. Нарізними калібрами здійснюють комплексний контроль, тобто одночасно перевіряють декілька основних елементів нарізі, а саме кут профілю α; крок P і три діаметри нарізі $Д\,(d); Д_2\,(d_2); Д_1\,(d_1)$ – зовнішній, середній і внутрішній для гайки і болта відповідно.

Нарізні калібри, так само як і гладкі циліндричні калібри-пробки та калібри-скоби для контролю отворів і валів, мають прохідну (ПР) і непрохідну (НЕ) сторони. Як приклад на рис. 3.79 зображено нарізний калібр (ГОСТ 17763–72 і ГОСТ 17764–72) з прохідним і непрохідним нерегульованими кільцями від 1 до 100 мм. Прохідні нарізні калібри-пробки виготовляють з повним профілем нарізі та більшою довжиною гвинтової нарізної поверхні. Непрохідні нарізні калібри-пробки мають вкорочені профіль і довжину, що усуває вплив похибок кута профілю та кроку під час контролю середнього діаметра нарізі. Аналогічно виготовляють нарізні калібри-кільця. При цьому непрохідне нарізне кільце також коротше від про-

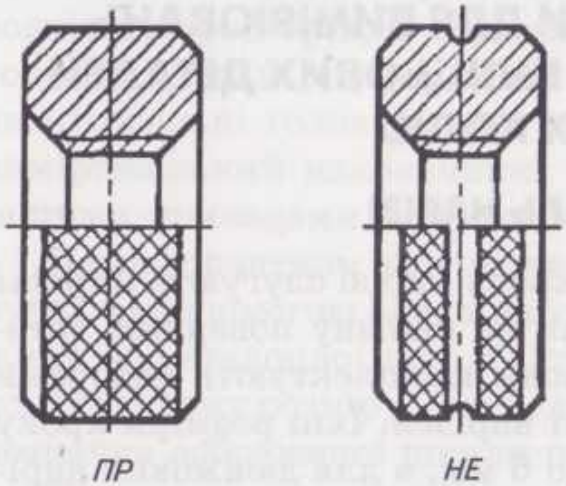


Рис. 3.79. Нарізний калібр з прохідним (ПР) і непрохідним (НЕ) нерегульованими кільцями

зового і має посередині виточку. Нарізні калібри-кільця бувають нерегульовані (суцільні) і регульовані, нарізні калібри-пробки – суцільні і зі вставками.

Процедура контролю нарізними калібрами полягає в тому, що прохідна сторона повинна після нагвинчування вільно згвинчуватися із контрольованої нарізної поверхні деталі, а непрохідна не повинна з неї згвинчуватися (рис. 3.80, *а*, *б*). Допускається нагвинчування на одну-дві нитки з торця нарізної деталі непрохідних сторін калібрів нарізної пробки та нарізного кільця.

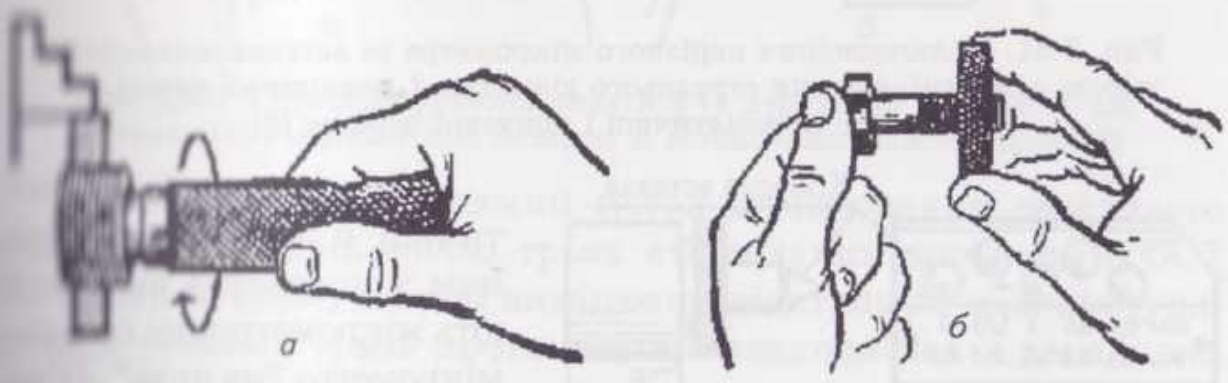


Рис. 3.80. Нагвинчування прохідної сторони (ПР) нарізних калібра-пробки (*а*) та калібра-кільця (*б*)

Характерні конструкції нарізних калібрів-пробок і калібрів-кілець із вкрученими ручками подано в ГОСТ 17767–72, а нарізних калібрів і технічні умови до них – в ГОСТ 2016–86 відповідно.

3.3.2. ВИМІРЮВАННЯ СЕРЕДНЬОГО ДІАМЕТРА d_2 НАРІЗІ НАРІЗНИМ МІКРОМЕТРОМ ЗІ ВСТАВКАМИ

Нарізний мікрометр зі вставками (ГОСТ 4380–93) застосовують для вимірювання середнього діаметра d_2 зовнішньої нарізі з трикутним профілем $\alpha = 60^\circ$ (рис. 3.81, *а*, *б*). Метод вимірювання прямий, абсолютний, межі вимірювання від 0 до 350 мм з інтервалом 25 мм.

Вибір і встановлення вставок у нарізний мікрометр здійснюють відповідно до кроку контролюючого діаметра нарізної поверхні (згідно з маркуванням і таблицею, що знаходяться у футлярі). Призматичну вставку встановлюють в отвір п'ятки, а конусну – в мікрогвинт (рис. 3.82).

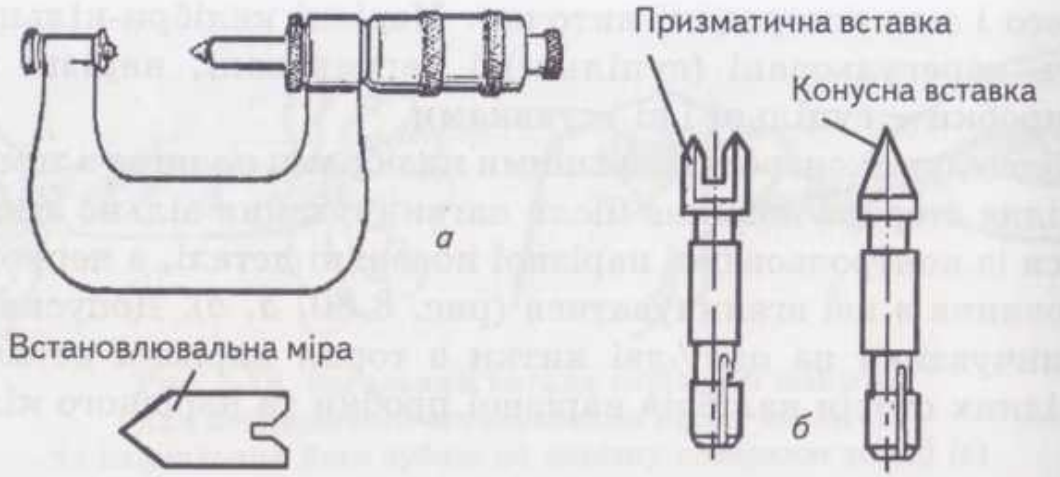


Рис. 3.81. Налагодження нарізного мікрометра за встановлювальною мірою для вимірювання середнього діаметра d_2 зовнішньої нарізі (*а*) та набір призматичної і конусної вставок (*б*)

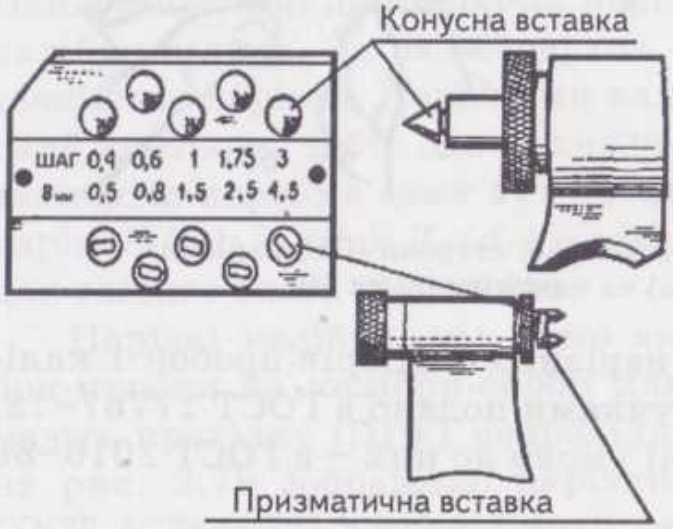


Рис. 3.82. Встановлення конусної і призматичної вставок у рухому й нерухому п'ятки нарізного мікрометра для вимірювання середнього діаметра d_2 зовнішньої нарізі

За відведеної призматичної п'ятки переміщенням мікрогвинта виставляють мікрометричну головку мікрометра "на нуль". П'ятки з призматичною вставкою зводять до контакту з конусною (рис. 3.83, *а*) (якщо мікрометр має межі вимірювання 0...25 мм) або зі встановлювальною мірою (рис. 3.83, *б*). П'ятку переміщують за допомогою гайок, що розташовані з обох боків. Відгвинчуючи гайку, яка знаходиться зліва від п'ятки та загвинчуючи другу гайку, п'ятку наближають до мікрогвинта, і навпаки. Довівши до контакту вставки між собою або до встановлювальної міри, відводять мікрогвинт і перевіряють встановлення нарізного мікрометра в нульове положення. Якщо цього не досягли, то процедуру коригують за описаною послідовністю (аналогічно, як для гладкого мікрометра під час зовнішніх вимірювань).

Вимірювання середнього діаметра нарізі d_2 здійснюють, закріпивши нарізний мікрометр у тримачі, а вставки зводять

до контакту так, щоб вимірювану нарізну деталь можна було пропустити через її зовнішній діаметр. Зчитування показів d_2 виконують так само, як на мікрометрі.

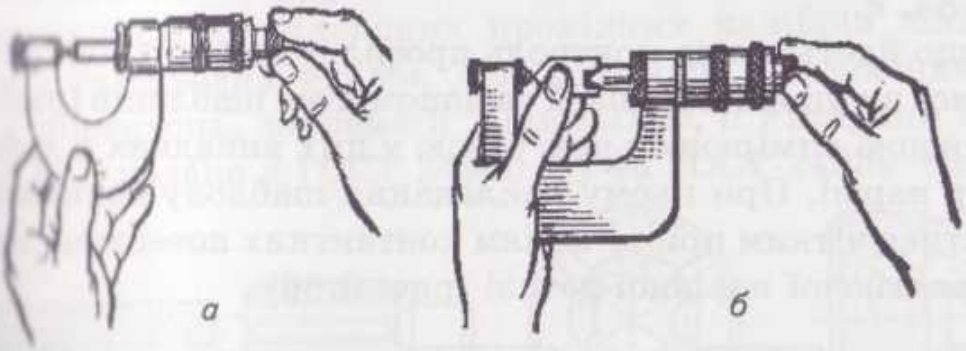


Рис. 3.83. З'єднання рухомої конусної та нерухомої призматичної вставок (*а*) і контакт цих вставок зі встановлювальною мірою (*б*)

Відомий також непрямий метод вимірювання середнього діаметра d_2 за допомогою трьох атестованих дротинок (ГОСТ 1475–88). У цьому методі вимірюють відстань M між виступаючими точками трьох дротинок, що знаходяться у западинах нарізі. Потім за емпіричною формулою проводять обчислення середнього діаметра, наприклад для дюймової нарізі: $d_2 = M - 3{,}165d_{др} + 0{,}9605P$, де $d_{др}$ – діаметр дротинок, який добирають за таблицею з урахуванням кроку нарізі P.

Для метричної нарізі структура формули є такою: $d_2 = M - 3d_{др} + 0{,}866P$.

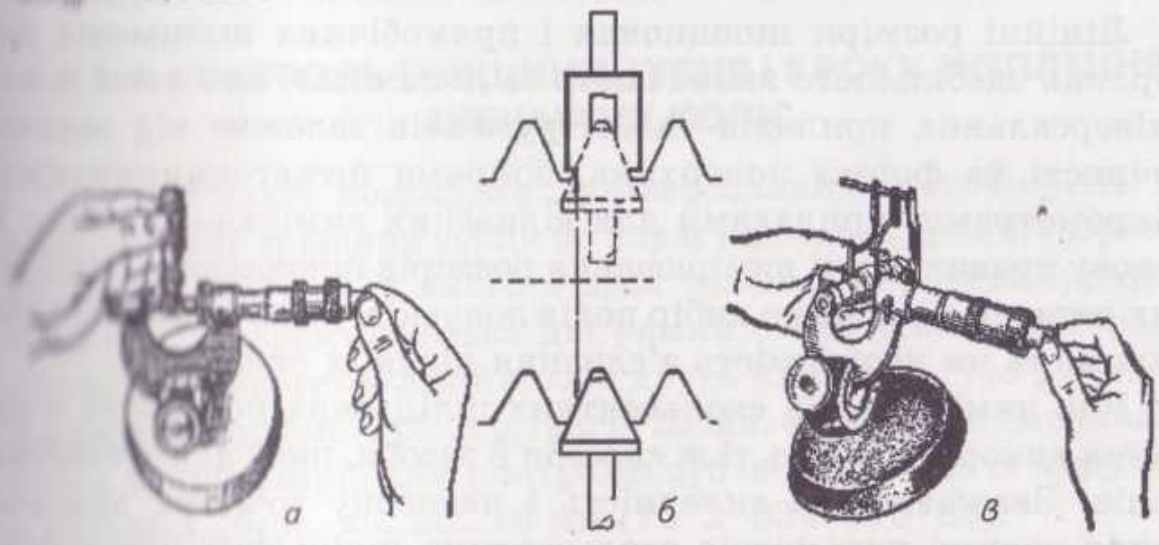


Рис. 3.84. Вимірювання d_2 зовнішньої нарізі за умови закріплення нарізного мікрометра у тримачі (*а*); за умови контакту конусної й призматичної вставок з її профілем (*б*); за схемою трьох дротинок гладким мікрометром, закріпленим у спеціальному тримачі (*в*)

Схема вимірювання розміру M за допомогою трьох дротинок, що знаходяться у западинах нарізної деталі за допомогою гладкого мікрометра, закріпленого у тримачі, зображена на рис. 3.84, *в*.

Якщо йдеться про контроль профілю трапецієподібної, прямокутної чи упорної нарізей за допомогою шаблонів (рис. 3.85), то основною вимірювальною базою у цих випадках є зовнішній діаметр нарізі. При цьому накладання шаблону повинно забезпечуватися чітким прилляганням контактних поверхонь шаблону і контролюючої нарізної деталі (рис. 3.86).

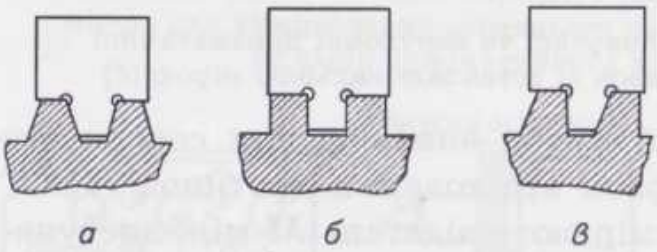


Рис. 3.85. Контроль профілю трапецієподібної (*а*), прямокутної (*б*) та упорної (*в*) нарізей за допомогою шаблонів

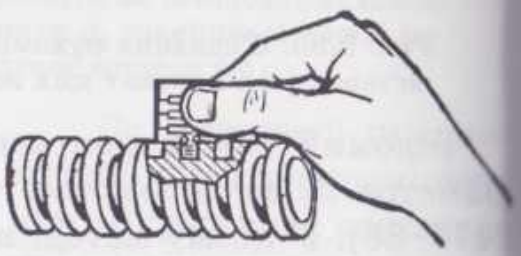


Рис. 3.86. Накладання шаблону на нарізну деталь для контролю її профілю

3.3.3. КОНТРОЛЬ ШПОНКОВИХ І ШЛІЦЬОВИХ ДЕТАЛЕЙ

Лінійні розміри шпонкових і прямобічних шліцьових поверхонь здебільшого визначають за допомогою вимірювальних універсальних приладів та інструментів залежно від заданої точності та форми поверхонь, зокрема штангенциркулями, мікрометрами, приладами для відносних вимірювань тощо. В основу правильності вимірювання розмірів шпонкових і шліцьових деталей покладено вибір полів допусків, які б забезпечували рухомість чи нерухомість з'єднання після їх складання.

Для вимірювання евольвентних шліцьових поверхонь з'єднання використовують ті ж способи й засоби, що й для зубчастих коліс. Зважаючи на складність і невисоку точність вимірювання деяких параметрів евольвентних шліцьових поверхонь, їх точність забезпечують технологією виготовлення (точністю шліценарізних інструментів – протяжок, модульних фрез, якої досягають послідовністю операцій оброблення).

Задану якість шпонкових і шліцьових деталей (у разі серійного чи масового виробництв) забезпечують за допомогою нових конструкцій комплексних прохідних і поелементних непрохідних калібрів, регламентованих ГОСТ 24109–80.

Конструкції комплексних прохідних калібрів шліцьових пробок і шліцьових втулок для контролю прямобічних шліцьових поверхонь, зокрема її діаметрів D, d і ширини шліца b (рис. 3.87), подано в ГОСТ 24960–81 та ГОСТ 24959–81.

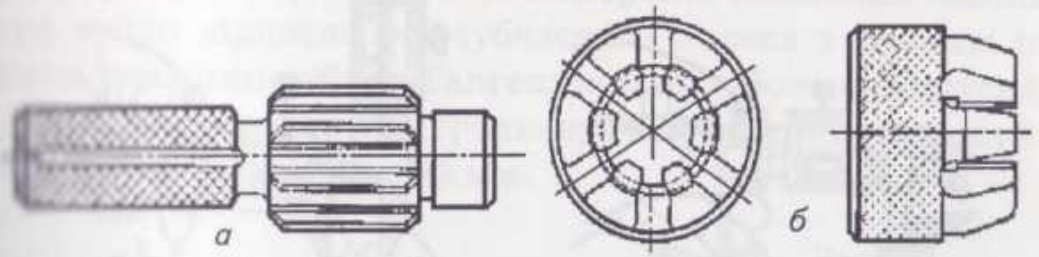


Рис. 3.87. Конструкції комплексних прохідних калібрів шліцьових пробок (*а*) і шліцьових втулок (*б*)

Аналогічні конструкції калібрів є і для контролю поверхонь деталей з евольвентним профілем шліца (ГОСТ 24969–81).

Для контролю ширини шпонкового чи шліцьового пазів у валів і втулки слугують пластинчасті калібри з прохідними та непрохідними боками. Прохідні шпонкові та шліцьові калібри контролюють не тільки розмірні параметри таких з'єднань, а й відхил від правильної геометричної форми (паралельність, циліндричність шліців, пазів чи діаметрів деталей).

3.3.4. КОНТРОЛЬ ТОВЩИНИ ЗУБЦЯ І КРОКУ ЗЧЕПЛЕННЯ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

До найбільш поширених універсальних інструмéнтів для вимірювання товщини зубця по хорді належать *штангензубомір* ШЗ (рис. 3.88, *а*), у якого в двох взаємно перпендикулярних направляючих переміщаються дві рамки з ноніусом. Одна рамка з'єднана з висотною лінійкою, а друга має губку, що рухається відносно нерухомої губки штанги. Штангензубоміри випускають трьох типорозмірів для контролю зубчастих коліс із модулями в межах 1...6, 5...25, 20...26 мм (ТУ 2–034–773–89).

Перед вимірюванням встановлюють висотну лінійку на задану розмір таким чином, щоби контакт вимірювальних губок з евольвентними поверхнями зубця контрольного колеса прохо-

див по ділильному діаметрі (рис. 3.88, *б*). Зчитування показів зі штанги горизонтального штангензубоміра, тобто значення товщини зубця S (рис. 3.89) по постійній хорді, здійснюють аналогічно, як і за шкалою штангенциркуля.

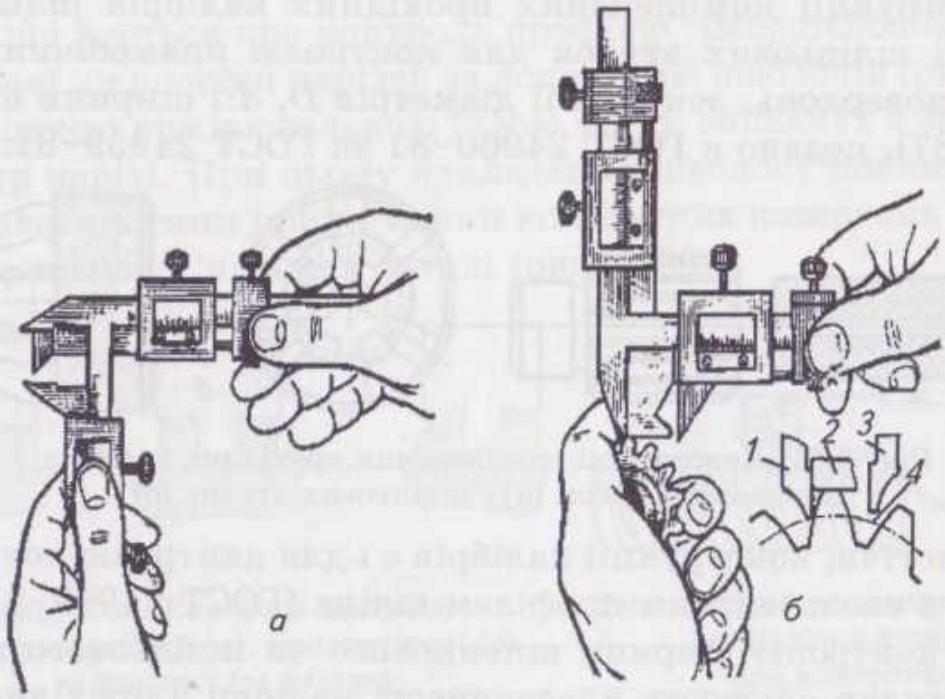


Рис. 3.88. Виставлення висотної лінійки і рамок на заданий розмір (*а*); вимірювання товщини зубця зубчастого колеса штангензубоміром (*б*): *1* – губка штанги; *2* – висотна лінійка; *3* – губка рамки; *4* – ділильне коло

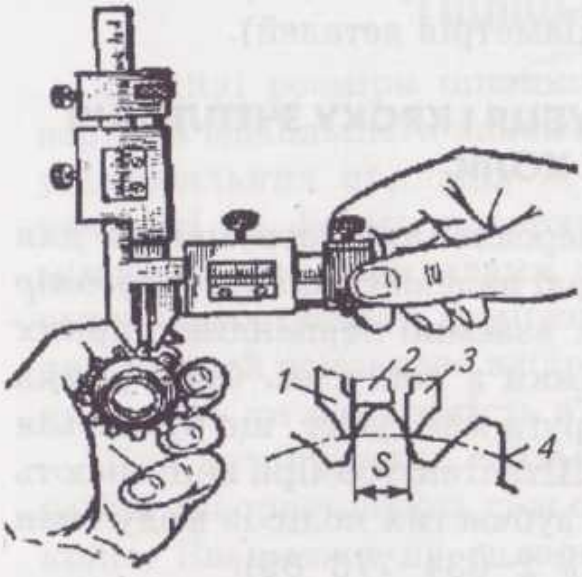


Рис. 3.89. Зчитування показів із горизонтальної шкали штанги при вимірюванні товщини зубця штангензубоміром

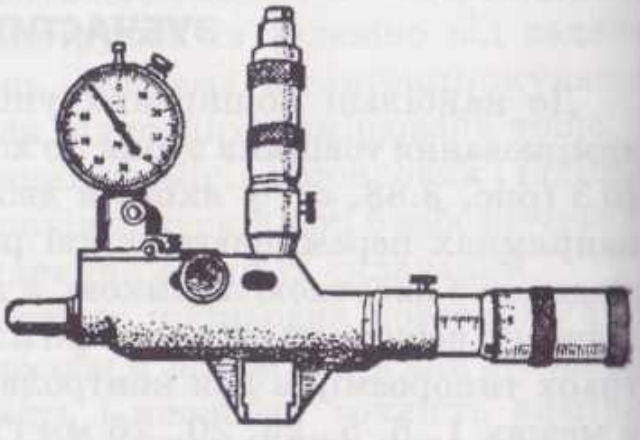


Рис. 3.90. Загальний вигляд зубоміра індикаторного ЗИМ

Дещо іншої конструкції є ***зубомір індикаторний ЗИМ*** (ГОСТ 9197–70), який має дві взаємно перпендикулярні головки: одну для встановлення на заданий розмір висоти вимірювання другу – для вимірювання хорди зубця колеса (рис. 3.90). Відхили довжини хорди від розрахункового значення визначають за шкалою індикатора.

Промисловість також випускає *зубоміри тангенціальні ЗТ*, які слугують для порівняльного контролю зміщення вихідного контура зубця відносно осі зубчастого колеса з певним передбачуваним товщини зубця. Тангенціальні зубоміри випускають трьох типорозмірів для контролю зубчастих коліс із модулями в межах 2...10, 8...40, 28...60 мм.

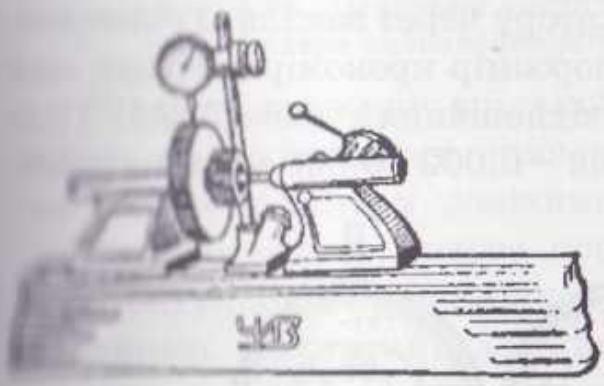


Рис. 3.91. Спеціальна установка для контролю биття зубчастого колеса по діаметру виступів

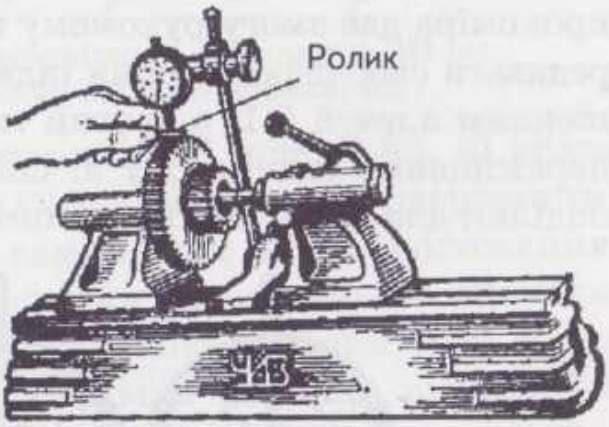


Рис.3.92. Спеціальна установка – биттємір для контролю биття по профілю зубця

У метрологічних лабораторіях використовують такі спеціальні установки *биттеміри* для контролю биття зубчастого колеса по діаметру виступів (рис. 3.91) і контролю биття по профілю зубця (рис. 3.92) за допомогою індикаторних головок.

Оригінальну конструкцію для визначення кроку зчеплення в зубчастих колесах має ***крокомір*** (рис. 3.93), який складаєть-

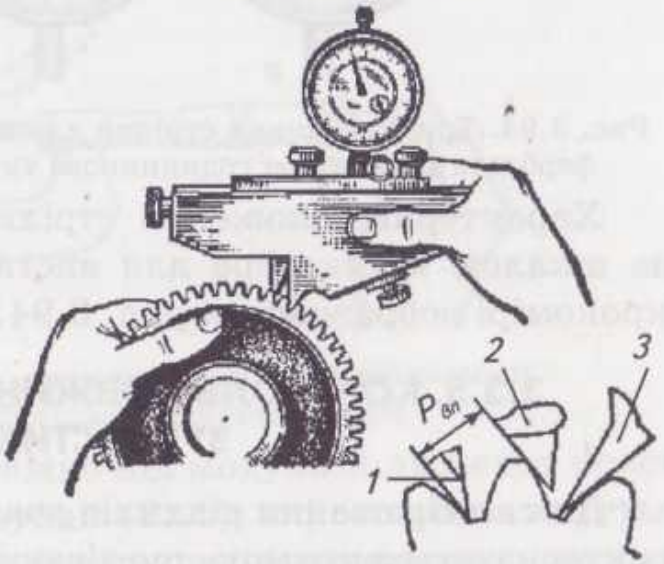


Рис. 3.93. Схема вимірювання кроку зчеплення зубчастого колеса крокоміром

ся з рухомого вимірювального наконечника *1*, опорного наконечника *2*, встановлювального наконечника *3*. Його накладають на зубчасте колесо так, аби добитися прилягання опорного наконечника до профілю зубця і, використавши встановлювальний наконечник, що торкається протилежного профілю западини, забезпечити контакт (контроль) рухомого вимірювального наконечника з однойменним профілем сусіднього зубця.

Отже, крокомір визначає рівномірність одного кроку між двома однойменними профілями зубців колеса. Їх виготовляють двох типорозмірів: для контролю коліс із модулями в межах від 1,75 до 10 мм і для коліс із модулями в межах від 8 до 16 мм. Слід зазначити, що для визначення відхилів кроку перший типорозмір крокоміра дає змогу рухомому вимірювальному наконечнику передавати своє переміщення індикатору через важіль із співвідношенням плечей 5:1, а другий типорозмір крокоміра передає своє переміщення індикатору зі співвідношенням плечей 2:1. Ціна поділки для зазначених крокомірів – 0,002 і 0,005 мм відповідно.

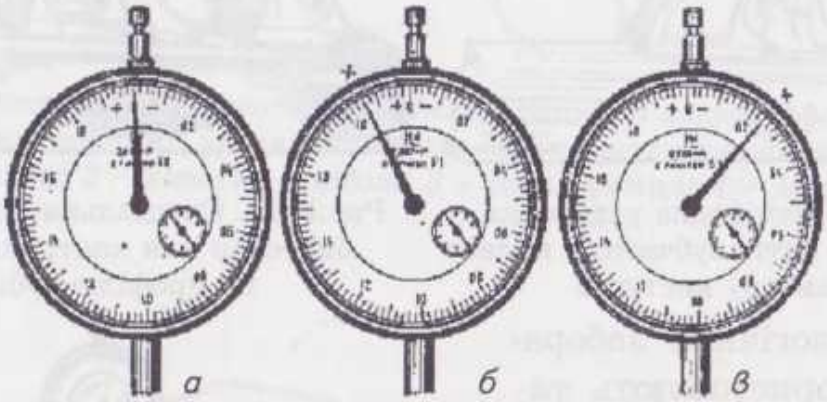


Рис. 3.94. Три положення стрілки для підрахунку відхилів за шкалою циферблата індикатора годинниково типу: нуль (*а*), плюс (*б*), мінус (*в*)

Характерні положення стрілки при визначенні відхилень за шкалою індикатора для виставленого заданого розміру на крокомірі зображені на рис. 3.94.

3.3.5. КОНТРОЛЬ ДОВЖИНИ СПІЛЬНОЇ НОРМАЛІ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Для вимірювання відхилів довжини спільної нормалі W (характеризується прямою, що з'єднує точки стику двох різнойменних профілів з паралельними площинами, що їх охоплюють) застосовують *зубомірний мікрометр ЗМ* (ДСТУ ГОСТ 6507:2009).

Зубомірний мікрометр (рис. 3.95, *а*) різниться від гладкого мікрометра тим, що має дві насадки у вигляді плоских дисків. Межі вимірювання: 0...25; 25...50; 50...75; 75...100 мм.

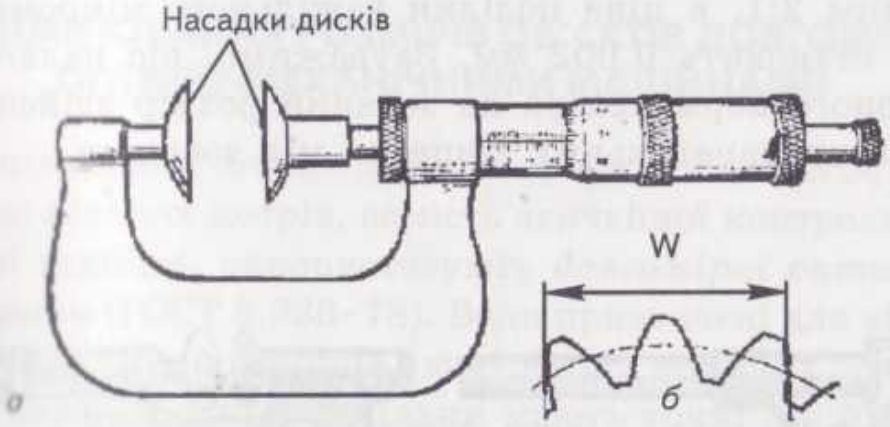


Рис. 3.95. Загальний вигляд зубомірного мікрометра ЗМ (*а*) і схема визначення довжини спільної нормалі (*б*)

Відхили довжини спільної нормалі W (рис. 3.95, *б*) визначають встановленими значеннями вимірювань, одержаними на різних ділянках довжини замкнутого кола (положеннях зубчастого колеса), через порівняння їх середнього значення з розрахунковою довжиною, визначеною за формулою або за таблицею. Коливання довжини спільної нормалі, виміряні за допомогою зубомірного мікрометра, характеризують точність виготовлення виготовлених зубців за довжиною кола (рис. 3.96).

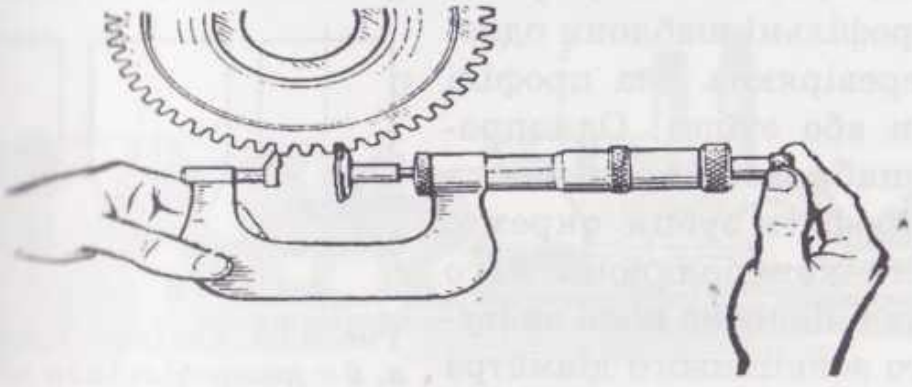


Рис. 3.96. Схема вимірювання довжини спільної нормалі за допомогою зубомірного мікрометра ЗМ

Треба зазначити, що залежно від модуля й діаметра колеса вимірюватиметься кількість зубців (2...5), які охоплюватимуться вимірювальними плоских дисків зубомірного мікрометра.

Для точніших вимірювань довжини спільної нормалі застосовують ***індикаторний нормалемір*** і ***важільний мікрометр-нор-***

малемір ВМН (ДСТУ ГОСТ 4381:2009), що зображені на рис. 3.97, *а*, *б* відповідно. Ціну поділки індикаторного нормалеміра 0,005 мм отримують за рахунок передавального співвідношення нормалеміра 2:1, а ціна поділки важільного мікрометра-нормалеміра становить 0,002 мм. Зауважимо, що налагодження індикаторного нормалеміра на заданий розмір здійснюють за блоком плоскопаралельних кінцевих мір довжини.

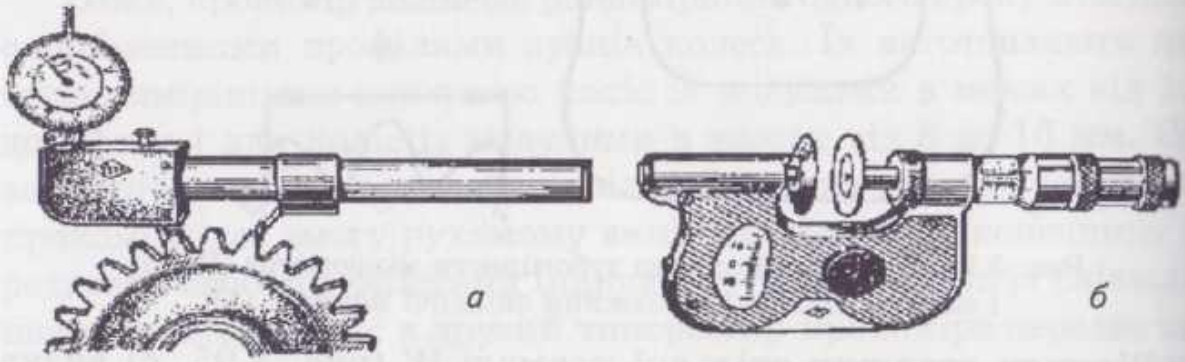


Рис. 3.97. Схема вимірювання довжини спільної нормалі зубчастого колеса індикаторним нормалеміром (*а*) і загальний вигляд важільного мікрометра-нормалеміра (*б*)

Контроль профілю зубця зубчастого колеса легко здійснити за допомогою ***профільного шаблону***. Контролюючи профіль, виявляють відхилення дійсного профілю від теоретичного, окресленого по евольвенті зубця. Розрізняють ***двопрофільні*** (рис. 3.98, *а*, *б*) й ***однопрофільні*** (рис. 3.98, *в*) ***шаблони***.

Двопрофільні шаблони одночасно перевіряють два профілі западини або зубця. Однопрофільні шаблони перевіряють кожен профіль зубця окремо, одночасно контролюючи його положення відносно кола виступів, тобто зовнішнього діаметра зубчастого колеса.

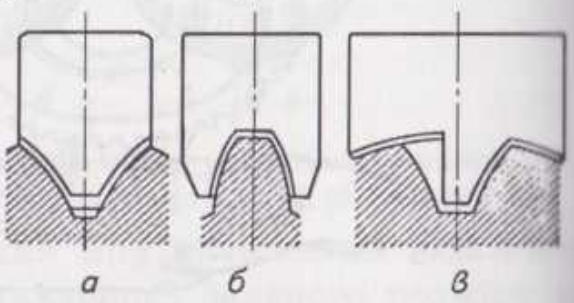


Рис. 3.98. Контроль профілю зуба: *а*, *б* – двопрофільними шаблонами; *в* – однопрофільним шаблоном

Оскільки виготовлення правильного профілю евольвенти зуба суттєво впливає на його довговічність і міцність під час експлуатації, в сучасних умовах виробництва для якіснішого контролю профілю евольвенти зубця використовують евольвентоміри або високоточні машини (установки). Найчастіше їх застосовують для контролю, коли йдеться про виготовлення зубчастих коліс

не нижче п'ятого-шостого ступеня точності за чотирма нормами точності: кінематичною, плавністю роботи, плямою контакту й видом спряження на бічний зазор.

3.3.6. ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ОБ'ЄКТІВ ДОВГОМІРНИМИ ОПТИКО-МЕХАНІЧНИМИ МАШИНАМИ

Для визначення точних лінійних розмірів об'єктів, довжина яких сягає кількох метрів, замість звичайної контрольно-вимірювальної техніки, використовують ***довгомірні оптико-механічні машини*** (ГОСТ 8.336–78). Вони призначені для абсолютно точних вимірювань зовнішніх і внутрішніх лінійних розмірів мір і виробів безпосередньо, оскільки мають точні лінійні шкали, або для відносних вимірювань зі зразковими мірами довжини.

Метрологічні параметри довгомірних оптико-механічних машин розрізняють за межами вимірювань зовнішніх розмірів: ИЗМ-1 – 0...1000 мм; ИЗМ-2 – 0...2000 мм; ИЗМ-3 – 0...3000 мм всього, а також внутрішніх розмірів від 13,5 до 150 мм; найбільший підйом стола – до 50 мм; ціна поділки шкал: метрової – 100 мкм; стомілліметрової – 0,1 мм; трубки оптиметра – 0,001 мм; збільшення трубки оптиметра – 960×.

Загальний вигляд довгомірної оптико-механічної машини ИЗМ-1 показано на рис. 3.99.

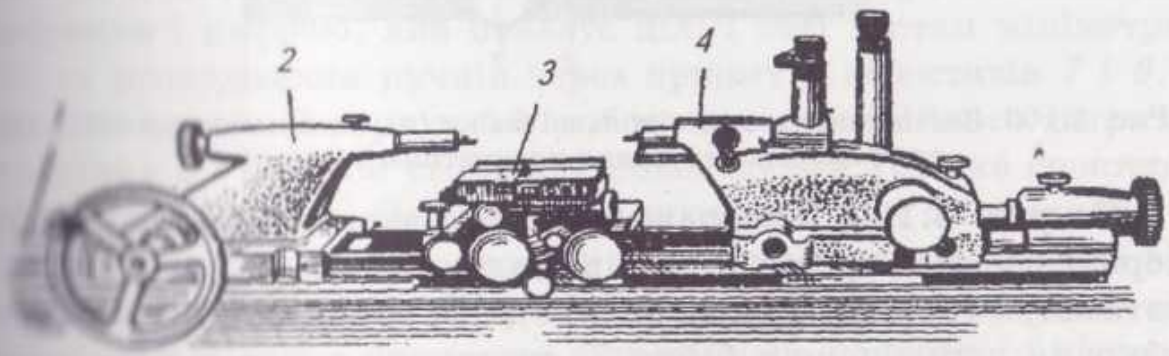


Рис. 3.99. Довгомірна оптико-механічна машина ИЗМ-1: *1* – станина; *2* – пінольна бабка; *3* – предметний стіл; *4* – вимірювальна бабка

Розглянемо пінольну бабку (рис. 3.100, *а*), яка має: маховик переміщення бабки *1*; мікроподачу піноля *4*; піноль *5*; регулювальний гвинт вимірювального штифта *6*; вимірювальний наконечник *7*.

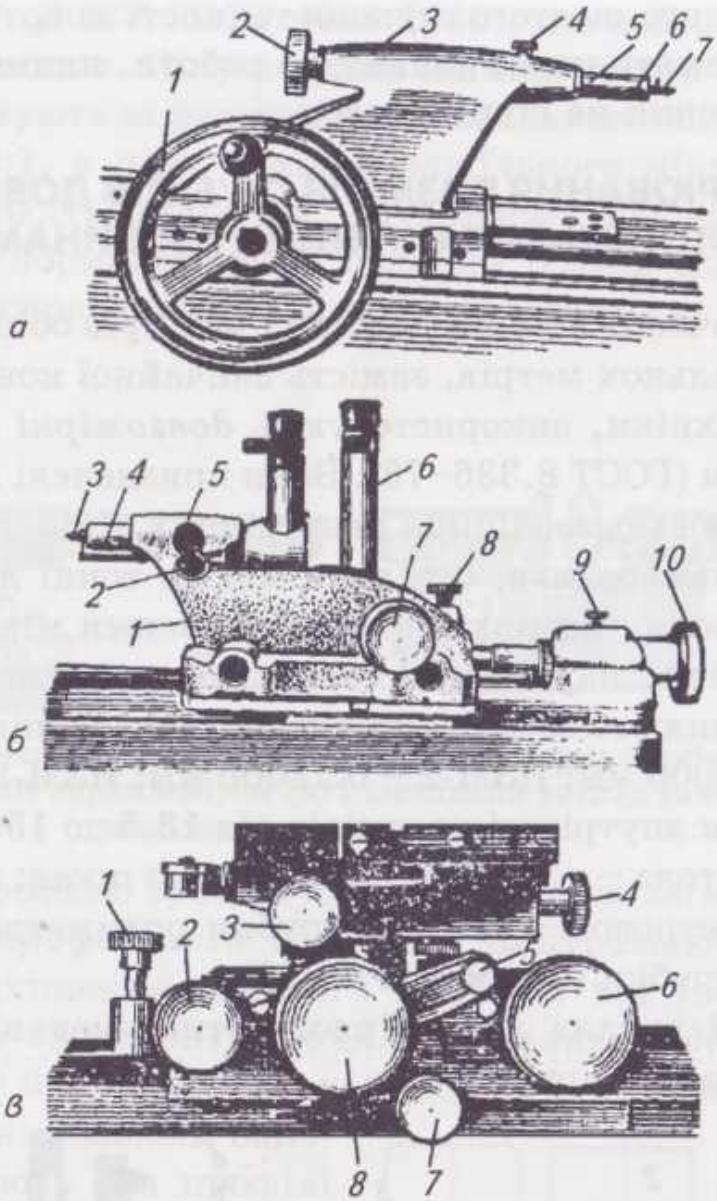


Рис. 3.100. Загальний вигляд пінольної бабки (*а*), вимірювальної бабки (*б*) та пристрою керування предметним столом (*в*)

На рис. 3.100, *б* зображено вимірювальну бабку, яка має: корпус бабки *1*; аретир *2*; вимірювальний наконечник *3*; трубку оптиметра *4*; стопор трубки оптиметра *5*; відліковий мікроскоп *6*; маховик переміщення бабки *7*; стопорний гвинт *8*; затискний гвинт мікроподачі *9*; маховик мікроподачі *10*.

Пристрій керування предметним столом (рис. 3.100, *в*) складається з упора вертикального переміщення *1*; маховика закріплення та нахилення до горизонтальної осі *2*; маховичка повороту навколо вертикальної осі *3*; маховичка горизонтального (поперечного) переміщення *4*; гвинта закріплення вертикального переміщення *5*; маховичка нахилення до горизонталь-

ної осі *6*; гвинта закріплення стола до станини *7*; маховичка вертикального переміщення *8*.

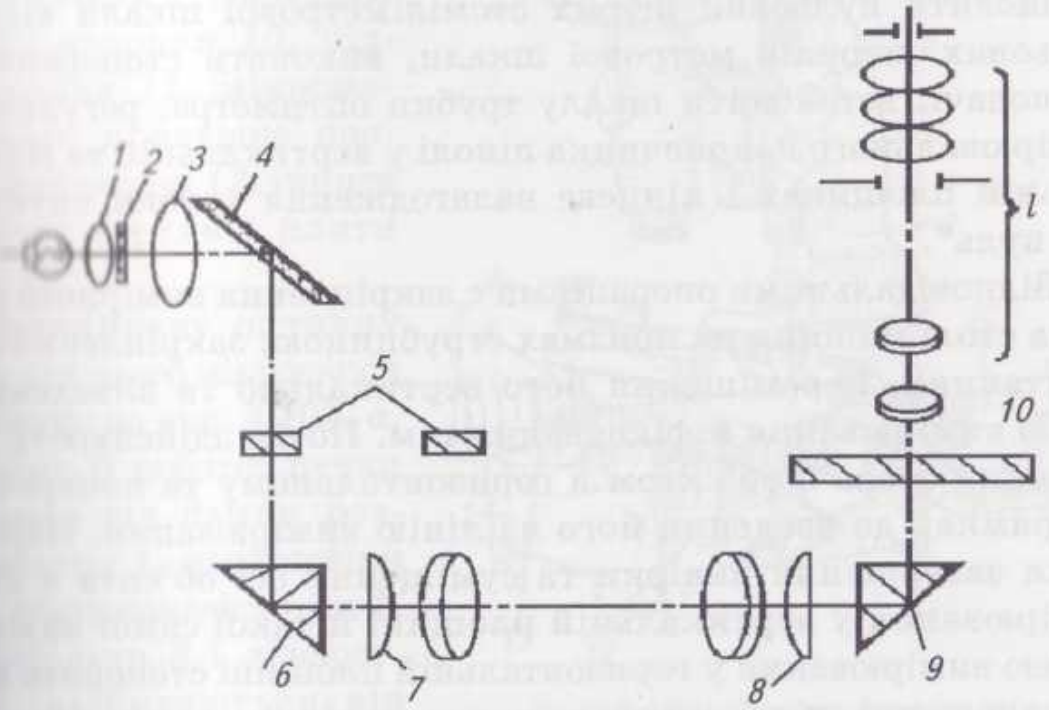


Рис. 3.101. Оптична схема довгомірної оптико-механічної машини

Оптична схема довгомірної оптико-механічної машини зображена на рис. 3.101. Пучки світла від лампочки проходять через лінзу конденсатора *1*, світлофільтр *2*, другу лінзу конденсатора *3*, дзеркало *4* і падають на одну з пластин *5* з подвійним штрихом і цифрою, яка показує цілі і соті частки міліметра. Після проходження пучків через призму *6* об'єктивів *7* і *8*, а також призми *9* отримуємо зображення подвійного штриха пластини *5* і поділок стоміліметрової шкали *10*, яке спостерігають в мікроскопі. Оскільки хід променів між об'єктивами *7* і *8* паралельний, бабки можуть бути встановлені залежно від вимірюваної довжини об'єкта на потрібній відстані одна від одної, при цьому зображення відповідного подвійного штриха завжди спостерігатиметься у фокусі об'єктива *8*. Відстанню *l* регулюється різкість зображення.

У відліковому вузлі мікроскопа цифра над подвійним штрихом показує кількість сотень міліметрів, а його положення на стоміліметровій шкалі визначає десятки, одиниці та десяті частки міліметра. За шкалою трубки оптиметра визначають соті частки міліметра.

Перед початком абсолютного вимірювання заданого об'єкта (деталі) необхідно налагодити "на нуль" пінольну бабку. Потім встановити нульовий штрих стоміліметрової шкали відносно нульових штрихів метрової шкали, виконати стопорення мікроподачі, встановити шкалу трубки оптиметра, регулювання вимірювального наконечника пінолі у вертикальній та горизонтальній площинах і кінцеве налагодження трубки оптиметра "на нуль".

Відповідальними операціями є закріплення вимірного об'єкта на столі машини на призмах струбциною; закріплення стола до станини, переміщення його вертикально та виведення на лінію вимірювання й фіксування там. Потім здійснюють переміщення стола з об'єктом в горизонтальному та поперечному напрямках до введення його на лінію вимірювання. Нарешті, після завершення вивірки та суміщення осі об'єкта з лінією вимірювання у вертикальній площині й такої самої вивірки з лінією вимірювання у горизонтальній площині стопорять в цьому положенні стіл і зчитують покази у відліковому мікроскопі (цілі, десяті й соті частки розміру), а в оптичній трубці (тисячні частки розміру) визначають кінцевий результат вимірювання заданого об'єкта.

У разі знаходження відхилів від номінального розміру об'єкта за відносним методом вимірювання налагоджувати машину на нульове положення не потрібно. Тоді користуються тільки оптичною трубкою оптиметра, за шкалою якої визначають відхили від вихідної міри.

3.3.7. ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ОБ'ЄКТІВ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИМИ МІКРОСКОПАМИ

Інструментальні мікроскопи (ГОСТ 8074–82) слугують для вимірювання лінійних і діаметральних розмірів, кутів, конусів, елементів нарізей тощо. Їх поділяють на малі і великі.

Конструкція ***малого мікроскопа інструментального ММИ*** зображена на рис. 3.102. Він складається з основи *1*, мікрометричного пристрою поперечної подачі *2*, предметного столика *3*, центрової бабки *4*, кронштейна *5*, штрихової окулярної головки з відліковим мікроскопом кутової шкали *6*, кремальєра

переміщення кронштейна *7*, гальма кронштейна *8*, колонки *9*, маховика підйому колонки *10*, підйомовача *11*, мікрометричного пристрою позиційної подачі *12*, гвинта повороту верхньої плити столу *13*.

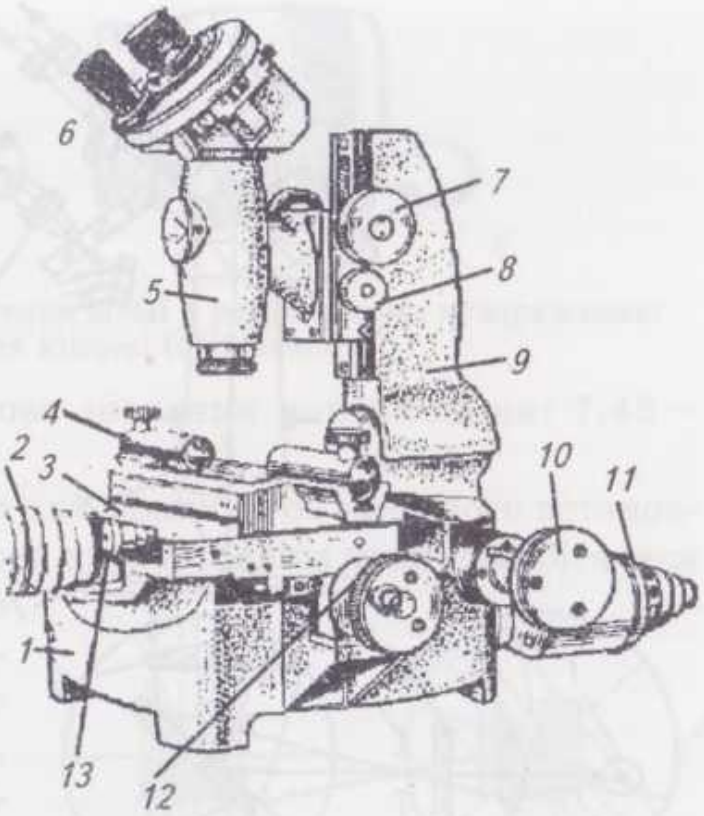


Рис. 3.102. Конструкція малого мікроскопа інструментального ММИ

Принципову оптичну схему для цього мікроскопа зображено на рис. 3.103, *а*. Принцип її роботи: пучки променів від лампи розсіювання *1*, пройшовши через лінзу конденсатора *2*, світлофільтр *3* і діафрагму *4*, відбиваються від поворотного дзеркала *5* і через лінзу *6* підсвічують вимірюваний об'єкт, розташований на предметному столику *7*, або закріплений в центрових бабках. Зображення об'єкта вимірювання проектується об'єктивом *8* у фокальну площину окуляра *11*, де поміщені штрихова сітка *10* і жорстко зв'язаний з нею кругový лімб *10*. Між об'єктивом *8* і лімбом *10* для заломлення променів розміщена призма *9*. Зображення вимірюваного об'єкта розглядають через окуляр *11*. Відлік за градусною шкалою проводять за допомогою відлікового мікроскопа *12*. У фокальній площині окуляра *11* знаходиться хвилинна шкала *13*.

Коли йдеться про зчитування показів у процесі заміру об'єкта, то для цього існує скляна пластина всередині корпуса головки. На цій пластині є штрихова сітка, а сам лімб поділений по колу на 360 рівних частин. Пластина зі штриховою сіткою і лімб градусної шкали жорстко пов'язані між собою і мають спільний центр обертання, який знаходиться на оптичній осі мікроскопа. Штрихову сітку (рис. 3.103, *б*) спостерігають у центральному окулярі мікроскопа, а градусну й мінутну шкали – у відліковій вимірній частині мікроскопа.

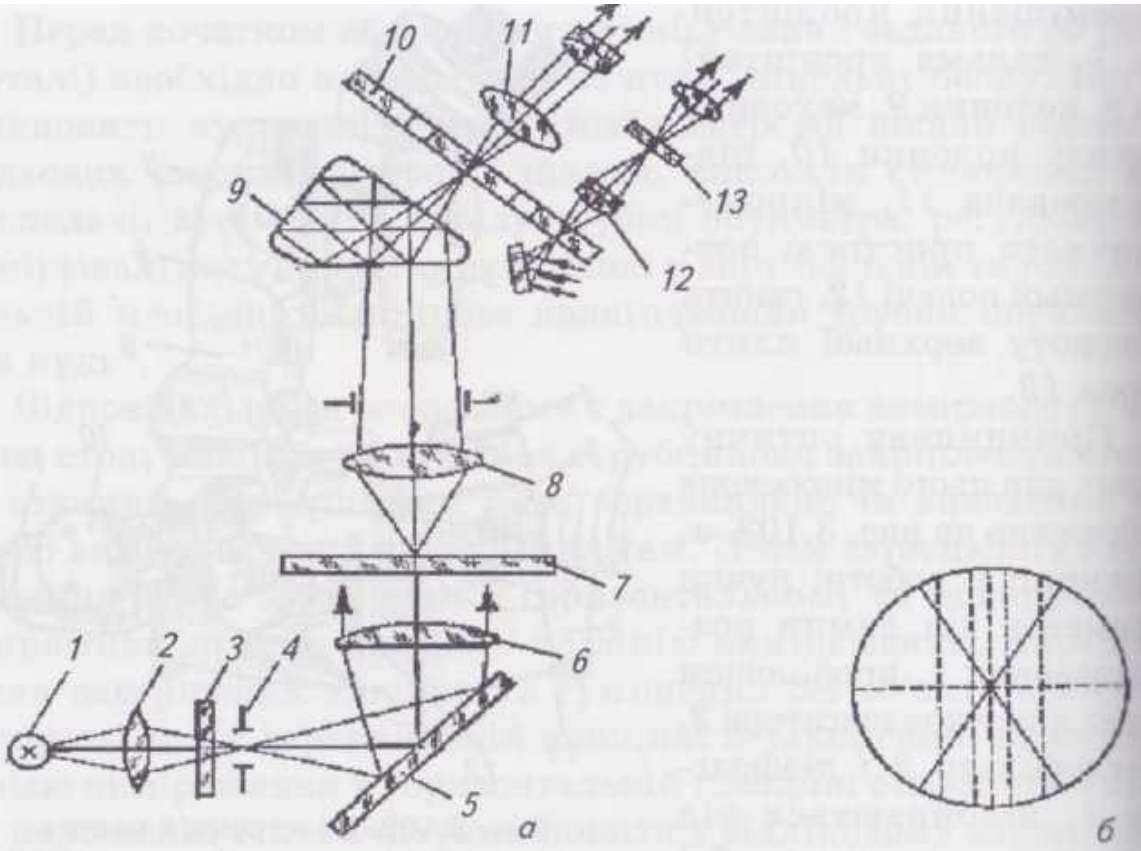


Рис. 3.103. Принципова оптична схема малого мікроскопа інструментального (*а*) та штрихова сітка його окуляра (*б*)

Після встановлення штрихової сітки в нульове положення вимірюваний об'єкт базують так, щоб один з його боків, з якого проводять вимірювання, збігався з будь-якою виміряною штриховою лінією сітки (рис. 3.104, *а*). При цьому перший відлік зчитують з мікрометричного пристрою (рис. 3.105, *а*). Потім об'єкт з предметним столом переміщують до такого ж збігання його другого боку, з якого проводять вимірювання, з цією ж штриховою лінією сітки (рис. 3.104, *б*), і другий відлік зчитують з мікрометричного пристрою (рис. 3.105, *б*). Різниця у відліках дає кінцеве числове значення вимірюваного об'єкта.

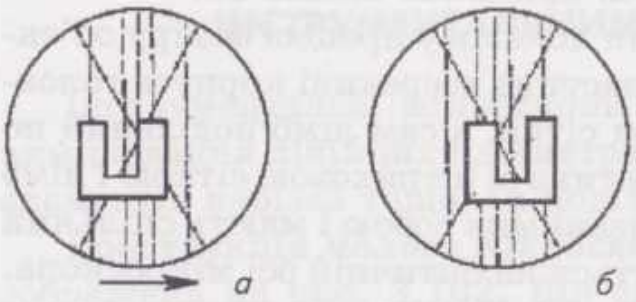


Рис. 3.104. Проекція виробу в окулярі штрихової сітки: початкове (*а*) та кінцеве (*б*) положення

Наприклад, якщо покази першого вимірювання на лімбі становили 6,75 мм, а

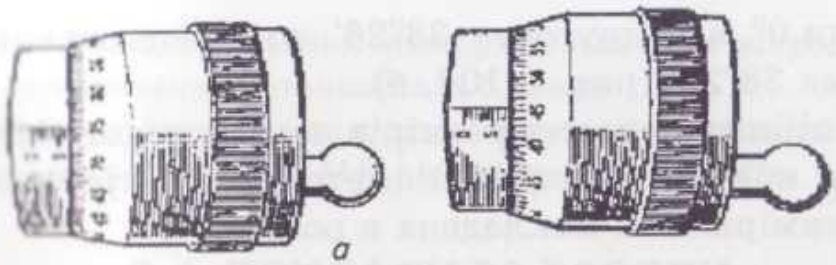


Рис. 3.105. Покази лімба мікроскопа ММИ з результатами вимірювання: початкові (*а*) та кінцеві (*б*) значення

другого – 7,45 мм, то числове значення вимірювання: 7,45 – 6,75 = 0,70 мм.

У разі вимірювання кутів для заданого об'єкта його встановлюють таким чином, аби твірна кута з правим нахилом збігалася з центральною штриховою лінією сітки за збігання вершини кута з оптичною віссю мікроскопа (рис. 3.106, *а*). При цьому у кутовому об'єктиві мікроскопа зчитують перший відлік (рис. 3.107, *а*). Бажано, щоб він дорівнював нулю. Потім повертають штрихову сітку до збігання її з центральною штриховою лінією з другою твірною кута об'єкта з лівим нахилом (рис. 3.106, *б*) і зчитують другий відлік (рис. 3.107, *б*). Якщо перший відлік дорівнює нулю, то другий буде результатом вимірювання.

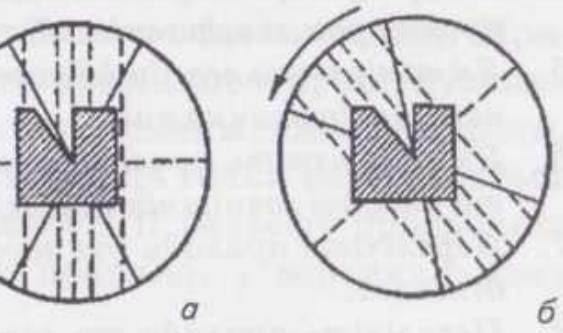


Рис. 3.106. Проекція кутового виробу в окулярі штрихової сітки: початкові (*а*) та кінцеві (*б*) положення

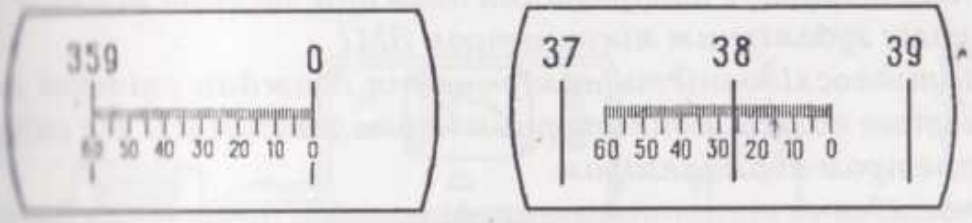


Рис. 3.107. Покази кутомірної шкали мікроскопа: 0 – нульове положення (*а*); 38°26′ – кінцеве положення (*б*)

Якщо перший відлік не дорівнює нулю, то потрібно вираховувати його значення від другого відліку й отримати кінцеве значення вимірювання. Наприклад, якщо покази кута за першого

відліку були 0°, а за другого – 38°26′, то результат вимірювання становитиме 38°26′ (рис. 3.107, *б*).

Крім лінійних кутових розмірів на мікроскопі ММИ можна вимірювати конуси, середній діаметр нарізі, кроку нарізі. Методологія вимірювань викладена в розділі 2.

Контрольні запитання та завдання

1. *Перелічіть прилади та засоби для вимірювання нарізних деталей.*
2. *Як контролюють крок нарізі нарізними шаблонами?*
3. *Як контролюють нарізні деталі нарізними калібрами-пробками та кільцями?*
4. *Як вимірюють середній діаметр d_2 зовнішньої нарізі нарізним мікрометром зі вставками?*
5. *Як вимірюють середній діаметр d_2 зовнішньої нарізі трьома атестованими дротинками?*
6. *Як здійснюють контроль профілю трапецієподібної, прямокутної та упорної зовнішніх нарізей шаблонами?*
7. *Перелічіть прилади та засоби контролю шпонкових і шліцьових деталей.*
8. *Перелічіть прилади та засоби контролю товщини зубця і кроку зчеплення зубчастих коліс.*
9. *Опишіть послідовність вимірювання товщини зубця зубчастого колеса штангензубоміром ШЗ.*
10. *Опишіть послідовність вимірювання кроку зчеплення зубчастого колеса зубоміром.*
11. *Яка послідовність контролю биття зубчастого колеса за діаметром виступів і за профілем зубця биттємірами на спеціальних установках?*
12. *Яка послідовність вимірювання довжини спільної нормалі зубчастих коліс зубомірним мікрометром ЗМ?*
13. *Опишіть послідовність вимірювання довжини спільної нормалі зубчастого колеса індикаторним нормалеміром ИН та важільним мікрометром-нормалеміром.*
14. *Яка послідовність контролю профілю зубця профільним шаблоном?*
15. *Опишіть послідовність контролю евольвенти зубця евольвентоміром.*
16. *Перелічіть норми точності, за якими визначають ступені точності виготовленого зубчастого колеса.*
17. *Яке призначення довгомірних оптико-механічних машин ИЗМ, їх будова та точність вимірювання?*
18. *Перелічіть основні вузли довгомірної оптико-механічної машини ИЗМ, опишіть її будову й принцип роботи.*

ii. Сформулюйте призначення інструментальних мікроскопів у технічних вимірюваннях, опишіть їх будову.

iii. Опишіть послідовність вимірювання розмірів об'єктів інструментальним мікроскопом ММИ і точність його лімбів.

3.4. ПРИЛАДИ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХОНЬ

3.4.1. КОНТРОЛЬ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ ПРОФІЛОМЕТРАМИ ТА ПРОФІЛОГРАФАМИ

Прилади, які контролюють шорсткість поверхонь різноманітних деталей, поділяють на контактні та безконтактні. Принцип контактної дії функціонують за принципом прощупування контрольованої поверхні деталі спеціальним наконечником, виконаним у вигляді голки. Гострий кінець голки пересувається по досліджуваній поверхні, а нерівності її рельєфу призводять до малого переміщення голки, як правило, у вертикальному напрямку.

До контактних приладів належать профілометри та профілографи. ***Профілометри*** (ГОСТ 19300–86) – це прилади, в яких переміщення голки передаються на шкалу, а у профілографів переміщення голки у збільшеному масштабі записуються профілограмою з градуйованими значеннями шорсткості (мкм).

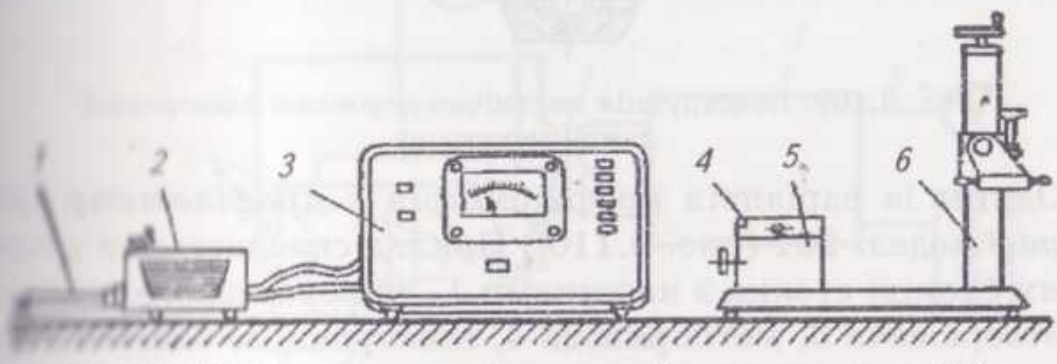


Рис. 3.108. Основні вузли будови профілометра моделі 253

Профілометр моделі 253, який часто використовують метрологічні лабораторії (рис. 3.108), складається з механотронного перетворювача *1*, привода *2*, електронного блока *3*, столика *4*, призми *5* і стояка *6*. Лінійні коливання голки (вверх, вниз) пе-

ретворюються на електричні сигнали за допомогою механічно-ке рованої електронної лампи – мехатрону (рис. 3.109), рухомий анод якого *1* пов'язаний зі щупом *2*. На щупі закріплено алмазну голку *3* з радіусом закруглення вершини 10 мкм. Мехатрон встав лений в корпус *5*, на передній частині якого розташована твердо сплавна опора *4*. Мехатрон закріплений у корпусі за допомогою кільця *8* зі штирем *7*, що впирається в заглибину гвинта *6* під зусиллям пружини *11*. Така конструкція кріплення дає змогу регулювати положення мехатрона для точного встановлення щупа відносно опори. Положення щупа регулюється гвинтами *14*, що впираються в кільце *10*. Знизу мехатрон закритий покрив кою *9*. Перетворювач з'єднаний зі штоком приводу роз'ємною вилкою *13* і зафіксований штифтом *12*. Межі вимірювання профілометром – 8...0,02 мкм, коли йдеться про встановлення середнього арифметичного відхилу профілю поверхні *Ra*.

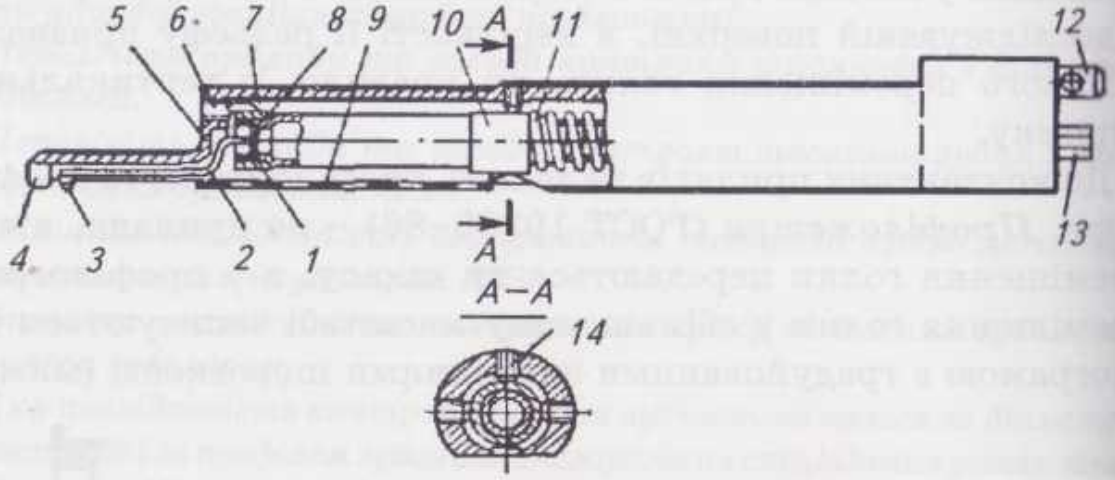


Рис. 3.109. Конструкція механічно-керованої електронної лампи-мехатрону

Одним із варіантів профілометрів є ***профілометр-профілограф*** моделі 201 (рис. 3.110). Прилад складається з уніфікованих блоків: стояка з каретками *1*, універсального столика *2*, перетворювача *3*, мотопривода *4*, електронного блока *5* з показувальним пристроєм і записувального пристрою *6*. Принципову схему роботи цього приладу показано на рис. 3.111. Алмазна голка *1*, копіюючи нерівності контрольованої поверхні, здійснює коливання, приводячи в коливний рух якір *2*. Коливання якоря змінюють повітряний зазор між якорем і сердечником *4* і цим самим спричинюють зміну напруження на виході дифе-

диференціального трансформатора *6*. Отримані зміни напруження підсилюються електронним блоком *7*, на виході якого під'єднано показувальний пристрій *8* або записувальний пристрій *9*. Магнітна система перетворювача має здвоєний Ш-подібний сердечник *4* і дві котушки *3*. Котушки і дві половинки первинної обмотки диференціального трансформатора *6* утворюють міст, який живиться від генератора звукової частоти *5*.

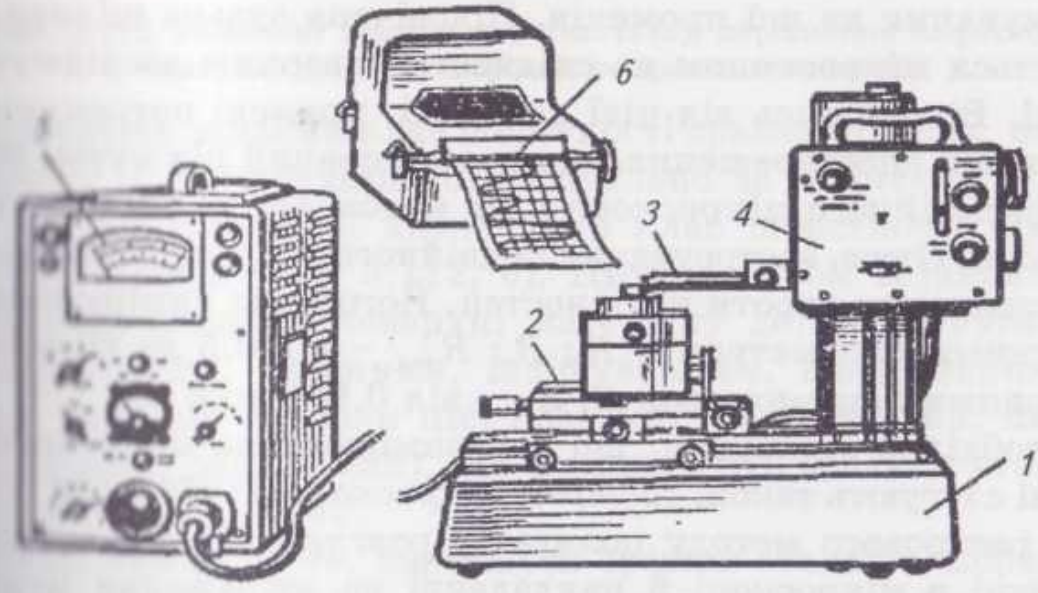


Рис. 3.110. Основні вузли профілометра-профілографа моделі 201

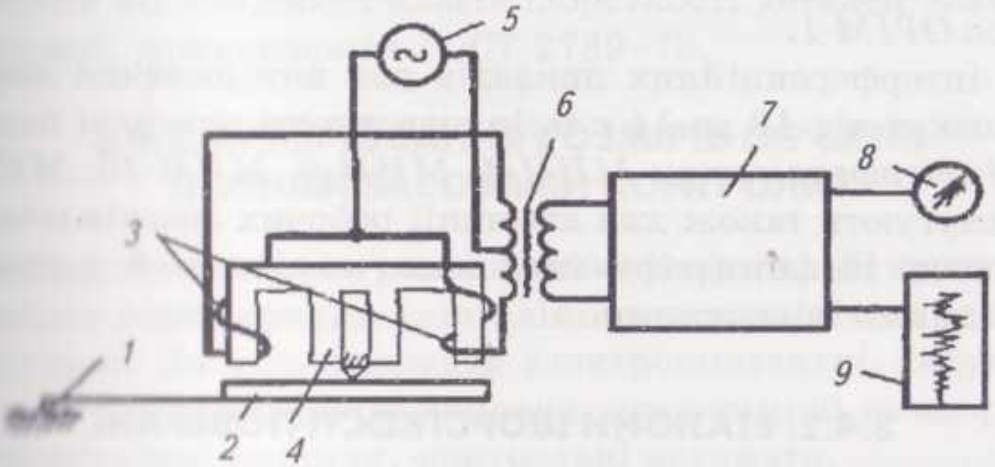


Рис. 3.111. Електрична схема будови профілометра-профілографа моделі 201

На стрічці профілографа з нанесеною сіткою (розміри в мм) записують профіль поверхні досліджуваної деталі у вигляді профілограми (крива з виступами та западинами), тобто

фактичне значення шорсткості (мікронерівностей) поверхні. Межі вимірювання профілографа: 20...0,0008; 100...0,002; 12,5...0,003 мкм.

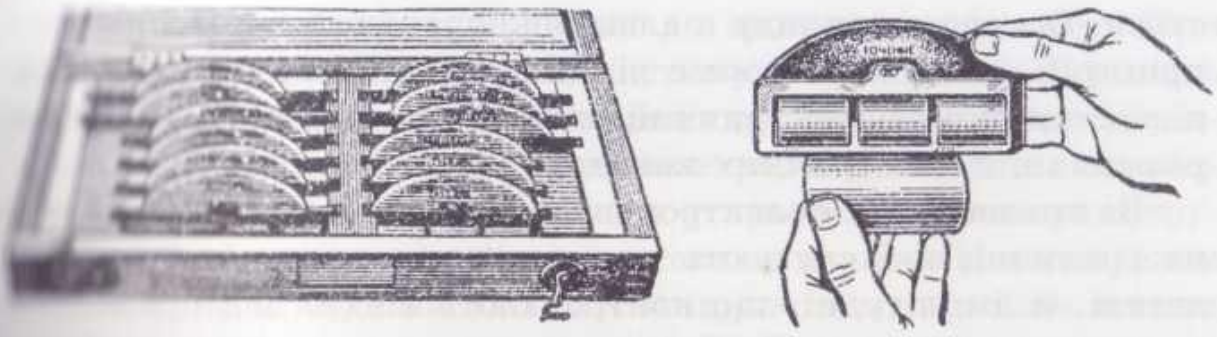
Необхідно зазначити також, що крім контактних приладів для контролю шорсткості поверхні застосовують прилади без контактної дії. До них належать ***подвійний мікроскоп МИС-11***, який функціонує за принципом світлового перерізу, коли отримують зображення профілю поверхні за умови скісного спрямування на неї променів. Підсвічена вузька щілина проектується мікроскопом на східчасту поверхню досліджуваної деталі. Відбившись від цієї поверхні, промені потрапляють у мікроскоп спостереження, що розташований під кутом 90° до осі проекційного мікроскопа і під кутом 45° до досліджуваної поверхні. Отже, застосування подвійного мікроскопа зводиться до визначення висоти нерівностей. Його межі вимірювання за висотними параметрами: R_z; R_a; R_{max} – від 0,5 до 80 мкм, за кроковими параметрами: S; S_m – від 0,002 до 8 мм.

Необхідно зазначити, що для вимірювання шорсткості поверхні слугують також *растрові мікроскопи* (ГОСТ 8.594–2009). Суть растрового методу полягає у розгляданні досліджуваної поверхні в мікроскопі й накладанні на зображення муарової картини. За викривленням муарових смуг визначають розмір нерівностей. Приладом, що діє за растровим методом, є *мікроскоп ОРІМ-1*.

До інтерференційних приладів для вимірювання шорсткості в межах від 10 до 14 класів шорсткості поверхні належать *мікроінтерферометри МИИ-4, МИИ-9, МИИ-10, МИИ-12*. Вони слугують також для атестації робочих зразків (еталонів) шорсткості та фотографування висот нерівностей у деталях з відповідними поверхнями.

3.4.2. ЕТАЛОНИ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ

Еталони шорсткості поверхні (ГОСТ 9378–93) призначені для наближеного встановлення шорсткості поверхонь різноманітних деталей. Визначають шорсткість поверхні деталі візуально, безпосередньо порівнюючи її з еталоном шорсткості, що знаходиться в наборі еталонів шорсткостей поверхонь (рис. 3.112, *а*).



а *б*

Рис. 3.112. Комплект зразків шорсткості (*а*); порівняння шорсткості поверхні деталі із шорсткістю зразка-еталона (*б*)

Набравши заданий клас шорсткості зразка-еталона, взятого із набору, і порівнявши його візуально за полиском з досліджуваною поверхнею, визначають клас шорсткості шуканої поверхні деталі (рис. 3.112, *б*). Цим способом встановлюють і характер обробки поверхні матеріалу деталі (струганням, фрезеруванням, точенням, шліфуванням, поліруванням), а також напрями обробки цієї поверхні (паралельний, перпендикулярний, радіальний), що відповідають зразкам-еталонам шорсткості поверхонь.

Незважаючи на те, що випуск зразків-еталонів шорсткості припинено, на виробництвах ними користуються й дотепер. У метрологічних лабораторіях користуються також довідковими таблицями відповідності класів шорсткості деталей значенням шорсткості, встановленим ГОСТ 2789–73.

3.4.3. ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ОБ'ЄКТІВ ІНШИМИ ЗАСОБАМИ КОНТРОЛЮ

Інші засоби контролю розмірів об'єктів (деталей) ґрунтуються на методах перетворення зміни лінійних розмірів на електричні імпульси. До них належать електроконтактні, індуктивні, оптичні та фотоелектричні прилади, кругломірні та координатно-вимірювальні машини, контрольні автомати.

Електроконтактні прилади, в яких закладено електроконтактний метод контролю, визначають придатність деталей щодо встановленого допуску, а саме виявляють, чи знаходиться розмір деталі в полі допуску на її виготовлення, при цьому абсолютне значення розміру за аналогією контрольних калібрів не фіксу-

ється. Основою приладу є електроконтактний перетворювач – пристрій, який перетворює лінійне переміщення вимірювального стрижня на електричний сигнал – команду замикання або розмикання електричних контактів.

За призначенням електроконтактні перетворювачі поділяють на граничні, які слугують для контролю граничних розмірів деталі, й амплітудні, що контролюють відхил від правильної геометричної форми. Треба зазначити, що граничні перетворювачі залежно від кількості пар контактів можуть бути одноконтактними, двоконтактними та багатоконтактними.

Індуктивні прилади мають вимірювальний індуктивний перетворювач, принцип дії якого ґрунтується на залежності індуктивного опору котушки від розміру повітряного зазору в магнітному ланцюгу, який змінюється пропорційно переміщенню вимірювального стрижня. До переваг індуктивних давачів слід віднести відсутність електричних контактів, високу продуктивність і точність вимірювання досліджуваної деталі.

Ємнісні прилади – різняться від індуктивних тим, що замість якоря індуктивних котушок використовують як перетворювач конденсаторну пластину, яка змінює ємність конденсатора. Значення ємності такого конденсатора визначають за шкалою приладу, який перед початком вимірювання об'єкта інколи тарують (градують), перетворюючи безпосередньо на лінійні одиниці.

Фотоелектричні прилади змінюють світловий потік променів, який несе інформацію про розміри деталі (об'єкта). Цей потік, потрапляючи на фотоелемент, спричинює певний струм у мікроамперметрі, внаслідок чого його стрілка відхиляється за шкалою показів.

Для побудови фотоелектричних перетворювачів використовують фоторезистори. У техніці їх називають напівпровідниковими світлочутливими елементами, електронний опір яких зменшується від дії випромінювання за рахунок внутрішнього фотоефекту або фотопровідності.

Кругломірні машини – це найточніші прилади, які вимірюють відхил від правильної геометричної форми (некруглість, овальність) тощо. Кругломіри працюють за методом "зразкового обертання", тобто здійснюють базування по твірній зразкової

(еталонної) циліндричної деталі до шпинделя приладу. При цьому обертання шпинделя є настільки точним, що його вісь завжди залишається в межах циліндра діаметром, що дорівнює кільком сотим часткам мікрометра, а це означає, що вісь обертання шпинделя залишається у просторі практично нерухомою. Тоді траєкторія руху жорстко зв'язаного зі шпинделем перетворювача буде настільки точним колом, що його можна прийняти за зразкове (еталонне). Для порівняння профілю, наприклад, циліндричної деталі зі зразковим колом, необхідно перед початком вимірювання провести центрування осі деталі і осі шпинделя.

Записана круглограма під час обертання перетворювача навколо деталі становить фіксовані відхили радіусів-векторів z' від деякої сталої (радіуса R_0), спрямованих від осі шпинделя приладу (точка O) до поверхні у вимірюваному перерізі деталі з центром на її осі (точка O'). Ексцентриситет C буде тим меншим, чим точніше проведено центрування деталі.

Координатно-вимірювальні машини призначені передусім для контролю координатних значень осей, площин, граней виготовлюваних деталей на металообробних верстатах (координатно-розточувальні та інші верстати), а не значень розмірів цих деталей.

Відмінною особливістю координатно-вимірювальних машин є те, що вони побудовані на можливості вимірювання координатних значень об'єкта в цифровій формі. Треба зазначити, що за конструкціями їх виготовляють двокоординатними і трикоординатними. Перші слугують для вимірювання об'єктів в двох координатах, тобто у двох взаємно перпендикулярних напрямках: X і Y, а другі – у трьох координатах, тобто у трьох взаємно перпендикулярних напрямках: X, Y і Z.

Вимірювальна частина машини становить собою перетворювач переміщення вимірювальної головки, що несе вимірювальний наконечник, в цифровий код. Основною перевагою координатно-вимірювальної машини перед звичайними засобами вимірювань є те, що вона дає змогу вимірювати деталі (вироби) складної геометричної форми. Такі машини споряджені спеціальними ЕВМ, за допомогою яких порівнюють дійсні розміри та взаємне розташування осей, площин, граней з теоретичними.

Отримані відхили реєструються графічно або в закодованій формі, які можуть бути використані для внесення корекції через ЕВМ в числове програмне керування металообробного верстата, наприклад, токарного верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК) або автоматичного токарного оброблювального центру (АТОЦ).

Контрольні автомати – це найбільш механізовані та автоматизовані контрольно-вимірювальні засоби, які використовуються у різних галузях промисловості (машинобудування, енергомашинобудування, сільськогосподарське машинобудування, приладобудування, авіація, транспорт).

У машинобудуванні, зокрема при виготовленні деталей на металообробних верстатах і автоматах, їх сортуванні під час виконання складальних операцій (виготовлення підшипників) для серійного і, особливо, масового виробництв, обійтися без контрольних автоматів просто неможливо.

За методом контролю контрольні автомати поділяють на контактні й безконтактні. Їх формують у напівавтоматичну чи автоматичну виробничу лінію згідно з операційним маршрутом виготовлення деталей або в кінці технологічного маршруту на складальних операціях таких виробництв. Найбільшою перевагою будь-яких контрольних автоматів є висока продуктивність, точність і надійність контролю заданого об'єкта на контрольній операції. Крім цього, контрольні автомати, сортуючи готові деталі, створюють умови для реалізації методу групової взаємозамінності (селективного складання) вузлів, механізмів.

3.4.4. ВИМІРЮВАННЯ РОЗМІРІВ ОБ'ЄКТІВ ПНЕВМАТИЧНИМИ ПРИЛАДАМИ

До окремої групи приладів для вимірювання розмірів деталей з високою точністю відносним методом належать *пневматичні прилади*. Ними вимірюють і сортують за розмірними групами деталі шатунно-поршневої групи, плунжерних пар, гідравлічних систем тощо. За допомогою цих приладів можна безконтактним методом проводити вимірювання деталей, що легко деформуються, у важкодоступних місцях, наприклад, вимірювати отвори малого діаметра [8].

Пневматичні вимірювальні прилади поділяють на два типи: *прилади вимірювання тиску повітря* (манометричні) і *прилади вимірювання швидкості руху повітря* у процесі його виходу (витратомірні чи поплавкові). В обох випадках шкали приладів градуюють у лінійних величинах, внаслідок чого вони придатні також для лінійних вимірювань.

Будь-який пневматичний вимірювальний прилад складається з вимірювальної головки, яка має показовий прилад, чутливого елемента (каліброваного отвору – сопла) і джерела стиснутого повітря.

Оскільки точність вимірювання пневматичного приладу залежить від сталого тиску повітря та чистоти останнього, то джерело стиснутого повітря повинно мати компресор, відстійники, в яких повітря очищається від вологи, фільтри для очищення повітря від механічних домішок, редуктор, що знижує тиск до необхідного рівня, і стабілізатор тиску.

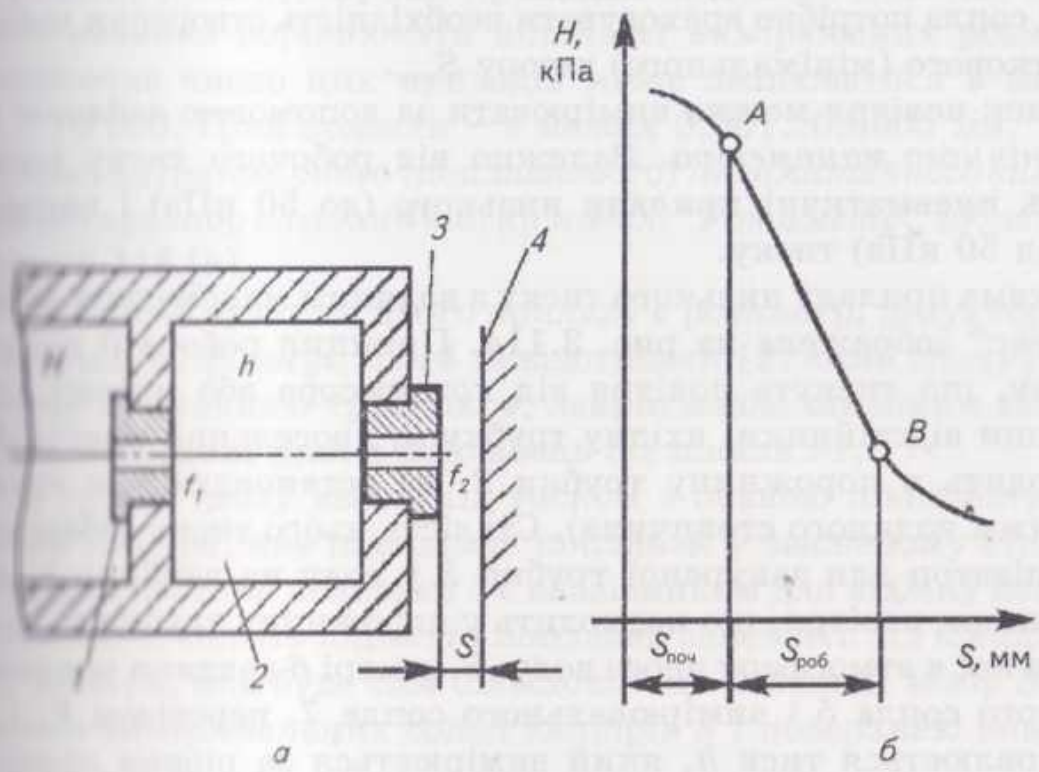


Рис. 3.113. Принцип дії манометричного приладу:
а – принцип дії вимірювального сопла; *б* – характеристика приладу

Принцип дії манометричних пневматичних вимірювальних приладів зображено на рис. 3.113, *а*. Повітря сталого тиску H через вхідне сопло *1* надходить в камеру *2*, звідки виходить в

атмосферу через вихідне сопло *3*. Тиск у камері *2* за всіх інших однакових умов залежить від характеристики вихідного сопла: $h = H/1+16\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 S^2$, де d_1 і d_2 – діаметри вхідного й вихідного сопел; S – зазор вимірювального сопла.

Якщо поряд із вихідним соплом *3* помістити поверхню *4* вимірюваного предмета, то зміна зазору між соплом і поверхнею предмета змінить опір прохідного перерізу вихідного сопла. Це відбуватиметься за відповідної зміни тиску в камері *2* у процесі вимірювання тиску H.

Залежність тиску H від зазору S визначають експериментальним шляхом і називають характеристикою приладу (рис. 3.113, *б*).

Лінійна залежність на невеликій ділянці AB кривої характеризує робочу ділянку приладу $S_{роб}$. Тангенс кута нахилу цієї кривої характеризує передаточне число приладу. При конструюванні сопла потрібно враховувати необхідність створення деякого початкового (мінімального) зазору $S_{поч}$.

Тиск повітря можна вимірювати за допомогою *водяного* або *механічного манометра*. Залежно від робочого тиску розрізняють пневматичні прилади низького (до 50 кПа) і високого (понад 50 кПа) тиску.

Схема приладу низького тиску з водяним манометром моделі "Солекс" зображена на рис. 3.114. Принцип роботи її полягає в тому, що тиснуте повітря від компресора або мережі, пройшовши відстійники, вхідну трубку *3*, дросельний пристрій *4*, надходить в порожнину трубки *2*, де встановлюється сталий тиск (мм водяного стовпчика). Сталість цього тиску забезпечує стабілізатор для зануреної трубки *2* у воду на глибину h, мм. Надлишок повітря, що надходить у порожнину трубки *2*, виходить з неї в атмосферу через воду. У камері *6* завдяки наявності вхідного сопла *5* і вимірювального сопла *7*, перерізом F_1 і F_2, встановлюється тиск h, який вимірюється за рівнем стовпчика рідини в тонкій градуйованій трубці *9*, яка сполучається з резервуаром *1* приладу. Оскільки поперечний переріз трубки *9* малий порівняно з поперечним перерізом резервуара *1*, то незначна зміна рівня рідини у цій трубці практично не впливає на точність вимірювання деталі *8*.

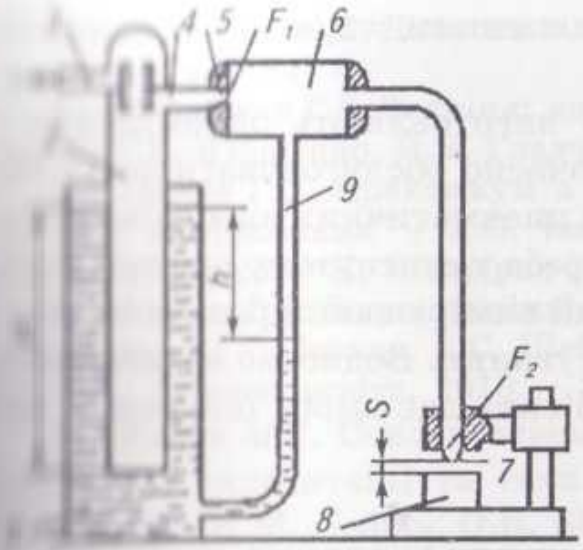


Рис. 3.114. Схема пневматичного приладу низького тиску моделі "Солекс"

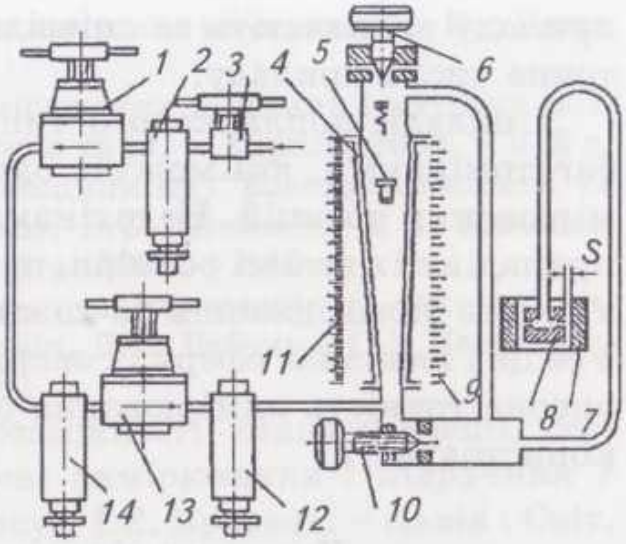


Рис. 3.115. Схема пневматичного вимірювального приладу високого тиску моделі "Ротаметр"

Прилади типу "Солекс" випускають одномірними й багатомірними. У багатомірних приладах кількість водяних манометрів повинна дорівнювати кількості вимірюваних розмірів. Передаточне число цих приладів може змінюватися в межах від ... 10 000. Ціна поділки – в межах 0,001...0,0005 мм.

Схема витратомірного (поплавкового) *пневматичного вимірювального приладу високого тиску моделі "Ротаметр"* зображена на рис. 3.115 [8].

Основними вузлами цього приладу є ротаметр, редуктори *1* і *14*, вентиль *3*, фільтри *2* і *14* та відстійник *12*, який сполучений з конічною скляною трубкою *4*, закріпленою широким кінцем вверх, всередині якої є поплавець *5* і шкала *11*.

По трубці знизу вверх під тиском з певною швидкістю рухається повітря, яке підтримує поплавок у зваженому стані.

Верхня частина поплавка *5* є вказівником для відліку показів по шкалою *9*. Висота підняття поплавка залежить від швидкості руху повітря, яка буде тим більшою, чим більший зазор *S* між торцями вимірювальних сопел калібрів *8* і поверхнею вимірюваної деталі *7*.

Для встановлення поплавка в нульове положення або для зміни передаточного числа приладу передбачені голчасті вентилі *6* і *10*. Передаточне число цих приладів може бути в межах від ... 30 000. Ціна поділки – 0,2...2 мкм. Похибку показів

приладу визначають за співвідношенням $\pm S/\kappa$, де κ – перед точне число приладу.

Прилади поплавкового типу виготовляють одномірними і багатомірними, які можуть одночасно обслуговувати до 15 ви мірюваних позицій. Недоліками пневматичних вимірювальних приладів є їх великі розміри, потреба у стиснутому повітрі, необхідність налагодження на кожний вимірюваний розмір об'єкта. Усе це і визначає сферу їх застосування. Водночас надзвичайно висока точність вимірювання об'єкта дає змогу широко їх ви користовувати.

Контрольні запитання та завдання

1. *Перелічіть прилади і засоби для контролю шорсткості поверхонь деталей.*
2. *Опишіть послідовність контролю шорсткості поверхні деталі профілометром і профілографом.*
3. *Перелічіть основні вузли будови профілометра моделі 253.*
4. *Перелічіть основні вузли будови профілометра-профілографа мо делі 201.*
5. *Яке призначення подвійного мікроскопа МИС–II в технічних вимі рюваннях?*
6. *Для чого слугують еталони шорсткості поверхні?*
7. *Для чого слугують електроконтактні, індуктивні, ємнісні та фо тоелектричні прилади?*
8. *Яке призначення кругломірних, координатно-вимірювальних машин і контрольних автоматів?*
9. *Яке призначення пневматичних приладів у технічних вимірю ваннях?*
10. *Перелічіть основні вузли та принцип роботи пневматичного при ладу низького тиску моделі "Солекс".*
11. *Охарактеризуйте будову та принцип роботи пневматичного при ладу високого тиску моделі "Ротаметр".*

Використана література

1. *Іванов Г.О.* Взаємозамінність та технічні вимірювання / Г.О. Іванов, В.С. Щебанін, Д.В. Бабенко, С.І. Пастушенко – К. : Аграрна освіта, 2006. – 334 с.

2. *Берков В.И.* Технические измерения / В.И. Берков. – М. : Высшая школа, 1983. – 143 с.

Журавлев А.М. Допуски и технические измерения. – К. : Вища школа, 1979. – 247 с.

Влащенко Г.В. Технічні вимірювання лінійних і кутових розмірів / Г.В. Влащенко, В.Я. Гладченко та ін. – Харків, 2003. – 316 с.

Іванов Г.О. Практикум з дисципліни "Взаємозамінність та технічні вимірювання" / Г.О. Іванов, В.С. Шебанін, Д.В. Бабенко, С.І. Пастушенко. – К. : Аграрна освіта, 2008. – 647 с.

Іванов Г.О. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання / Г.О. Іванов, В.С. Шебанін, Д.В. Бабенко, С.І. Пастушенко. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 291 с.

Когут М.С. Основи взаємозамінності, стандартизації, сертифікації, акредитації та технічні вимірювання : підручник / М.С. Когут, Н.М. Лебідь, О.В. Білоус, І.Є. Кравець. – Львів : Світ, 2009. – 528 с.

Сірий І.С. Взаємозамінність, стандартизація і технічні вимірювання / І.С. Сірий. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 353 с.

ДОДАТКИ

Частина 1 **Додаток А**

Допуски і посадки за системою ISO

Основи допусків, відхилів і посадок ДСТУ ISO 286-1–2002, 286-2–2002.

Таблиця 1

Значення основних відхилів валів, мкм

Номінальний розмір, мм		Верхній відхил *es*												*IT5* і *IT6*	*IT7*	*IT8*
понад	до включно	Всі квалітети стандартних допусків														
		a[1]	*b*[1]	*c*	*cd*	*d*	*e*	*ef*	*f*	*fg*	*g*	*h*	*js*[2]	j		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
—	3[1)]	−270	−140	−60	−34	−20	−14	−10	−6	−4	−2	0	Відхил = $\pm IT n/2$, де n – номер значення *IT*	−2	−4	−6
3	6	−270	−140	−70	−46	−30	−20	−14	−10	−6	−4	0		−2	−4	
6	10	−280	−150	−80	−56	−40	−25	−18	−13	−8	−5	0		−2	−5	
10	14															
14	18	−290	−150	−95		−50	−32		−16		−6	0		−3	−6	
18	24															
24	30	−300	−160	−110		−65	−40		−20		−7	0		−4	−8	
30	40	−310	−170	−120												
40	50	−320	−180	−130		−80	−50		−25		−9	0		−5	−10	
50	65	−340	−190	−140												
65	80	−360	−200	−150		−100	−60		−30		−10	0		−7	−12	
80	100	−380	−220	−170												
100	120	−410	−240	−180		−120	−72		−36		−12	0		−9	−15	
120	140	−460	−260	−200												
140	160	−520	−280	−210		−145	−85		−43		−14	0		−11	−18	
160	180	−580	−310	−230												
180	200	−660	−340	−240												
200	225	−740	−380	−260		−170	−100		−50		−15	0		−13	−21	

Від 1?4 до 1?7	До 1?2 (вкл.) і вище 1?7	Верхній відхил es													
		Усі квалітети стандартних допусків													
k		m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
0	0	+2	+4	+6	+10	+14	+41	+18	+39	+20	+63	+26	+32	+40	+60
+1	0	+4	+8	+12	+15	+19	+48	+23	+47	+28	+75	+35	+42	+50	+80
+1	0	+6	+10	+15	+19	+23	+54	+28	+55	+34	+94	+42	+52	+67	+97
+1	0	+7	+12	+18	+23	+28	+66	+33	+68	+40	+114	+50	+64	+90	+130
							+75		+81	+45	+144	+60	+77	+108	+150
+2	0	+8	+15	+22	+28	+35	+91	+41	+102	+54	+174	+73	+98	+136	+188
							+104	+48	+120	+64	+214	+88	+118	+160	+218
+2	0	+9	+17	+26	+34	+43	+122	+60	+146	+80	+254	+112	+148	+200	+274
							+134	+70	+172	+97	+300	+136	+180	+242	+325
+2	0	+11	+20	+32	+41	+53	+146	+87	+202	+122	+340	+172	+226	+300	+405
					+43	+59	+166	+102	+228	+146	+380	+210	+274	+360	+480
+3	0	+13	+23	+37	+51	+71	+180	+124	+252	+178	+425	+258	+335	+445	+585
					+54	+79	+196	+144	+284	+210	+470	+310	+400	+525	+690
+3	0	+15	+27	+43	+63	+92	+218	+170	+310	+248	+520	+365	+470	+620	+800
					+65	+100	+240	+190	+340	+280	+580	+415	+535	+700	+900
					+68	+108	+268	+210	+385	+310	+650	+465	+600	+780	+1000
+4	0	+17	+31	+50	+77	+122	+294	+236	+425	+350	+730	+520	+670	+880	+1150
					+80	+130		+258	+475	+385	+820	+575	+740	+960	+1250
					+84	+140		+284	+530	+425		+640	+820	+1050	+1350
+4	0	+20	+34	+56	+94	+158		+315		+475		+710	+920	+1200	+1550
					+98	+170		+350		+525		+790	+1000	+1300	+1700
+4	0	+21	+37	+62	+108	+190		+390		+590		+900	+1150	+1500	+1900
					+114	+208		+435		+660		+1000	+1300	+1650	+2100

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
225	250	−820	−420	−280												
250	280	−920	−480	−300		−190	−110		−56		−17	0		−16	−26	
280	315	−1050	−540	−330												
315	355	−1200	−600	−360		−210	−125		−62		−18	0		−18	−28	
355	400	−1350	−680	−400												
400	450	−1500	−760	−440		−230	−135		−68		−20	0		−20	−32	
450	500	−1650	−840	−480												
500	560					−260	−145		−76		−22	0				
560	630															
630	710					−290	−160		−80		−24	0				
710	800															
800	900					−320	−170		−86		−26	0				
900	1000															
1000	1120					−350	−195		−98		−28	0				
1120	1250															
1250	1400					−390	−220		−110		−30	0				
1400	1600															
1600	1800					−430	−240		−120		−32	0				
1800	2000															
2000	2240					−480	−260		−130		−34	0				
2240	2500															
2500	2800					−520	−290		−145		−38	0				
2800	3150															

Відхил = $\pm IT_n/2$, де n – номер значення IT

js	js	js	js	js	js	js	js	js	js	js	js	js	js	js	js
+5	0	+23	+40	+68	+126 +132	+232 +252	+330 +360	+490 +540	+595 +660	+740 +820	+920 +1000	+1100 +1250	+1450 +1850	+2400 +1600	+2100 +2600
0	0	+26	+44	+78	+150 +155	+280 +310	+400 +450	+600 +660							
0	0	+30	+50	+88	+175 +185	+340 +380	+500 +560	+740 +840							
0	0	+34	+56	+100	+210 +220	+430 +470	+620 +680	+940 +1050							
0	0	+40	+66	+120	+250 +260	+520 +580	+780 +840	+1200 +1300							
0	0	+48	+78	+140	+300 +330	+640 +720	+960 +1050	+1450 +1600							
0	0	+58	+92	+170	+370 +400	+820 +920	+1200 +1350	+1850 +2000							
0	0	+68	+110	+195	+440 +460	+1000 +1100	+1500 +1650	+2300 +2500							
0	0	+76	+135	+240	+550 +580	+1250 +1400	+1900 +2100	+2900 +3200							

[1] Основні відхили a і b не слід використовувати для номінальних розмірів, менших або рівних 1 мм.

[2] Для полів допусків від $js7$ до $js11$, якщо значення ITn — непарне число, то його можна округлити до ближнього меншого парного числа так, щоб отримані відхили, тобто $\pm ITn/2$, можна було записати в цілих мікрометрах.

Додаток А
Таблиця 2

Значення основних відхилів отворів, мкм

Номінальний розмір, мм		Нижній відхил *EI*												Верхній відхил *ES*						
понад	до (включно)	Усі квалітети стандартних допусків											*IT6*	*IT7*	*IT8*	до *IT8* (вкл.)	понад *IT8*	до *IT8* (вкл.)	понад *IT8*
		A[1]	*B*[1]	*C*	*CD*	*D*	*E*	*EF*	*F*	*FG*	*G*	*H*	*JS*[2]	*J*			*K*[3]		*M*[3,4]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
—	3[1)5)]	+270	+140	+60	+34	+20	+14	+10	+6	+4	+2	0		+2	+4	+6	0	0	−2	−2
3	6	+270	+140	+70	+46	+30	+20	+14	+10	+6	+4	0		+5	+6	+10	−1+Δ		−4+Δ	−4
6	10	+280	+150	+80	+56	+40	+25	+18	+13	+8	+5	0		+5	+8	+12	−1+Δ		−6+Δ	−6
10	14	+290	+150	+95		+50	+32		+16		+6	0		+6	+10	+15	−1+Δ		−7+Δ	−7
14	18																			
18	24	+300	+160	+110		+65	+40		+20		+7	0		+8	+12	+20	−2+Δ		−8+Δ	−8
24	30																			
30	40	+310	+170	+120		+80	+50		+25		+9	0		+10	+14	+24	−2+Δ		−9+Δ	−9
40	50	+320	+180	+130																
50	65	+340	+190	+140		+100	+60		+30		+10	0		+13	+18	+28	−2+Δ		11+Δ	−11
65	80	+360	+200	+150																
80	100	+380	+220	+170		+120	+72		+36		+12	0		+16	+22	+34	−3+Δ		13+Δ	−13
100	120	+410	+240	+180																
120	140	+460	+260	+200		+145	+85		+43		+14	0		+18	+26	+41	−3+Δ		15+Δ	−15
140	160	+520	+280	+210																
160	180	+580	+310	+230																
180	200	+660	+340	+240																
200	225	+740	+380	+260		+170	+100		+50		+15	0		+22	+30	+47	−4+Δ		17+Δ	−17
225	250	+820	+420	+280																
250	280	+920	+480	+300		+190	+110		+56		+17	0		+25	+36	+55	−4+Δ		20+Δ	−20
280	315	+1050	+540	+330																

Відхил = $\pm IT n/2$, де n – номер значення *IT*

Верхній відхил ES														Значення Δ					
до IT8 (вкл.)	понад IT8	до IT7 (вкл.)	Квалітети стандартних допусків понад IT7												Квалітети стандартних допусків					
$N^{3),5)}$		Від P до $ZC^{3)}$	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7	IT8
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
−4	−4	Значення для квалітетів стандартних допусків понад IT7 збільшити на Δ	−6	−10	−14		−18		−20		−26	−32	−40	−60	0	0	0	0	0	0
−8+Δ	0		−12	−15	−19		−23		−28		−35	−42	−50	−80	1	1,5	1	3	4	6
−10+Δ	0		−15	−19	−23		−28		−34		−42	−52	−67	−97	1	1,5	2	3	6	7
−12+Δ	0		−18	−23	−28		−33		−40		−50	−64	−90	−130	1	2	3	3	7	9
−15+Δ	0		−22	−28	−35		−41	−39	−45		−60	−77	−108	−150	1,5	2	3	4	8	12
−17+Δ	0		−26	−34	−43	−41	−48	−47	−54	−63	−73	−98	−136	−188	1,5	3	4	5	9	14
−20+Δ	0		−32	−41	−53	−48	−60	−55	−64	−75	−88	−118	−160	−218	2	3	5	6	11	16
−23+Δ	0		−37	−43	−59	−54	−70	−68	−80	−94	−112	−148	−200	−274	2	4	5	7	13	19
−27+Δ	0		−43	−51	−71	−66	−87	−81	−97	−114	−136	−180	−242	−325	3	4	6	7	15	23
−31+Δ	0		−50	−54	−79	−75	−102	−102	−122	−144	−172	−226	−300	−405	3	4	6	9	17	26
−34+Δ	0		−56	−63	−92	−91	−102	−120	−146	−174	−210	−274	−360	−480	4	4	7	9	20	29
				−65	−100	−104	−124	−122	−144	−172	−178	−214	−258	−335	−445	−585						
				−68	−108	−122	−144	−146	−170	−202	−210	−254	−310	−400	−525	−690						
				−77	−122	−134	−170	−172	−210	−248	−248	−300	−365	−470	−620	−800						
				−80	−130	−146	−190	−202	−236	−284	−280	−340	−415	−535	−700	−900						
				−84	−140	−166	−210	−228	−258	−310	−310	−380	−465	−600	−780	−1000						
				−94	−158	−180	−236	−252	−284	−340	−350	−425	−520	−670	−880	−1150						
				−98	−170	−196	−258	−284	−315	−385	−385	−470	−575	−740	−960	−1250						
						−218	−284	−315	−350	−425	−475	−580	−710	−920	−1200	−1350						
						−240	−315	−385	−425	−525	−580	−650	−790	−1000	−1300	−1550						
							−350	−425	−475	−525	−650	−790	−1000	−1300	−1700						

Додаток А

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
315	355	+1200	+600	+360		+210	+125		+62		+18	0	Відхил = $\pm ITn/2$, де n – номер значення IT	+29	+39	+60	−4+Δ		−21+Δ	−21
355	400	+1350	+680	+400																
400	450	+1500	+760	+440		+230	+135		+68		+20	0		+33	+43	+66	−5+Δ		−23+Δ	−23
450	500	+1650	+840	+480																
500	560					+260	+145		+76		+22	0					0		−26	
560	630																			
630	710					+290	+160		+80		+24	0					0		−30	
710	800																			
800	900					+320	+170		+86		+26	0					0		−34	
900	1000																			
1000	1120					+350	+195		+98		+28	0					0		−40	
1120	1250																			
1250	1400					+390	+220		+110		+30	0					0		−48	
1400	1600																			
1600	1800					+430	+240		+120		+32	0					0		−58	
1800	2000																			
2000	2240					+480	+260		+130		+34	0					0		−68	
2240	2500																			
2500	2800					+520	+290		+145		+38	0					0		−76	
2800	3150																			

[1] Основні відхили A і B не слід використовувати для номінальних розмірів менших або рівних 1 мм.

[2] Для полів допусків від $JS7$ до $JS11$, якщо значення ITn — непарне число, то його можна округлити до ближнього меншого парного числа так, щоб отримані відхили, тобто $\pm ITn/2$, можна було виразити в цілих мікрометрах.

[3] Щоб визначити значення відхилів K, M і N для квалітетів до $IT8$ (вкл.) і відхилів від P до ZC для квалітетів до $IT7$ (вкл.), беруть значення Δ із колонок праворуч.

22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
				−108	−190	−268	−390	−475	−590	−730	−900	−1150	−1500	−1900	4	5	7	11	21	32
−37+Δ	0		−62	−114	−208	−294	−435	−530	−660	−820	−1000	−1300	−1650	−2100						
				−126	−232	−330	−490	−595	−740	−920	−1100	−1450	−1085	−2400	5	5	7	13	23	34
−40+Δ	0		−68	−132	−252	−360	−540	−660	−820	−1000	−1250	−1600	−2100	−2600						
				−78	−150	−280	−400	−600												
	−44		−155	−310	−450	−660														
				−175	−340	−500	−740													
	−50		88	−185	−380	−560	−840													
				−210	−430	−620	−940													
	−56		−100	−220	−470	−680	−1050													
				−250	−520	−780	−1150													
	−66		−120	−260	−580	−840	−1300													
				−300	−640	−960	−1450													
	−78		−140	−330	−720	−1050	−1600													
				−370	−820	−1200	−1850													
	−92		−170	−400	−920	−1350	−2000													
				−440	−1000	−1500	−2300													
	−110		−195	−460	−1100	−1650	−2500													
				−550	−1250	−1900	−2900													
	−135		−240	−580	−1400	−2100	−3200													

Приклади:

*K*7 в інтервалі від 18 до 30 мм: Δ = 8 мкм, звідки $ES = -2 + 8 = +6$ мкм, *S*6 в інтервалі від 18 до 30 мм: Δ = 4 мкм, звідки $ES = -35 + 4 = -31$ мкм.

[4] Окремий випадок: для поля допуску M6 в інтервалі від 250 до 315 мм, $ES = -9$ мкм (замість −11 мкм).

[5] Основний відхил *N* для квалітетів понад *IT*8 не потрібно використовувати для номінальних розмірів менших або тих, що дорівнюють 1 мм.

Додаток А
Таблиця 3

Інтервали номінальних розмірів, мм

Номінальні розміри до 500 мм (вкл.)				Номінальні розміри понад 500 до 3150 мм (вкл.)			
Основні інтервали		Проміжні інтервали[1]		Основні інтервали		Проміжні інтервали[2]	
понад	до включно	понад	до включно	понад	до включно	понад	до включно
—	3	Немає ділення		500	630	500	560
3	6					560	630
6	10			630	800	630	710
		10	14			710	800
10	18	14	18	800	1000	800	900
		18	24			900	1000
18	30	24	30	1000	1250	1000	1120
		30	40			1120	1250
30	50	40	50				1250
		50	65	1250	1600	1250	1400
50	80	65	80			1400	1600
		80	100	1600	2000	1600	1800
80	120	100	120			1800	2000
		120	140	2000	2500	2000	2240
120	180	140	160			2240	2500
		160	180	2500	3150	2500	2800
180	250	180	200			2800	3150
		200	225				
		225	250				
250	315	250	280				
		280	315				
315	400	315	355				
		355	400				
400	500	400	450				
		450	500				

[1] Їх використовують у деяких випадках для відхилів від *a* до *c* і від *r* до *zc* або від *A* до *C* і від *R* до *ZC* (див табл. 2 і 3 додатка А).
[2] Їх використовують для відхилів від *r* до *u* і від *R* до *U* (див. табл. 2 і 3 додатка А).

Значення стандартних допусків квалітетів *IT* для номінальних розмірів до 3150 мм[*], мм

Номінальний розмір, мм		Квалітети																	
понад	до включно	*IT*01[1]	*IT*0[1]	*IT*1[2]	*IT*2[2]	*IT*3[2]	*IT*4[2]	*IT*5[2]	*IT*6[2]	*IT*7	*IT*8	*IT*9	*IT*10	*IT*11	*IT*12	*IT*13	*IT*14[3]	*IT*15[3]	*IT*16[3]	*IT*17[3]	*IT*18[3]
		Допуски																			
		мкм											мм								
—	3[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	3,5	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[2]	4,5	7	9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	0,7	1,1	1,75	2,8	4,4	7	11
630	800[2]	5	8	10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	0,8	1,25	2	3,2	5	8	12,5
800	1000[2]	6	9	11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	0,9	1,4	2,3	3,6	5,6	9	14
1000	1250[2]	8	11	13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1,05	1,65	2,6	4,2	6,6	10,5	16,5
1250	1600[2]	10	13	15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1,25	1,95	3,1	5	7,8	12,5	19,5
1600	2 000[2]	11	15	18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1,5	2,3	3,7	6	9,2	15	23
2 000	2 500[2]	14	18	22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1,75	2,8	4,4	7	11	17,5	28
2 500	3150[2]	17	22	26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2,1	3,3	5,4	8,6	13,5	21	33

* Цю таблицю взято із ISO 286-1, долучено до цього стандарту для полегшення розуміння й використання системи.

[1] Значення стандартних допусків квалітетів *IT*01 і *IT*0 для номінальних розмірів, менших або рівних 500 мм, наведено в ISO 286-1, додаток А, табл. 5.

[2] Значення стандартних допусків квалітетів від *IT*1 до *IT*5 (вкл.) для номінальних розмірів, більших 500 мм, долучено для експериментального використання.

[3] Стандартні допуски квалітетів від *IT*14 до *IT*18 (вкл.) не повинні використовуватися для номінальних розмірів, менших або рівних 1 мм.

Примітки до представлених таблиць 2–32 Додаток А

Примітка 1. Значення для основних відхилів, використовуваних у полях допусків, які не наведено в таблицях і для яких залишено вільне місце, можна розрахувати з основ, наведених в ISO 286-1.

Примітка 2. Мале горизонтальне відокремлення вставлене в таблицю, щоб відрізняти значення для номінальних розмірів, менших або рівних 500 мм і для більших ніж 500 мм, отриманих із різних основ.

Таблиця 2

Граничні відхили отворів A, B і C[1]
Верхній граничний відхил = ES
Нижній граничний відхил = EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		A[2]					B[2]						C					
понад	до включно	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12	13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
—	3[2]	+295 +270	+310 +370	+330 +270	+370 +270	+410 +270	+154 +140	+165 +140	+180 +140	+200 +140	+240 +140	+280 +140	+74 +60	+85 +60	+100 +60	+120 +60	+160 +60	+200 +60
3	6	+300 +270	+318 +270	+345 +270	+390 +270	+450 +270	+158 +140	+170 +140	+180 +140	+215 +140	+260 +140	+320 +140	+88 +70	+100 +70	+118 +70	+145 +70	+190 +70	+250 +70
6	10	+316 +280	+338 +280	+370 +280	+430 +280	+500 +280	+172 +150	+186 +150	+208 +150	+240 +150	+300 +150	+370 +150	+102 +80	+116 +80	+138 +80	+170 +80	+230 +80	+300 +80
10	18	+333 +290	+360 +290	+400 +290	+470 +290	+560 +290	+177 +150	+193 +150	+220 +150	+260 +150	+330 +150	+420 +150	+122 +95	+138 +95	+165 +95	+205 +95	+275 +95	+365 +95
18	30	+352 +300	+384 +300	+430 +300	+510 +300	+630 +300	+193 +160	+212 +160	+244 +160	+290 +160	+370 +160	+490 +160	+143 +110	+162 +110	+194 +110	+240 +110	+320 +110	+440 +110
30	40	+372 +310	+410 +310	+470 +310	+560 +310	+700 +310	+209 +170	+232 +170	+270 +170	+330 +170	+420 +170	+560 +170	+159 +120	+182 +120	+220 +120	+280 +120	+370 +120	+510 +120
40	50	+382 +320	+420 +320	+480 +320	+570 +320	+710 +320	+219 +180	+242 +180	+280 +180	+340 +180	+430 +180	+570 +180	+169 +130	+192 +130	+230 +130	+290 +130	+380 +130	+520 +130
50	65	+414 +340	+460 +340	+530 +340	+640 +340	+800 +340	+236 +190	+264 +190	+310 +190	+380 +190	+490 +190	+650 +190	+186 +140	+214 +140	+260 +140	+330 +140	+440 +140	+600 +140
65	80	+434 +360	+480 +360	+550 +360	+660 +360	+820 +360	+246 +200	+274 +200	+320 +200	+390 +200	+500 +200	+660 +200	+196 +150	+224 +150	+270 +150	+340 +150	+450 +150	+610 +150

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
		+467	+520	+600	+730	+920	+274	+307	+360	+440	+570	+760	+224	+257	+310	+390	+520	+710
80	100	+380	+380	+380	+380	+380	+220	+220	+220	+220	+220	+220	+170	+170	+170	+170	+170	+170
		+497	+550	+630	+760	+950	+294	+327	+380	+460	+590	+780	+234	+267	+320	+400	+530	+720
100	120	+410	+410	+410	+410	+410	+240	+240	+240	+240	+240	+240	+180	+180	+180	+180	+180	+180
		+560	+620	+710	+860	+1090	+232	+360	+420	+510	+660	+890	+263	+300	+360	+450	+600	+830
120	140	+460	+460	+460	+460	+460	+260	+260	+260	+260	+260	+260	+200	+200	+200	+200	+200	+200
		+620	+680	+770	+920	+1150	+343	+380	+440	+530	+680	+910	+273	+310	+370	+460	+610	+840
140	160	+520	+520	+520	+520	+520	+280	+280	+280	+280	+280	+280	+210	+210	+210	+210	+210	+210
		+680	+740	+830	+980	+1210	+373	+410	+470	+560	+710	+940	+293	+330	+390	+480	+630	+860
160	180	+580	+580	+580	+580	+580	+310	+310	+310	+310	+310	+310	+230	+230	+230	+230	+230	+230
		+775	+845	+950	+1120	+1380	+412	+455	+525	+630	+800	+1060	+312	+355	+425	+530	+700	+960
180	200	+660	+660	+660	+660	+660	+340	+340	+340	+340	+340	+340	+240	+240	+240	+240	+240	+240
		+855	+925	+1030	+1200	+1460	+452	+495	+565	+670	+840	+1100	+332	+375	+445	+550	+720	+980
200	225	+740	+740	+740	+740	+740	+380	+380	+380	+380	+380	+380	+260	+260	+260	+260	+260	+260
		+935	+1005	+1110	+1280	+1540	+492	+535	+605	+710	+880	+1140	+352	+395	+465	+570	+740	+1000
225	250	+820	+820	+820	+820	+820	+420	+420	+420	+420	+420	+420	+280	+280	+280	+280	+280	+280
		+1050	+1130	+1240	+1440	+1730	+561	+610	+690	+800	+1000	+1290	+381	+430	+510	+620	+820	+1110
250	280	+920	+920	+920	+920	+920	+480	+480	+480	+480	+480	+480	+300	+300	+300	+300	+300	+300
		+1180	+1260	+1370	+1570	+1860	+621	+670	+750	+860	+1060	+1350	+411	+460	+540	+650	+850	+1140
280	315	+1050	+1050	+1050	+1050	+1050	+540	+540	+540	+540	+540	+540	+330	+330	+330	+330	+330	+330
		+1340	+1430	+1560	+1770	+2000	+689	+740	+830	+960	+1170	+1490	+449	+500	+590	+720	+930	+1250
315	355	+1200	+1200	+1200	+1200	+1200	+600	+600	+600	+600	+600	+600	+360	+360	+360	+360	+360	+360
		+1490	+1580	+1710	+1920	+2240	+769	+820	+910	+1040	+1250	+1570	+489	+540	+630	+760	+970	+1290
355	400	+1350	+1350	+1350	+1350	+1350	+680	+680	+680	+680	+680	+680	+400	+400	+400	+400	+400	+400
		+1655	+1750	+1900	+2130	+2470	+857	+915	+1010	+1160	+1390	+1730	+537	+595	+690	+840	+1070	+1410
400	450	+1500	+1500	+1500	+1500	+1500	+760	+760	+760	+760	+760	+760	+440	+440	+440	+440	+440	+440
		+1805	+1900	+2050	+2280	+2620	+937	+995	+1090	+1240	+1470	+1810	+577	+635	+730	+880	+1110	+1450
450	500	+1650	+1650	+1650	+1650	+1650	+840	+840	+840	+840	+840	+840	+480	+480	+480	+480	+480	+480

[1] Основні відхили *A*, *B* і *C* не передбачені для номінальних розмірів, більших 500 мм.

[2] Основні відхили *A* і *B* не потрібно використовувати для будь-якого квалітету за номінальних розмірів, менших або рівних 1 мм.

Додаток А

Таблиця 3

Граничні відхили отворів *CD*, *D* і *E*
Верхній граничний відхил = *ES*
Нижній граничний відхил = *EI*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*CD*[1]					*D*								*E*					
понад	до включно	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10	11	12	13	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
—	3	+40	+44	+48	+59	+74	+26	+30	+34	+45	+60	+80	+120	+160	+18	+20	+24	+28	+39	+54
		+34	+34	+34	+34	+34	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+14	+14	+14	+14	+14	+14
3	6	+54	+58	+64	+76	+94	+38	+42	+48	+60	+78	+105	+150	+210	+25	+28	+32	+38	+50	+68
		+46	+46	+46	+46	+46	+30	+30	+30	+30	+30	+30	+30	+30	+20	+20	+20	+20	+20	+20
6	10	+65	+71	+78	+92	+114	+49	+55	+62	+76	+98	+130	+190	+260	+31	+34	+40	+47	+61	+83
		+56	+56	+56	+56	+56	+40	+40	+40	+40	+40	+40	+40	+40	+25	+25	+25	+25	+25	+25
10	18						+61	+68	+77	+93	+120	+160	+230	+320	+40	+43	+50	+59	+75	+102
							+50	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+50	+32	+32	+32	+32	+32	+32
18	30						+78	+86	+98	+117	+149	+195	+275	+395	+49	+53	+61	+73	+92	+124
							+65	+65	+65	+65	+65	+65	+65	+65	+40	+40	+40	+40	+40	+40
30	50						+96	+105	+119	+142	+180	+240	+330	+470	+61	+66	+75	+89	+112	+150
							+80	+80	+80	+80	+80	+80	+80	+80	+50	+50	+50	+50	+50	+50
50	80						+119	+130	+146	+174	+220	+290	+400	+560	+73	+79	+90	+106	+134	+180
							+100	+100	+100	+100	+100	+100	+100	+100	+60	+60	+60	+60	+60	+60
80	120						+142	+155	+174	+207	+260	+340	+470	+660	+87	+94	+107	+125	+159	+212
							+120	+120	+120	+120	+120	+120	+120	+120	+72	+72	+72	+72	+72	+72
120	180						+170	+185	+208	+245	+305	+395	+545	+775	+103	+110	+125	+148	+185	+245
							+145	+145	+145	+145	+145	+145	+145	+145	+85	+85	+85	+85	+85	+85
180	250						+199	+216	+242	+285	+355	+460	+630	+890	+120	+129	+146	+172	+215	+285
							+170	+170	+170	+170	+170	+170	+170	+170	+100	+100	+100	+100	+100	+100

250	315						+222 +190 +246	+242 +190 +267	+271 +190 +299	+320 +190 +350	+400 +190 +440	+510 +190 +570	+710 +190 +780	+1000 +190 +1100	+133 +110 +150	+142 +110 +161	+162 +110 +182	+192 +110 +214	+240 +110 +265	+320 +110 +355
315	400						+210 +270	+210 +293	+210 +327	+210 +385	+210 +480	+210 +630	+210 +860	+210 +1200	+125 +162	+125 +175	+125 +198	+125 +232	+125 +290	+125 +385
400	500						+230 +304	+230 +330	+230 +370	+230 +435	+230 +540	+230 +700	+230 +960	+230 +1360	+135	+135 +189	+135 +215	+135 +255	+135 +320	+135 +425
500	630						+260 +340	+260 +370	+260 +415	+260 +490	+260 +610	+260 +790	+260 +1090	+260 +1540		+145 +210	+145 +240	+145 +285	+145 +360	+145 +480
630	800						+290 +376	+290 +410	+290 +460	+290 +550	+290 +680	+290 +880	+290 +1220	+290 +1720		+160 +226	+160 +260	+160 +310	+160 +400	+160 +530
800	1000						+320 +416	+320 +455	+320 +515	+320 +610	+320 +770	+320 +1010	+320 +1400	+320 +2000		+170 +261	+170 +300	+170 +360	+170 +455	+170 +615
1000	1250						+350 +468	+350 +515	+350 +585	+350 +700	+350 +890	+350 +1170	+350 +1640	+350 +2340		+195 +298	+195 +345	+195 +415	+195 +530	+195 +720
1250	1600						+390 +522	+390 +580	+390 +660	+390 +800	+390 +1030	+390 +1350	+390 +1930	+390 +2730		+220 +332	+220 +390	+220 +470	+220 +610	+220 +840
1500	2000						+430 +590	+430 +655	+430 +760	+430 +920	+430 +1180	+430 +1580	+430 +2230	+430 +3280		+240 +370	+240 +436	+240 +540	+240 +700	+240 +960
2000	2500						+480 +655	+480 +730	+480 +850	+480 +1060	+480 +1380	+480 +1870	+480 +2620	+480 +3820		+260 +425	+260 +500	+260 +620	+260 +830	+260 +1150
2500	3150						+520	+520	+520	+520	+520	+520	+520	+520		+290	+290	+290	+290	+290

[1] Проміжний основний відхил CD передбачено, передусім, для точних механізмів і годинникового виробництва. Якщо потрібні поля допусків, що охоплюють цей основний відхил для інших номінальних розмірів, то їх можна розрахувати відповідно до ISO 286-1.

Таблиця 4

Граничні відхили отворів *EF* і *F*
Верхній граничний відхил = *ES*
Нижній граничний відхил = *EI*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*EF*[1]								*F*							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
—	3	+12	+13	+14	+16	+20	+24	+35	+50	+8	+9	+10	+12	+16	+20	+31	+46
		+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+6	+6	+6	+6	+6	+6	+6	+6
3	6	+16,5	+18	+19	+22	+26	+32	+44	+62	+12,5	+14	+15	+18	+22	+28	+40	+58
		+14	+14	+14	+14	+14	+14	+14	+14	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
6	10	+20,5	+22	+24	+27	+33	+40	+54	+76	+15,5	+17	+19	+22	+28	+35	+49	+71
		+18	+18	+18	+18	+18	+18	+18	+18	+13	+13	+13	+13	+13	+13	+13	+13
10	18									+19	+21	+24	+27	+34	+43	+59	+86
										+16	+16	+16	+16	+16	+16	+16	+16
18	30									+24	+26	+29	+33	+41	+53	+72	+104
										+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20	+20
30	50									+29	+32	+36	+41	+50	+64	+87	+125
										+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25	+25
50	80											+43	+49	+60	+76	+104	
												+30	+30	+30	+30	+30	
80	120											+51	+58	+71	+90	+123	
												+36	+36	+36	+36	+36	
120	180											+61	+68	+83	+106	+143	
												+43	+43	+43	+43	+43	
180	250											+70	+79	+96	+122	+165	
												+50	+50	+50	+50	+50	

												+79	+88	+108	+137	+186	
250	315											+56	+56	+56	+56	+56	
												+87	+98	+119	+151	+202	
315	400											+62	+62	+62	+62	+62	
												+95	+108	+131	+165	+223	
400	500											+68	+68	+68	+68	+68	
													+120	+146	+186	+251	
500	630												+76	+76	+76	+76	
													+130	+160	+205	+280	
630	800												+80	+80	+80	+80	
													+142	+176	+226	+316	
800	1000												+86	+86	+86	+86	
													+164	+203	+263	+358	
1000	1250												+98	+98	+98	+98	
													+188	+235	+305	+420	
1250	1600												+110	+110	+110	+110	
													+212	+270	+350	+490	
1600	2000												+120	+120	+120	+120	
													+240	+305	+410	+570	
2000	2500												+130	+130	+130	+130	
													+280	+355	+475	+685	
2500	3150												+145	+145	+145	+145	

[1] Проміжний основний відхил *EF* передбачено, передусім, для точних механізмів і годинникового виробництва. Якщо потрібні поля допусків, що охоплюють цей основний відхил для інших номінальних розмірів, то їх можна розрахувати відповідно до ISO 286-1.

Граничні відхили отворів *FG* і *G*
Верхній граничний відхил = *ES*
Нижній граничний відхил = *EI*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*FG*								*G*							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
—	3	+6 +4 +8,5	+7 +4 +10	+8 +4 +11	+10 +4 +14	+14 +4 +18	+18 +4 +24	+29 +4 +36	+44 +4 +54	+4 +2 +6,5	+5 +2 +8	+6 +2 +9	+8 +2 +12	+12 +2 +16	+16 +2 +22	+27 +2 +34	+42 +2 +52
3	6	+6 +10,5	+6 +12	+6 +14	+6 +17	+6 +23	+6 +30	+6 +44	+6 +66	+4 +7,5	+4 +9	+4 +11	+4 +14	+4 +20	+4 +27	+4 +41	+4 +63
6	10	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+5 +9	+5 +11	+5 +14	+5 +17	+5 +24	+5 +33	+5 +49	+5 +76
10	18									+6 +11	+6 +13	+6 +16	+6 +20	+6 +28	+6 +40	+6 +59	+6 +91
18	30									+7 +13	+7 +16	+7 +20	+7 +25	+7 +34	+7 +48	+7 +71	+7 +109
30	50									+9	+9	+9 +23	+9 +29	+9 +40	+9 +56	+9	+9
50	80											+10 +27	+10 +34	+10 +47	+10 +66		
80	120											+12 +32	+12 +39	+12 +54	+12 +77		
120	180											+14 +35	+14 +44	+14 +61	+14 +87		
180	250											+15	+15	+15	+15		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
												+40	+49	+69	+98		
250	315											+17	+17	+17	+17		
												+43	+54	+75	+107		
315	400											+18	+18	+18	+18		
												+47	+60	+83	+117		
400	500											+20	+20	+20	+20		
													+66	+92	+132		
500	630												+22	+22	+22		
													+74	+104	+149		
630	800												+24	+24	+24		
													+82	+116	+166		
800	1000												+26	+26	+26		
													+94	+133	+193		
1000	1250												+28	+28	+28		
													+108	+155	+225		
1250	1600												+30	+30	+30		
													+124	+182	+262		
1600	2000												+32	+32	+32		
													+144	+209	+314		
2000	2500												+34	+34	+34		
													+173	+248	+368		
2500	3150												+38	+38	+38		

Примітка: Проміжний основний відхил *FG* передбачено, передусім, для точних механізмів і годинникового виробництва. Якщо потрібні поля допусків, що охоплюють цей основний відхил для інших номінальних розмірів, то їх можна розрахувати відповідно до ISO 286–1.

Додаток А

Таблиця 6

Граничні відхили отворів H

Верхній граничний відхил = ES

Нижній граничний відхил = EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		H																	
понад	до включно	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14[1]	15[1]	16[1]	17[1]	18[1]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
—	3[1]	+0,8 0	+1,2 0	+2 0	+3 0	+4 0	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+40 0	+60 0	+0,1 0	+0,14 0	+0,25 0	+0,4 0	+0,6 0		
3	6	+1 0	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+5 0	+8 0	+12 0	+18 0	+30 0	+48 0	+75 0	+0,12 0	+0,18 0	+0,3 0	0,48 0	+0,75 0	+1,2 0	+1,8 0
6	10	+1 0	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+15 0	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+0,15 0	+0,22 0	+0,36 0	+0,58 0	+0,9 0	+1,5 0	+2,2 0
10	18	+1,2 0	+2 0	+3 0	+5 0	+8 0	+11 0	+18 0	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+0,18 0	+0,27 0	+0,43 0	+0,7 0	+1,1 0	+1,8 0	+2,7 0
18	30	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+6 0	+9 0	+13 0	+21 0	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	+0,21 0	+0,33 0	+0,52 0	+0,84 0	+1,3 0	+2,1 0	+3,3 0
30	50	+1,5 0	+2,5 0	+4 0	+7 0	+11 0	+16 0	+25 0	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+0,25 0	+0,39 0	+0,62 0	+1 0	+1,6 0	+2,5 0	+3,9 0
50	80	+2 0	+3 0	+5 0	+8 0	+13 0	+19 0	+30 0	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0	+0,3 0	+0,46 0	+0,74 0	+1,2 0	+1,9 0	+3 0	+4,6 0
80	120	+2,5 0	+4 0	+6 0	+10 0	+15 0	+22 0	+35 0	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0	+0,35 0	+0,54 0	+0,87 0	+1,4 0	+2,2 0	+3,5 0	+5,4 0
120	180	+3,5 0	+5 0	+8 0	+12 0	+18 0	+25 0	+40 0	+63 0	+100 0	+160 0	+250 0	+0,4 0	+0,63 0	+1 0	+1,6 0	+2,5 0	+4 0	+6,3 0
180	250	+4,5 0	+7 0	+10 0	+14 0	+20 0	+29 0	+46 0	+72 0	+115 0	+185 0	+290 0	+0,46 0	+0,72 0	+1,15 0	+1,85 0	+2,9 0	+4,6 0	+7,2 0

[1] Квалітети допусків від *IT*14 до *IT*18 (вкл.) не потрібно використовувати для номінальних розмірів, менших або рівних 1 мм.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
250	315	+6 0	+8 0	+12 0	+16 0	+23 0	+32 0	+52 0	+81 0	+130 0	+210 0	+320 0	+0,52 0	+0,81 0	+1,3 0	+2,1 0	+3,2 0	+5,2 0	+8,1 0
315	400	+7 0	+9 0	+13 0	+18 0	+25 0	+36 0	+57 0	+89 0	+140 0	+230 0	+360 0	+0,57 0	+0,89 0	+1,4 0	+2,3 0	+3,6 0	+5,7 0	+8,9 0
400	500	+8 0	+10 0	+15 0	+20 0	+27 0	+40 0	+63 0	+97 0	+155 0	+250 0	+400 0	+0,63 0	+0,97 0	+1,55 0	+2,5 0	+4 0	+6,3 0	+9,7 0
500	630	+9 0	+11 0	+16 0	+22 0	+32 0	+44 0	+70 0	+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+0,7 0	+1,1 0	+1,75 0	+2,8 0	+4,4 0	+7 0	+11 0
630	800	+10 0	+13 0	+18 0	+25 0	+36 0	+50 0	+80 0	+125 0	+200 0	+320 0	+500 0	+0,8 0	+1,25 0	+2 0	+3,2 0	+5 0	+8 0	+12,5 0
800	1000	+11 0	+15 0	+21 0	+28 0	+40 0	+56 0	+90 0	+140 0	+230 0	+360 0	+560 0	+0,9 0	+1,4 0	+2,3 0	+3,6 0	+5,6 0	+9 0	+14 0
1000	1250	+13 0	+18 0	+24 0	+33 0	+47 0	+66 0	+105 0	+165 0	+260 0	+420 0	+660 0	+1,05 0	+1,65 0	+2,6 0	+4,2 0	+6,6 0	+10,5 0	+16,5 0
1250	1600	+15 0	+21 0	+29 0	+39 0	+55 0	+78 0	+125 0	+195 0	+310 0	+500 0	+780 0	+1,25 0	+1,95 0	+3,1 0	+5 0	+7,8 0	+12,5 0	+19,5 0
1600	2000	+18 0	+25 0	+35 0	+46 0	+65 0	+92 0	+150 0	+230 0	+370 0	+600 0	+920 0	+1,5 0	+2,3 0	+3,7 0	+6 0	+9,2 0	+15 0	+23 0
2000	2500	+22 0	+30 0	+41 0	+55 0	+78 0	+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+700 0	+1100 0	+1,75 0	+2,8 0	+4,4 0	+7 0	+11 0	+17,5 0	+28 0
2500	3150	+26 0	+36 0	+50 0	+68 0	+96 0	+135 0	+210 0	+330 0	+540 0	+860 0	+1350 0	+2,1 0	+3,3 0	+5,4 0	+8,6 0	+13,5 0	+21 0	+33 0

[2] Значення в рамці для квалітетів від *IT*1 до *IT*5 (вкл.), для номінальних розмірів, більших 500 мм і менших або рівних 3150 мм, долучено для експериментального використання.

Таблиця 7

Граничні відхили[1] отворів JS
Верхній граничний відхил = ES
Нижній граничний відхил = EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		JS																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14[2]	15[2]	16	17	18
понад	до включно	Відхили																	
		мкм											мм						
—	3[2]	±0,4	±0,6	±1	±1,5	±2	±3	±5	±7	±12,5	±20	±30	±0,05	±0,07	±0,125	±0,2	±0,3		
3	6	±0,5	±0,75	±1,25	±2	±2,5	±4	±6	±9	±15	±24	±37,5	±0,06	±0,09	±0,15	±0,24	±0,375	±0,6	±0,9
6	10	±0,5	±0,75	±1,25	±2	±3	±4,5	±7,5	±11	±18	±29	±45	±0,075	±0,11	±0,18	±0,29	±0,45	±0,75	±1,1
10	18	±0,6	±1	±1,5	±2,5	±4	±5,5	±9	±13,5	±21,5	±35	±55	±0,09	±0,135	±0,215	±0,35	±0,55	±0,9	±1,35
18	30	±0,75	±1,25	±2	±3	±4,5	±6,5	±10,5	±16,5	±26	±42	±65	±0,105	±0,165	±0,26	±0,42	±0,65	±1,05	±1,65
30	50	±0,75	±1,25	±2	±3,5	±5,5	±8	±12,5	±19,5	±31	±50	±80	±0,125	±0,195	±0,31	±0,5	±0,8	±1,25	±1,95
50	80	±1	±1,5	±2,5	±4	±6,5	±9,5	±15	±23	±37	±60	±95	±0,15	±0,23	±0,37	±0,6	±0,95	±1,5	±2,3
80	120	±1,25	±2	±3	±5	±7,5	±11	±17,5	±27	±43,5	±70	±110	±0,175	±0,27	±0,435	±0,7	±1,1	±1,75	±2,7
120	180	±1,75	±2,5	±4	±6	±9	±12,5	±20	±31,5	±50	±80	±125	±0,2	±0,315	±0,5	±0,8	±1,25	±2	±3,15
180	250	±2,25	±3,5	±5	±7	±10	±14,5	±23	±36	±57,5	±92,5	±145	±0,23	±0,36	±0,575	±0,925	±1,45	±2,3	±3,6
250	315	±3	±4	±6	±8	±11,5	±16	±26	±40,5	±65	±105	±160	±0,26	±0,405	±0,65	±1,05	±1,6	±2,6	±4,05
315	400	±3,5	±4,5	±6,5	±9	±12,5	±18	±28,5	±44,5	±70	±115	±180	±0,285	±0,445	±0,7	±1,15	±1,8	±2,85	±4,45
400	500	±4	±5	±7,5	±10	±13,5	±20	±31,5	±48,5	±77,5	±125	±200	±0,315	±0,485	±0,775	±1,25	±2	±3,15	±4,85
500	630	±4,5	±5,5	±8	±11	±16	±22	±35	±55	±87,5	±140	±220	±0,35	±0,55	±0,875	±1,4	±2,2	±3,5	±5,5
630	800	±5	±6,5	±9	±12,5	±18	±25	±40	±62,5	±100	±160	±250	±0,4	±0,625	±1	±1,6	±2,5	±4	±6,25
800	1000	±5,5	±7,5	±10,5	±14	±20	±28	±45	±70	±115	±180	±280	±0,45	±0,7	±1,15	±1,8	±2,8	±4,5	±7
1000	1250	±6,5	±9	±12	±16,5	±23,5	±33	±52,5	±82,5	±130	±210	±330	±0,525	±0,825	±1,3	±2,1	±3,3	±5,25	±8,25
1250	1600	±7,5	±10,5	±14,5	±19,5	±27,5	±39	±62,5	±97,5	±155	±250	±390	±0,625	±0,975	±1,55	±2,5	±3,9	±6,25	±9,75
1600	2000	±9	±12,5	±17,5	±23	±32,5	±46	±75	±115	±185	±300	±460	±0,75	±1,15	±1,85	±3	±4,6	±7,5	±11,5
2000	2500	±11	±15	±20,5	±27,5	±39	±55	±87,5	±140	±220	±350	±550	±0,875	±1,4	±2,2	±3,5	±5,5	±8,75	±14
2500	3150	±13	±18	±25	±34	±48	±67,5	±105	±165	±270	±430	±675	±1,05	±1,65	±2,7	±4,3	±6,75	±10,5	±16,5

[1] Для того, щоб уникнути повторів однакових значень, таблиця побудована зі значеннями як "$\pm x$", що означає $ES = +x$ і $EI = -x$, наприклад $^{+0,23}_{-0,23}$ мкм.

[2] Квалітети допусків від $IT14$ до $IT16$ (вкл.) не потрібно використовувати для номінальних розмірів, менших або рівних 1 мм.

[3] Значення в рамці для квалітетів від $IT1$ до $IT5$ (вкл.), для номінальних розмірів, більших 500 мм і менших або рівних 3150 мм, допущено для експериментального використання.

Додаток А

Таблиця 8

Граничні відхили отворів *J* і *K*

Верхній граничний відхил = *ES*

Нижній граничний відхил = *EI*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*J*				*K*							
понад	до включно	6	7	8	9[1]	3	4	5	6	7	8	9[2]	10[2]
—	3	+2	+4	+6		0	0	0	0	0	0	0	0
		−4	−6	−8		−2	−3	−4	−6	−10	−14	−25	−40
3	6	+5	±6[3]	+10		0	+0,5	0	+2	+3	+5		
		−3		−8		−2,5	−3,5	−5	−6	−9	−13		
6	10	+5	+8	+12		0	+0,5	+1	+2	+5	+6		
		−4	−7	−10		−2,5	−3,5	−5	−7	−10	−16		
10	18	+6	+10	+15		0	+1	+2	+2	+6	+8		
		−5	−8	−12		−3	−4	−6	−9	−12	−19		
18	30	+8	+12	+20		−0,5	0	+1	+2	+6	+10		
		−5	−9	−13		−4,5	−6	−8	−11	−15	−23		
30	50	+10	+14	+24		−0,5	+1	+2	+3	+7	+12		
		−6	−11	−15		−4,5	−6	−9	−13	−18	−27		
50	80	+13	+18	+28				+3	+4	+9	+14		
		−6	−12	−18				−10	−15	−21	−32		
80	120	+16	+22	+34				+2	+4	+10	+16		
		−6	−13	−20				−13	−18	−25	−38		
120	180	+18	+26	+41				+3	+4	+12	+20		
		−7	−14	−22				−15	−21	−28	−43		
180	250	+22	+30	+47				+2	+5	+13	+22		
		−7	−16	−25				−18	−24	−33	−50		
250	315	+25	+36	+55				+3	+5	+16	+25		
		−7	−16	−26				−20	−27	−36	−56		
315	400	+29	+39	+60				+3	+7	+17	+28		
		−7	−18	−29				−22	−29	−40	−61		
400	500	+33	+43	+66				+2	+8	+18	+29		
		−7	−20	−31				−25	−32	−45	−68		
500	630								0	0	0		
									−44	−70	−110		
630	800								0	0	0		
									−50	−80	−125		
800	1000								0	0	0		
									−56	−90	−140		
1000	1250								0	0	0		
									−66	−105	−165		
1250	1600								0	0	0		
									−78	−125	−195		
1600	2000								0	0	0		
									−92	−150	−230		
2000	2500								0	0	0		
									−110	−175	−280		
2500	3150								0	0	0		
									−135	−210	−330		

[1] Усі допуски *J*9, *J*10 тощо симетричні відносно нульової лінії. Для цих значень див. *JS*9, *JS*10 тощо.

[2] Поля для *K* в квалітетах понад *IT*8 не визначено для номінальних розмірів, більших 3 мм.

[3] Замінено з *JS*7.

Граничні відхили отворів M і N
Верхній граничний відхил = ES
Нижній граничний відхил = EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		M								N								
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9[1]	10[1]	11[1]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
—	3[1]	−2 −4	−2 −5	−2 −6	−2 −8	−2 −12	−2 −16	−2 −27	−2 −42	−4 −6	−4 −7	−4 −8	−4 −10	−4 −14	−4 −18	−4 −29	−4 −44	−4 −64
3	6	−3 −5,5	−2,5 −6,5	−3 −8	−1 −9	0 −12	+2 −16	−4 −34	−4 −52	−7 −9,5	−6,5 −10,5	−7 −12	−5 −13	−4 −16	−2 −20	0 −30	0 −48	0 −75
6	10	−5 −7,5	−4,5 −8,5	−4 −10	−3 −12	0 −15	+1 −21	−6 −42	−6 −64	−9 −11,5	−8,5 −12,5	−8 −14	−7 −16	−4 −19	−3 −25	0 −36	0 −58	0 −90
10	18	−6 −9	−5 −10	−4 −12	−4 −15	0 −18	+2 −25	−7 −50	−7 −77	−11 −14	−10 −15	−9 −17	−9 −20	−5 −23	−3 −30	0 −43	0 −70	0 −110
18	30	−6,5 −10,5	−6 −12	−5 −14	−4 −17	0 −21	+4 −29	−8 −60	−8 −92	−13,5 −17,5	−13 −19	−12 −21	−11 −24	−7 −28	−3 −36	0 −52	0 −84	0 −130
30	50	−7,5 −11,5	−6 −13	−5 −16	−4 −20	0 −25	+5 −34	−9 −71	−9 −109	−15,5 −19,5	−14 −21	−13 −24	−12 −28	−8 −33	−3 −42	0 −62	0 −100	0 −180
50	80			−6 −19	−5 −24	0 −30	+5 −41					−15 −28	−14 −33	−9 −39	−4 −50	0 −74	0 −120	0 −190
80	120			−8 −23	−6 −28	0 −35	+6 −48					−18 −33	−18 −38	−10 −45	−4 −58	0 −87	0 −140	0 −220
120	180			−9 −27	−8 −33	0 −40	+8 −55					−21 −39	−20 −45	−12 −52	−4 −67	0 −100	0 −160	0 −250
180	250			−11 −31	−8 −37	0 −48	+9 −63					−25 −45	−22 −51	−14 −60	−5 −77	0 −115	0 −185	0 −290
250	315			−13 −36	−9 −41	0 −52	+9 −72					−27 −50	−25 −57	−14 −66	−5 −86	0 −130	0 −210	0 −320

315	400			−14 −39	−10 −46	0 −57	+11 −78					−30 −55	−25 −62	−16 −73	−5 −94	0 −140	0 −230	0 −360
400	500			−16 −43	−10 −50	0 −63	+11 −86					−33 −60	−27 −67	−17 −80	−6 −103	0 −155	0 −250	0 −400
500	630				−26 −70	−26 −96	−26 −136						−44 −88	−44 −114	−44 −154	−44 −219		
630	800				−30 −80	−30 −110	−30 −155						−50 −100	−50 −130	−50 −175	−50 −250		
800	1000				−34 −90	−34 −124	−34 −174						−56 −112	−56 −146	−56 −196	−56 −286		
1000	1250				−40 −106	−40 −145	−40 −205						−66 −132	−66 −171	−66 −231	−66 −326		
1250	1600				−48 −126	−48 −173	−48 −243						−78 −156	−78 −203	−78 −273	−78 −388		
1600	2000				−58 −150	−58 −208	−58 −288						−92 −184	−92 −242	−92 −322	−92 −462		
2000	2500				−68 −178	−68 −243	−68 −348						−110 −220	−110 −285	−110 −390	−110 −550		
2500	3150				−76 −211	−76 −286	−76 −406						−135 −270	−135 −345	−135 −465	−135 −675		

[1] Поля допусків *N*9, *N*10, *N*11 не потрібно використовувати для номінальних розмірів, менших або рівних 1 мм.

Таблиця 10

Граничні відхили отворів *P*
Верхній граничний відхил = *ES*
Нижній граничний відхил = *EI*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*P*							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	−6 −8	−6 −9	−6 −10	−6 −12	−6 −16	−6 −20	−6 −31	−6 −46
3	6	−11 −13,5	−10,5 −14,5	−11 −16	−9 −17	−8 −20	−12 −30	−12 −42	−12 −60
6	10	−14 −16,5	−13,5 −17,5	−13 −19	−12 −21	−9 −24	−15 −37	−15 −51	−15 −73
10	18	−17 −20	−16 −21	−15 −23	−15 −26	−11 −29	−18 −45	−18 −61	−18 −88
18	30	−20,5 −24,5	−20 −26	−19 −28	−18 −31	−14 −35	−22 −55	−22 −74	−22 −106
30	50	−24,5 −28,5	−23 −30	−22 −33	−21 −37	−17 −42	−26 −65	−26 −88	−26 −126
50	80			−27 −40	−26 −45	−21 −51	−32 −78	−32 −106	
80	120			−32 −47	−30 −52	−24 −59	−37 −91	−37 −124	
120	180			−37 −55	−36 −61	−28 −68	−43 −106	−43 −143	
180	250			−44 −64	−41 −70	−33 −79	−50 −122	−50 −165	
250	315			−49 −72	−47 −79	−36 −88	−56 −137	−56 −186	
315	400			−55 −80	−51 −87	−41 −98	−62 −151	−62 −202	
400	500			−61 −88	−55 −95	−45 −108	−68 −165	−68 −223	
500	630				−78 −122	−78 −148	−78 −188	−78 −253	
630	800				−88 −138	−88 −168	−88 −213	−88 −288	
800	1000				−100 −156	−100 −190	−100 −240	−100 −330	
1000	1250				−120 −186	−120 −225	−120 −285	−120 −380	
1250	1600				−140 −218	−140 −265	−140 −335	−140 −450	
1600	2000				−170 −262	−170 −320	−170 −400	−170 −540	
2000	2500				−195 −305	−195 −370	−195 −475	−195 −635	
2500	3150				−240 −375	−240 −450	−240 −570	−240 −780	

Додаток А

Таблиця 11

Граничні відхили отворів R
Верхній граничний відхил = ES
Нижній граничний відхил = EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		R							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10
	3	−10	−10	−10	−10	−10	−10	−10	−10
		−12	−13	−14	−16	−20	−24	−35	−50
		−14	−13,5	−14	−12	−11	−15	−15	−15
3	6	−16,5	−17,5	−19	−20	−23	−33	−45	−63
		−18	−17,5	−17	−16	−13	−19	−19	−19
6	10	−20,5	−21,5	−23	−25	−28	−41	−55	−77
		−22	−21	−20	−20	−16	−23	−23	−23
10	18	−25	−26	−28	−31	−34	−50	−66	−93
		−26,5	−26	−25	−24	−20	−28	−28	−10
18	30	−30,5	−32	−34	−37	−41	−61	−80	−112
		−32,5	−31	−30	−29	−25	−34	−34	−34
30	50	−36,5	−38	−41	−45	−50	−73	−96	−134
				−36	−35	−30	−41		
50	65			−49	−54	−60	−87		
				−38	−37	−32	−43		
65	80			−51	−56	−62	−89		
				−46	−44	−38	−51		
80	100			−61	−66	−73	−105		
				−49	−47	−41	−54		
100	120			−64	−69	−76	−108		
				−57	−56	−48	−63		
120	140			−75	−81	−88	−126		
				−59	−58	−50	−65		
140	160			−77	−83	−90	−128		
				−62	−61	−53	−68		
160	180			−80	−86	−93	−131		
				−71	−68	−60	−77		
180	200			−91	−97	−106	−149		
				−74	−71	−63	−80		
200	225			−94	−100	−109	−152		
				−78	−75	−67	−84		
225	250			−98	−104	−113	−156		
				−87	−85	−74	−94		
250	280			−110	−117	−126	−175		
				−91	−89	−78	−98		
280	315			−114	−121	−130	−179		
				−101	−97	−87	−108		
315	355			−126	−133	−144	−197		
				−107	−103	−93	−114		
355	400			−132	−139	−150	−203		
				−119	−113	−103	−126		
400	450			−146	−153	−166	−223		
				−125	−119	−109	−132		
450	500			−152	−159	−172	−229		

Номінальний розмір, мм		R		
понад	до включно	6	7	8
500	560	−150	−150	−150
		−194	−220	−260
560	630	−155	−155	−155
		−199	−225	−265
630	710	−175	−175	−175
		−225	−255	−300
710	800	−185	−185	−185
		−235	−265	−310
800	900	−210	−210	−210
		−266	−300	−350
900	1000	−220	−220	−220
		−276	−310	−360
1000	1120	−250	−250	−250
		−316	−355	−415
1120	1250	−260	−260	−260
		−326	−365	−425
1250	1400	−300	−300	−300
		−378	−425	−495
1400	1600	−330	−330	−330
		−408	−455	−525
1600	1800	−370	−370	−370
		−462	−520	−600
1800	2000	−400	−400	−400
		−492	−550	−630
2000	2240	−440	−440	−440
		−550	−615	−720
2240	2500	−460	−460	−460
		−570	−635	−740
2500	2800	−550	−550	−550
		−685	−760	−880
2800	3150	−580	−580	−580
		−715	−790	−910

Таблиця 13

Граничні відхили отворів S
Верхній граничний відхил = ES
Нижній граничний відхил = EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		S							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	−14 −16	−14 −17	−14 −18	−14 −20	−14 −24	−14 −28	−14 −39	−14 −54
3	6	−18 −20,6	−17,5 −21,5	−18 −23	−16 −24	−15 −27	−19 −37	−19 −49	−19 −67
6	10	−22 −24,5	−21,5 −25,5	−21 −27	−20 −29	−17 −32	−23 −45	−23 −59	−23 −81
10	18	−27 −30	−26 −31	−25 −33	−25 −36	−21 −39	−28 −55	−28 −71	−28 −98
18	30	−33,5 −37,5	−33 −39	−32 −41	−31 −44	−27 −48	−35 −68	−35 −87	−35 −119
30	50	−41,5 −45,5	−40 −47	−39 −50	−38 −54	−34 −59	−43 −82	−43 −105	−43 −143
50	65			−48 −61	−47 −66	−42 −72	−53 −99	−53 −127	
65	80			−54 −67	−53 −72	−48 −78	−59 −105	−59 −133	
80	100			−66 −81	−64 −86	−58 −93	−71 −125	−71 −158	
100	120			−74 −89	−72 −94	−66 −101	−79 −133	−79 −166	
120	140			−86 −104	−85 −110	−77 −117	−92 −155	−92 −192	
140	160			−94 −112	−93 −118	−85 −125	−100 −163	−100 −200	
160	180			−102 −120	−101 −126	−93 −133	−108 −171	−108 −208	
180	200			−116 −136	−113 −142	−105 −151	−122 −194	−122 −237	
200	225			−124 −144	−121 −150	−113 −159	−130 −202	−130 −245	
225	250			−134 −154	−131 −160	−123 −169	−140 −212	−140 −255	
250	280			−151 −174	−149 −181	−138 −190	−158 −239	−158 −288	
280	315			−163 −186	−161 −193	−150 −202	−170 −251	−170 −300	
315	355			−183 −208	−179 −215	−169 −226	−190 −279	−190 −330	
355	400			−201 −226	−197 −233	−187 −244	−208 −297	−208 −348	
400	450			−225 −252	−219 −259	−209 −272	−232 −329	−232 −387	
450	500			−245 −272	−239 −279	−229 −292	−252 −349	−252 −407	

Номінальний розмір, мм		S		
понад	до включно	6	7	8
500	560	−280 −324	−280 −350	−280 −396
560	630	−310 −354	−310 −380	−310 −426
630	710	−340 −390	−340 −420	−340 −465
710	800	−380 −430	−380 −460	−380 −505
800	900	−430 −486	−430 −520	−430 −570
900	1000	−470 −526	−470 −560	−470 −610
1000	1120	−520 −586	−520 −625	−520 −685
1120	1250	−580 −646	−580 −685	−580 −745
1250	1400	−640 −718	−640 −765	−640 −835
1400	1600	−720 −798	−720 −845	−720 −915
1600	1800	−820 −912	−820 −970	−820 −1050
1800	2000	−920 −1012	−920 −1070	−920 −1150
2000	2240	−1000 −1110	−1000 −1175	−1000 −1280
2240	2500	−1100 −1210	−1100 −1275	−1100 −1380
2500	2800	−1250 −1385	−1250 −1460	−1250 −1580
2800	3150	−1400 −1535	−1400 −1610	−1400 −1730

Таблиця 13

Граничні відхили отворів T і U
Верхній граничний відхил = ES
Нижній граничний відхил = EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		T^1				U					
понад	до включно	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10
	3					−18	−18	−18	−18	−18	−18
						−22	−24	−28	−32	−43	−58
	6					−22	−20	−19	−23	−23	−23
						−27	−28	−31	−41	−53	−71
	10					−26	−25	−22	−28	−28	−28
						−32	−34	−37	−50	−64	−86
	18					−30	−30	−26	−33	−33	−33
						−38	−41	−44	−60	−76	−103
	24					−38	−37	−33	−41	−41	−41
						−47	−50	−54	−74	−93	−125
	30	−38	−37	−33	−41	−45	−44	−40	−48	−48	−48
		−47	−50	−54	−74	−54	−57	−61	−81	−100	−132
	40	−44	−43	−39	−48	−56	−55	−51	−60	−60	−60
		−55	−59	−64	−87	−67	−71	−76	−99	−122	−160
	50	−50	−49	−45	−54	−66	−65	−61	−70	−70	−70
		−61	−65	−70	−93	−77	−81	−86	−109	−132	−170
	65		−60	−55	−66		−81	−76	−87	−87	−87
			−79	−85	−112		−100	−106	−133	−161	−207
	80		−69	−64	−75		−96	−91	−102	−102	−102
			−88	−94	−121		−115	−121	−148	−176	−222
	100		−84	−78	−91		−117	−111	−124	−124	−124
			−106	−113	−145		−139	−146	−178	−211	−264
	120		−97	−91	−104		−137	−131	−144	−144	−144
			−119	−126	−158		−159	−166	−198	−231	−284
	140		−115	−107	−122		−163	−155	−170	−170	−170
			−140	−147	−185		−188	−195	−233	−270	−330
	160		−127	−119	−134		−183	−175	−190	−190	−190
			−152	−159	−197		−208	−215	−253	−290	−350
	180		−139	−131	−146		−203	−195	−210	−210	−210
			−164	−171	−209		−228	−235	−273	−310	−370
	200		−157	−149	−166		−227	−219	−236	−236	−236
			−186	−195	−238		−256	−265	−308	−351	−421
	225		−171	−163	−180		−249	−241	−258	−258	−258
			−200	−209	−252		−278	−287	−330	−373	−443
	250		−187	−179	−196		−275	−267	−284	−284	−284
			−216	−225	−268		−304	−313	−356	−399	−469
	280		−209	−198	−218		−306	−295	−315	−315	−315
			−241	−250	−299		−338	−347	−396	−445	−525
	315		−231	−220	−240		−341	−330	−350	−350	−350
			−263	−272	−321		−373	−382	−431	−480	−560
	355		−257	−247	−268		−379	−369	−390	−390	−390
			−293	−304	−357		−415	−426	−479	−530	−620
	400		−283	−273	−294		−424	−414	−435	−435	−435
			−319	−330	−383		−460	−471	−524	−575	−665
	450		−317	−307	−330		−477	−467	−490	−490	−490
			−357	−370	−427		−517	−530	−587	−645	−740
	500		−347	−337	−360		−527	−517	−540	−540	−540
			−387	−400	−457		−567	−560	−637	−695	−790

Номінальний розмір, мм		Y*				X						Y*				
понад	до включно	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
—	3					−20 −24	−20 −26	−20 −30	−20 −34	−20 −45	−20 −80					
3	6					−27 −32	−25 −33	−24 −36	−28 −46	−28 −58	−28 −76					
6	10					−32 −38	−31 −40	−28 −43	−34 −56	−34 −70	−34 −92					
10	14					−37 −45	−37 −48	−33 −51	−40 −67	−40 −83	−40 −110					
14	18	−36 −44	−36 −47	−32 −50	−39 −66	−42 −50	−42 −53	−38 −56	−45 −72	−45 −88	−45 −115					
18	24	−44 −53	−43 −56	−39 −60	−47 −80	−51 −60	−50 −63	−46 −67	−54 −87	−54 −106	−54 −138	−59 −72	−55 −76	−63 −96	−63 −115	−63 −147
24	30	−52 −61	−51 −64	−47 −68	−55 −88	−61 −70	−60 −73	−56 −77	−64 −97	−64 −116	−64 −148	−71 −84	−67 −88	−75 −108	−75 −127	−75 −159
30	40	−64 −75	−63 −79	−59 −84	−68 −107	−76 −87	−75 −91	−71 −96	−80 −119	−80 −142	−80 −180	−89 −105	−85 −110	−94 −133	−94 −156	−94 −194
40	50	−77 −88	−76 −92	−72 −97	−81 −120	−93 −104	−92 −108	−88 −113	−97 −136	−97 −159	−97 −197	−109 −125	−105 −130	−114 −153	−114 −176	−114 −214
50	65		−96 −115	−91 −121	−102 −148		−116 −135	−111 −141	−122 −168	−122 −196		−138 −157	−133 −183	−144 −190		
65	80		−114 −133	−109 −139	−120 −166		−140 −159	−135 −165	−146 −192	−146 −220		−168 −187	−163 −193	−174 −220		
80	100		−139 −161	−133 −168	−146 −200		−171 −193	−165 −200	−178 −232	−178 −265		−207 −229	−201 −236	−214 −268		
100	120		−165 −187	−159 −194	−172 −226		−203 −225	−197 −232	−210 −264	−210 −297		−247 −269	−241 −276	−254 −308		

Закінчення табл. 13

Номінальний розмір, мм		T^1			U		
понад	до включно	6	7	8	6	7	8
500	560	−400 −444	−400 −470	−400 −510	−600 −644	−600 −670	−600 −710
560	630	−450 −494	−450 −520	−450 −560	−660 −704	−660 −730	−660 −770
630	710	−500 −550	−500 −580	−500 −625	−740 −790	−740 −820	−740 −865
710	800	−560 −610	−560 −640	−560 −685	−840 −890	−840 −920	−840 −965
800	900	−620 −676	−620 −710	−620 −760	−940 −996	−940 −1030	−940 −1080
900	1000	−680 −736	−680 −770	−680 −820	−1050 −1106	−1050 −1140	−1050 −1190
1000	1120	−780 −846	−780 −885	−780 −945	−1150 −1216	−1150 −1255	−1150 −1315
1120	1250	−840 −906	−840 −945	−840 −1005	−1300 −1366	−1300 −1405	−1300 −1465
1250	1400	−960 −1038	−960 −1085	−960 −1155	−1450 −1528	−1450 −1575	−1450 −1645
1400	1600	−1050 −1128	−1050 −1175	−1050 −1245	−1600 −1678	−1600 −1725	−1600 −1795
1600	1800	−1200 −1292	−1200 −1350	−1200 −1430	−1850 −1942	−1850 −2000	−1850 −2080
1800	2000	−1350 −1442	−1350 −1500	−1350 −1580	−2000 −2092	−2000 −2150	−2000 −2230
2000	2240	−1500 −1610	−1500 −1675	−1500 −1780	−2300 −2410	−2300 −2475	−2300 −2580
2240	2500	−1650 −1760	−1650 −1825	−1650 −1930	−2500 −2610	−2500 −2675	−2500 −2780
2500	2800	−1900 −2035	−1900 −2110	−1900 −2230	−2900 −3035	−2900 −3110	−2900 −3230
2800	3150	−2100 −2235	−2100 −2310	−2100 −2430	−3200 −3335	−3200 −3410	−3200 −3530

[1] Поля допусків від *T*5 до *T*8 (вкл.) не долучено до таблиці для номінальних розмірів, менших або рівних 24 мм. Рекомендовано використовувати замість того поля допусків від *U*5 до *U*8 (вкл.). Проте, якщо поля допусків від *T*5 до *T*8 (вкл.) особливо потрібні, то їх можна розрахувати із основ, поданих у ISO 286–1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
120	140		−195 −220	−187 −227	−202 −265		−241 −266	−233 −273	−248 −311		−248 −348	−293 −318	−285 −325	−300 −363		
140	160		−221 −246	−213 −253	−228 −291		−273 −298	−265 −305	−280 −343		−280 −380	−333 −358	−325 −365	−340 −403		
160	180		−245 −270	−237 −277	−252 −315		−303 −328	−296 −335	−310 −373		−310 −410	−373 −398	−365 −405	−380 −443		
180	200		−275 −304	−267 −313	−284 −356		−341 −370	−333 −379	−350 −422		−350 −485	−416 −445	−408 −454	−425 −497		
200	225		−301 −330	−293 −339	−310 −382		−376 −405	−368 −414	−385 −457		−385 −500	−461 −490	−453 −499	−470 −542		
225	250		−331 −360	−323 −369	−340 −412		−416 −445	−408 −454	−425 −497		−425 −540	−511 −540	−503 −549	−520 −592		
250	280		−376 −408	−365 −417	−385 −466		−466 −498	−455 −507	−475 −556		−475 −605	−571 −603	−560 −812	−580 −661		
280	315		−416 −448	−405 −457	−425 −506		−516 −548	−505 −557	−525 −606		−525 −655	−641 −673	−630 −682	−650 −731		
315	355		−464 −500	−454 −511	−475 −564		−579 −615	−569 −626	−590 −679		−590 −730	−719 −755	−709 −766	−730 −819		
355	400		−519 −555	−509 −566	−530 −619		−649 −685	−639 −696	−660 −749		−660 −800	−809 −845	−799 −856	−820 −909		
400	450		−582 −622	−572 −635	−595 −692		−727 −767	−717 −780	−740 −837		−740 −895	−907 −947	−897 −960	−920 −1017		
450	500		−647 −687	−637 −700	−660 −757		−807 −847	−797 −860	−820 −917		−820 −975	−987 −1027	−977 −1040	−1000 −1097		

[1] Основні відхили *V*, *X* і *Y* не передбачено для номінальних розмірів понад 500 мм.

[2] Поля допусків від *V*5 до *V*8 (вкл.) не долучено до таблиці номінальних розмірів, менших або рівних 14 мм. Рекомендовано використовувати замість того поля допуску від *X*5 до *X*8 (вкл.). Проте, якщо поля допусків від *V*5 до *V*8 (вкл.) особливо потрібні, то їх можна розрахувати за основними, поданими в ISO 286–1.

[3] Поля допусків від *Y*6 до *Y*10 (вкл.) не долучено до таблиці номінальних розмірів, менших або рівних 18 мм. Рекомендовано використовувати замість того поля допуску від *Z*6 до *Z*10 (вкл.). Проте, якщо поля допусків від *Y*6 до *Y*10 (вкл.) особливо потрібні, то їх можна розрахувати за основними, поданими в ISO 286–1.

Додаток А

Таблиця 15

Граничні відхили отворів Z і ZA[1]
Верхній граничний відхил = ES
Нижній граничний відхил = EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		Z						ZA					
понад	до включно	6	7	8	9	10	11	6	7	8	9	10	11
—	3	-26	-26	-26	-26	-26	-26	-32	-32	-32	-32	-32	-32
		-32	-36	-40	-51	-66	-86	-38	-42	-46	-57	-72	-92
		-32	-31	-35	-35	-35	-35	-39	-38	-42	-42	-42	-42
3	6	-40	-43	-53	-65	-83	-110	-47	-50	-60	-72	-90	-117
		-39	-36	-42	-42	-42	-42	-49	-46	-52	-52	-52	-52
6	10	-48	-51	-64	-78	-100	-132	-58	-61	-74	-88	-110	-142
		-47	-43	-50	-50	-50	-50	-61	-57	-64	-64	-64	-64
10	14	-58	-61	-77	-93	-120	-160	-72	-75	-91	-107	-134	-174
		-57	-53	-60	-60	-60	-60	-74	-70	-77	-77	-77	-77
14	18	-68	-71	-87	-103	-130	-170	-85	-88	-104	-120	-147	-187
		-69	-65	-73	-73	-73	-73	-94	-90	-98	-98	-98	-98
18	24	-82	-86	-106	-125	-157	-203	-107	-111	-131	-150	-182	-228
		-84	-80	-88	-88	-88	-88	-114	-110	-118	-118	-118	-118
24	30	-97	-101	-121	-140	-172	-218	-127	-131	-151	-170	-202	-248
		-107	-103	-112	-112	-112	-112	-143	-139	-148	-148	-148	-148
30	40	-123	-128	-151	-174	-212	-272	-159	-164	-187	-210	-248	-308
		-131	-127	-136	-136	-136	-136	-175	-171	-180	-180	-180	-180
40	50	-147	-152	-175	-198	-236	-296	-191	-196	-219	-242	-280	-340
			-161	-172	-172	-172	-172		-215	-226	-226	-226	-226
50	65		-191	-218	-246	-292	-362		-245	-272	-300	-346	-416
			-199	-210	-210	-210	-210		-263	-274	-274	-274	-274
65	80		-229	-256	-284	-330	-400		-293	-320	-348	-394	-464
			-245	-258	-258	-258	-258		-322	-335	-335	-335	-335
80	100		-280	-312	-345	-398	-478		-357	-389	-422	-475	-555
			-297	-310	-310	-310	-310		-387	-400	-400	-400	-400
100	120		-332	-364	-397	-450	-530		-422	-454	-487	-540	-620
			-350	-365	-365	-365	-365		-455	-470	-470	-470	-470
120	140		-390	-428	-465	-525	-615		-495	-533	-570	-630	-720
			-400	-415	-415	-415	-415		-520	-535	-535	-535	-535
140	160		-440	-478	-515	-575	-665		-560	-598	-635	-695	-785
			-450	-465	-465	-465	-465		-585	-600	-600	-600	-600
160	180		-490	-528	-565	-625	-715		-625	-663	-700	-760	-850
			-503	-520	-520	-520	-520		-653	-670	-670	-670	-670
180	200		-549	-592	-635	-705	-810		-699	-742	-785	-855	-960
			-558	-575	-575	-575	-575		-723	-740	-740	-740	-740
200	225		-604	-647	-690	-760	-865		-769	-812	-855	-925	-1030
			-623	-640	-640	-640	-640		-803	-820	-820	-820	-820
225	250		-669	-712	-755	-825	-930		-849	-892	-935	-1005	-1110
			-690	-710	-710	-710	-710		-900	-920	-920	-920	-920
250	280		-742	-791	-840	-920	-1030		-952	-1001	-1050	-1130	-1240
			-770	-790	-790	-790	-790		-980	-1000	-1000	-1000	-1000
280	315		-822	-871	-920	-1000	-1110		-1032	-1081	-1130	-1210	-1320
			-879	-900	-900	-900	-900		-1129	-1150	-1150	-1150	-1150
315	355		-936	-989	-1040	-1130	-1260		-1186	-1239	-1290	-1380	-1510
			-979	-1000	-1000	-1000	-1000		-1279	-1300	-1300	-1300	-1300
355	400		-1036	-1089	-1140	-1230	-1360		-1336	-1389	-1440	-1530	-1660
			-1077	-1100	-1100	-1100	-1100		-1427	-1450	-1450	-1450	-1450
400	450		-1140	-1197	-1255	-1350	-1500		-1490	-1547	-1605	-1700	-1850
			-1227	-1250	-1250	-1250	-1250		-1577	-1600	-1600	-1600	-1600
450	500		-1290	-1347	-1405	-1500	-1650		-1640	-1697	1755	-1850	-2000

[1] Граничні відхили Z і ZA не передбачено для номінальних розмірів понад 500 мм.

Додаток Б

Таблиця Б7

Граничні відхили отворів a, b і c[1]

Верхній граничний відхил — ES

Нижній граничний відхил — EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		a[2]					b[2]						c				
понад	до включно	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12	13	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
—	3[2]	−270 −295	−270 −310	−270 −330	−270 −370	−270 −410	−140 −154	−140 −165	−140 −180	−140 −200	−140 −240	−140 −280	−60 −74	−60 −85	−60 −100	−60 −120	−60 −160
3	6	−270 −300	−270 −318	−270 −345	−270 −390	−270 −450	−140 −158	−140 −170	−140 −188	−140 −215	−140 −260	−140 −320	−70 −88	−70 −100	−70 −118	−70 −145	−70 −190
6	10	−280 −316	−280 −338	−280 −370	−280 −430	−280 −500	−150 −172	−150 −186	−150 −208	−150 −240	−150 −300	−150 −370	−80 −102	−80 −116	−80 −136	−80 −170	−80 −230
10	18	−290 −333	−290 −360	−290 −400	−290 −470	−290 −560	−150 −177	−150 −193	−150 −220	−150 −260	−150 −330	−150 −420	−95 −122	−95 −138	−95 −165	−95 −205	−95 −275
18	30	−300 −352	−300 −384	−300 −430	−300 −510	−300 −630	−160 −193	−160 −212	−160 −244	−160 −290	−160 −370	−160 −490	−110 −143	−110 −162	−110 −194	−110 −240	−110 −320
30	40	−310 −372	−310 −410	−310 −470	−310 −560	−310 −700	−170 −209	−170 −232	−170 −270	−170 −330	−170 −420	−170 −660	−120 −159	−120 −182	−120 −220	−120 −280	−120 −370
40	50	−320 −382	−320 −420	−320 −480	−320 −570	−320 −710	−180 −219	−180 −242	−180 −280	−180 −340	−180 −430	−180 −570	−130 −169	−130 −192	−130 −230	−130 −290	−130 −380
50	65	−340 −414	−340 −460	−340 −530	−340 −640	−340 −800	−190 −236	−190 −264	−190 −310	−190 −380	−190 −490	−190 −650	−140 −186	−140 −214	−140 −260	−140 −330	−140 −440
65	80	−360 −434	−360 −480	−360 −550	−360 −660	−360 −820	−200 −246	−200 −274	−200 −320	−200 −390	−200 −500	−200 −660	−150 −196	−150 −224	−150 −270	−150 −340	−150 −450
80	100	−380 −467	−380 −520	−380 −600	−380 −730	−380 −920	−220 −274	−220 −307	−220 −360	−220 −440	−220 −570	−220 −760	−170 −224	−170 −257	−170 −310	−170 −390	−170 −520
100	120	−410 −497	−410 −550	−410 −630	−410 −760	−410 −950	−240 −294	−240 −327	−240 −380	−240 −460	−240 −590	−240 −780	−180 −234	−180 −267	−180 −320	−180 −400	−180 −530

Таблиця 16

Граничні відхили отворів *ZB* і *ZC*[1]
Верхній граничний відхил = *ES*
Нижній граничний відхил = *EI*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*ZB*					*ZC*				
понад	до включно	7	8	9	10	11	7	8	9	10	11
—	3	−40 −50	−40 −54	−40 −65	−40 −80	−40 −100	−60 −70	−60 −74	−60 −85	−60 −100	−60 −120
3	6	−46 −58	−50 −68	−50 −80	−50 −98	−50 −125	−76 −88	−80 −98	−80 −110	−80 −128	−80 −155
6	10	−61 −76	−67 −89	−67 −103	−67 −125	−67 −157	−91 −106	−97 −119	−97 −133	−97 −155	−97 −187
10	14	−83 −101	−90 −117	−90 −133	−90 −160	−90 −200	−123 −141	−130 −157	−130 −173	−130 −200	−130 −240
14	18	−101 −119	−108 −135	−108 −151	−108 −178	−108 −218	−143 −161	−150 −177	−150 −193	−150 −220	−150 −260
18	24	−128 −149	−136 −169	−136 −188	−136 −220	−136 −266	−180 −201	−188 −221	−188 −240	188 −272	−188 −318
24	30	−152 −173	−160 −193	−160 −212	−160 −244	−160 −290	−210 −231	−218 −251	−218 −270	−218 −302	−218 −348
30	40	−191 −216	−200 −239	−200 −262	−200 −300	−200 −360	−265 −290	−274 −313	−274 −336	−274 −374	−274 −434
40	50	−233 −258	−242 −281	−242 −304	−242 −342	−242 −402	−316 −341	−325 −364	−325 −387	−325 −425	−325 −485
50	65	−289 −319	−300 −346	−300 −374	−300 −420	−300 −490	−394 −424	−405 −451	−405 −479	−405 −525	−405 −595
65	80	−349 −379	−360 −406	−360 −434	−360 −480	−360 −550	−469 −439	−480 −526	−480 −554	−480 −600	−480 −670
80	100	−432 −467	−445 −499	−445 −532	−445 −585	−445 −665	−572 −607	−585 −639	−585 −672	−585 −725	−585 −805
100	120	−512 −547	−525 −579	−525 −612	−525 −665	−525 −745	−677 −712	−690 −744	−690 −777	−690 −830	−690 −910
120	140	−605 −645	−620 −683	−620 −720	−620 −780	−620 −870	−785 −825	−800 −863	−800 −900	−800 −960	−800 −1050
140	160	−685 −725	−700 −763	−700 −800	−700 −860	−700 −950	−885 −925	−900 −963	−900 −1000	−900 −1060	−900 −1150
160	180	−765 −805	−780 −843	−780 −880	−780 −940	−780 −1030	−985 −1025	−1000 −1063	−1000 −1100	−1000 −1160	−1000 −1250
180	200	−863 −909	−880 −952	−880 −995	−880 −1065	−880 −1170	−1133 −1179	−1150 −1222	−1150 −1265	−1150 −1335	−1150 −1440
200	225	−943 −989	−960 −1032	−960 −1075	−960 −1145	−960 −1250	−1233 −1279	−1250 −1322	−1250 −1365	−1250 −1435	−1250 −1540
225	250	−1033 −1079	−1050 −1122	−1050 −1165	−1050 −1235	−1050 −1340	−1333 −1379	−1350 −1422	−1350 −1465	−1350 −1535	−1350 −1640
250	280	−1180 −1232	−1200 −1281	−1200 −1330	−1200 −1410	−1200 −1520	−1530 −1582	−1550 −1631	−1550 −1680	−1550 −1760	−1550 −1870
280	315	−1280 −1332	−1300 −1381	−1300 −1430	−1300 −1510	−1300 −1620	−1680 −1732	−1700 −1781	−1700 −1830	−1700 −1910	−1700 −2020
315	355	−1479 −1536	−1500 −1589	−1500 −1640	−1500 −1730	−1500 −1860	−1879 −1936	−1900 −1989	−1900 −2040	−1900 −2130	−1900 −2260
355	400	−1629 −1686	−1650 −1739	−1650 −1790	−1650 −1880	−1650 −2010	−2079 −2136	−2100 −2189	−2100 −2240	−2100 −2330	−2100 −2460
400	450	−1827 −1890	−1850 −1947	−1850 −2005	−1850 −2100	−1850 −2250	−2377 −2440	−2400 −2497	−2400 −2555	−2400 −2650	−2400 −2800
450	500	−2077 −2140	−2100 −2197	−2100 −2255	−2100 −2350	−2100 −2500	−2577 −2640	−2600 −2697	−2600 −2755	−2600 −2850	−2600 −3000

[1] Основні відхили *ZB* і *ZC* не передбачено для номінальних розмірів понад 500 мм.

Закінчення табл. 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
120	140	−460	−460	−460	−460	−460	−260	−260	−260	−260	−260	−260	−200	−200	−200	−200	−200
		−560	−620	−710	−860	−1030	−323	−360	−420	−510	−660	−890	−263	−300	−360	−450	−600
140	160	−520	−520	−520	−520	−520	−280	−280	−280	−280	−280	−280	−210	−210	−210	−210	−210
		−620	−680	−770	−920	−1150	−343	−380	−440	−530	−680	−910	−273	−310	−370	−460	−610
160	180	−580	−580	−580	−580	−580	−310	−310	−310	−310	−310	−310	−230	−230	−230	−230	−230
		−680	−740	−830	−980	−1210	−373	−410	−470	−560	−710	−940	−293	−330	−390	−480	−630
180	200	−660	−660	−660	−660	−660	−340	−340	−340	−340	−340	−340	−240	−240	−240	−240	−240
		−775	−845	−950	−1120	−1380	−412	−455	−525	−630	−800	−1060	−312	−355	−425	−530	−700
200	225	−740	−740	−740	−740	−740	−380	−380	−380	−380	−380	−380	−260	−260	−260	−260	−260
		−855	−925	−1030	−1200	−1460	−452	−495	−565	−670	−840	−1100	−332	−375	−445	−550	−720
225	250	−820	−820	−820	−820	−820	−420	−420	−420	−420	−420	−420	−280	−280	−280	−280	−280
		−935	−1005	−1110	−1280	−1540	−492	−535	−605	−710	−880	−1140	−352	−395	−465	−570	−740
250	280	−920	−920	−920	−920	−920	−480	−480	−480	−480	−480	−480	−300	−300	−300	−300	−300
		−1050	−1130	−1240	−1440	−1730	−561	−610	−690	−800	−1000	1290	−381	−430	−510	−620	−820
280	315	−1050	−1050	−1050	−1050	−1050	−540	−540	−540	−540	−540	−540	−330	−330	−330	−330	−330
		−1180	−1260	−1370	−1570	−1860	−621	−670	−750	−860	−1060	−1350	−411	−460	−540	−650	−850
315	355	−1200	−1200	−1200	−1200	−1200	−600	−600	−600	−600	−600	−600	−360	−360	−360	−360	−360
		−1340	−1430	−1560	−1770	−2090	−689	−740	−830	−960	−1170	−1490	−449	−500	−590	−720	−930
355	400	−1350	−1350	−1350	−1350	−1350	−680	−680	−680	−680	−680	−680	−400	−400	−400	−400	−400
		−1490	−1580	−1710	−1920	−2240	−769	−820	−910	−1040	−1250	−1570	−489	−540	−630	−760	−970
400	450	−1500	−1500	−1500	−1500	−1500	−760	−760	−760	−760	−760	−760	−440	−440	−440	−440	−440
		−1655	−1750	−1900	−2130	−2470	−857	−915	−1010	−1160	−1390	−1730	−537	−595	−690	−840	−1070
450	500	−1650	−1650	−1650	−1650	−1650	−840	−840	−840	−840	−840	−840	−480	−480	−480	−480	−480
		−1805	−1900	−2050	−2280	−2620	−937	−995	−1090	−1240	−1470	−1810	−577	−635	−730	−880	−1110

[1] Основні відхили *a*, *b* і *c* не передбачено для номінальних розмірів понад 500 мм.

[2] Основні відхили *a* і *b* не потрібно використовувати для будь-яких квалітетів за номінальних розмірів, менших або рівних 1 мм.

Граничні відхили отворів *cd* і *d*
Верхній граничний відхил = *es*
Нижній граничний відхил = *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*cd*[1]						*d*								
понад	до включно	5	6	7	8	9	10	5	6	7	8	9	10	11	12	13
–	3	-34	-34	-34	-34	-34	-34	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
		-38	-40	-44	-48	-59	-74	-24	-26	-30	-34	-45	-60	-80	-120	-160
		-46	-46	-46	-46	-46	-46	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
3	6	-51	-54	-58	-64	-76	-94	-35	-38	-42	-48	-60	-78	-105	-150	-210
		-56	-56	-56	-56	-56	-56	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40
6	10	-62	-65	-71	-78	-92	-114	-46	-49	-55	-62	-76	-98	-130	-190	-260
								-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50	-50
10	14							-58	-61	-68	-77	-93	-120	-160	-230	-320
								-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65
14	18							-74	-78	-86	-98	-117	-149	-195	-275	-395
								-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80	-80
18	24							-91	-96	-105	-119	-142	-180	-240	-330	-470
								-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100	-100
24	30							-113	-119	-130	-146	-174	-220	-290	-400	-560
								-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120	-120
30	40							-135	-142	-155	-174	-207	-260	-340	-470	-660
								-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145	-145
40	50							-163	-170	-185	-208	-245	-305	-395	-545	-775
								-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170	-170
50	65							-190	-199	-216	-242	-285	-355	-460	-630	-890
								-190	-190	-190	-190	-190	-190	-190	-190	-190
65	80							-213	-222	-242	-271	-320	-400	-510	-710	-1000
								-210	-210	-210	-210	-210	-210	-210	-210	-210
80	100							-235	-246	-267	-299	-350	-440	-570	-780	-1100
								-230	-230	-230	-230	-230	-230	-230	-230	-230
100	120							-257	-270	-293	-327	-385	-480	-630	-860	-1200
										-260	-260	-260	-260	-260		
120	140									-330	-370	-435	-540	-700		
										-290	-290	-290	-290	-290		
140	160									-370	-415	-490	-610	-790		
										-320	-320	-320	-320	-320		
160	180									-410	-460	-550	-680	-880		
										-350	-350	-350	-350	-350		
180	200									-455	-515	-610	-770	-1010		
										-390	-390	-390	-390	-390		
200	225									-515	-585	-700	-890	-1170		
										-430	-430	-430	-430	-430		
225	250									-580	-660	-800	-1030	-1350		
										-480	-480	-480	-480	-480		
250	280									-655	-760	-920	-1180	-1580		
										-520	-520	-520	-520	-520		
280	315									-730	-850	-1060	-1380	-1870		

[1] Граничний нижній відхил *cd* передбачено, передусім, для точних механізмів і годинникових пристроїв. Якщо потрібні поля допусків, що охоплюють цей основний відхил в інших номінальних розмірах, то їх можна розрахувати відповідно до ISO 286–1.

Таблиця 1

Граничні відхили отворів *e* і *ef*
Верхній граничний відхил = *es*
Нижній граничний відхил = *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*e*						*ef*							
понад	до включно	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	−14 −18	−14 −20	−14 −24	−14 −28	−14 −39	−14 −54	−10 −12	−10 −13	−10 −14	−10 −16	−10 −20	−10 −24	−10 −35	−10 −50
3	6	−20 −25	−20 −28	−20 −32	−20 −38	−20 −50	−20 −68	−14 −16,5	−14 −18	−14 −19	−14 −22	−14 −26	−14 −32	−14 −44	−14 −62
6	10	−25 −31	−25 −34	−25 −40	−25 −47	−25 −61	−25 −83	−18 −20,5	−18 −22	−18 −24	−18 −27	−18 −33	−18 −40	−18 −54	−18 −76
10	18	−32 −40	−32 −43	−32 −50	−32 −59	−32 −75	−32 −102								
18	30	−40 −49	−40 −53	−40 −61	−40 −73	−40 −92	−40 −124								
30	50	−50 −61	−50 −66	−50 −75	−50 −89	−50 −112	−50 −150								
50	80	−60 −73	−60 −79	−60 −90	−60 −106	−60 −134	−60 −180								
80	120	−72 −87	−72 −94	−72 −107	−72 −126	−72 −159	−72 −212								
120	180	−85 −103	−85 −110	−85 −125	−85 −148	−85 −185	−85 −245								
180	250	−100 −120	−100 −129	−100 −146	−100 −172	−100 −215	−100 −285								
250	315	−110 −133	−110 −142	−110 −162	−110 −191	−110 −240	−110 −320								
315	400	−125 −150	−125 −161	−125 −182	−125 −214	−125 −265	−125 −355								
400	500	−135 −162	−135 −175	−135 −198	−135 −232	−135 −290	−135 −385								
500	630		−145 −189	−145 −215	−145 −255	−145 −320	−145 −425								
630	800		−160 −210	−160 −240	−160 −285	−160 −360	−160 −480								
800	1000		−170 −226	−170 −260	−170 −310	−170 −400	−170 −530								
1000	1250		−195 −261	−195 −300	−195 −360	−195 −455	−195 −615								
1250	1600		−220 −298	−220 −345	−220 −415	−220 −530	−220 −720								
1600	2000		−240 −332	−240 −390	−240 −470	−240 −610	−240 −840								
2000	2500		−260 −370	−260 −435	−260 −540	−260 −700	−260 −960								
2500	3150		−290 −425	−290 −500	−290 −620	−290 −830	−290 −1150								

[1] Проміжний основний відхил *ef* передбачено, передусім, для точних механізмів і годинникового виробництва. Якщо потрібні поля допусків, що охоплюють цей основний відхил в інших номінальних розмірах, то їх можна розрахувати відповідно до ISO 286–1.

Граничні відхили отворів *f* і *fg*
Верхній граничний відхил = *es*
Нижній граничний відхил = *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*f*								*fg*[1]							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10	3	4	5	6	7	8	9	10
	3	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4
3	6	-8	-9	-10	-12	-16	-20	-31	-46	-6	-7	-8	-10	-14	-16	-29	-44
		-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
6	10	-12,5	-14	-15	-18	-22	-28	-40	-58	-8,5	-10	-11	-14	-18	-24	-36	-54
		-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-13	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
10	14	-15,5	-17	-19	-22	-28	-35	-49	-71	-10,5	-12	-14	-17	-23	-30	-44	-66
		-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16	-16								
14	18	-19	-21	-24	-27	-34	-43	-59	-86								
		-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20								
18	24	-24	-26	-29	-33	-41	-53	-72	-104								
		-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25	-25								
24	30	-29	-32	-36	-41	-50	-64	-87	-125								
			-30	-30	-30	-30	-30	-30									
30	40		-38	-43	-49	-60	-76	-104									
			-36	-36	-36	-36	-36	-36									
40	50		-46	-51	-58	-71	-90	-123									
			-43	-43	-43	-43	-43	-43									
50	65		-55	-61	-68	-83	-106	-143									
			-50	-50	-50	-50	-50	-50									
65	80		-64	-70	-79	-96	-122	-165									
			-56	-56	-56	-56	-56	-56									
80	100		-72	-79	-88	-108	-137	-185									
			-62	-62	-62	-62	-62	-62									
100	120		-80	-87	-98	-119	-151	-202									
			-68	-68	-68	-68	-68	-68									
120	140		-88	-95	-108	-131	-165	-223									
					-76	-76	-76	-76									
140	160				-120	-146	-186	-251									
					-80	-80	-80	-80									
160	180				-130	-160	-205	-280									
					-86	-86	-86	-86									
180	200				-142	-176	-226	-316									
					-98	-98	-98	-98									
200	225				-164	-203	-263	-358									
					-110	-110	-110	-110									
225	250				-188	-235	-305	-420									
					-120	-120	-120	-120									
250	280				-212	-270	-350	-490									
					-130	-130	-130	-130									
280	315				-240	-305	-410	-570									
					-145	-145	-145	-145									
315	355				-280	-355	-475	-685									

[1] Основний основний відхил *fg* передбачено, передусім, для точних механізмів і годинникових виробництв. Якщо потрібні поля допусків, що охоплюють цей основний відхил в інших номінальних розмірах, то їх можна розрахувати відповідно до ISO 286–1.

Граничні відхили отворів *g*
Верхній граничний відхил = *es*
Нижній граничний відхил = *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*g*							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	−2 −4	−2 −5	−2 −6	−2 −8	−2 −12	−2 −16	−2 −27	−2 −42
3	6	−4 −6,5	−4 −8	−4 −9	−4 −12	−4 −16	−4 −22	−4 −34	−4 −52
6	10	−5 −7,5	−5 −9	−5 −11	−5 −14	−5 −20	−5 −27	−5 −41	−5 −63
10	18	−6 −9	−6 −11	−6 −14	−6 −17	−6 −24	−6 −33	−6 −49	−6 −76
18	30	−7 −11	−7 −13	−7 −16	−7 −20	−7 −28	−7 −40	−7 −59	−7 −91
30	50	−9 −13	−9 −16	−9 −20	−9 −25	−9 −34	−9 −48	−9 −71	−9 −109
50	80		−10 −18	−10 −23	−10 −29	−10 −40	−10 −56		
80	120		−12 −22	−12 −27	−12 −34	−12 −47	−12 −66		
120	180		−14 −26	−14 −32	−14 −39	−14 −54	−14 −77		
180	250		−15 −29	−15 −35	−15 −44	−15 −61	−15 −87		
250	315		−17 −33	−17 −40	−17 −49	−17 −69	−17 −98		
315	400		−18 −36	−18 −43	−18 −54	−18 −75	−18 −107		
400	500		−20 −40	−20 −47	−20 −60	−20 −83	−20 −117		
500	630				−22 −66	−22 −92	−22 −132		
630	800				−24 −74	−24 −104	−24 −149		
800	1000				−26 −82	−26 −116	−26 −166		
1000	1250				−28 −94	−28 −133	−28 −193		
1250	1600				−30 −108	−30 −155	−30 −225		
1600	2000				−32 −124	−32 −182	−32 −262		
2000	2500				−34 −144	−34 −209	−34 −314		
2500	3150				−38 −173	−38 −248	−38 −368		

Граничні відхили отворів H
Верхній граничний відхил – ES
Нижній граничний відхил – EI

Номінальний розмір, мм		H																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14[1]	15[1]	16[1]	17	18
понад	до включно	Відхили																	
		мкм											мм						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
—	3[1]	0 −0,8	0 −1,2	0 −2	0 −3	0 −4	0 −6	0 −10	0 −14	0 −25	0 −40	0 −60	0 −0,1	0 −0,14	0 −0,25	0 −0,4	0 −0,6		
3[1]	6	0 −1	0 −1,5	0 −2,5	0 −4	0 −5	0 −8	0 −12	0 −18	0 −30	0 −48	0 −75	0 0,12	0 −0,18	0 −0,3	0 −0,48	0 −0,75	0 −1,2	0 −1,8
6	10	0 −1	0 −1,5	0 −2,5	0 −4	0 −6	0 −9	0 −15	0 −22	0 −36	0 −58	0 −90	0 −0,15	0 −0,22	0 −0,36	0 −0,58	0 −0,9	0 −1,5	0 −2,2
10	18	0 −1,2	0 −2	0 −3	0 −5	0 −8	0 −11	0 −18	0 −27	0 −43	0 −70	0 −110	0 −0,18	0 −0,27	0 −0,43	0 −0,7	0 −1,1	0 −1,8	0 −2,7
18	30	0 −1,5	0 −2,5	0 −4	0 −6	0 −9	0 −13	0 −21	0 −33	0 −52	0 −84	0 −130	0 −0,21	0 −0,33	0 −0,52	0 −0,84	0 −1,3	0 −2,1	0 −3,3
30	50	0 −1,5	0 −2,5	0 −4	0 −7	0 −11	0 −16	0 −25	0 −39	0 −62	0 −100	0 −160	0 −0,25	0 −0,39	0 −0,62	0 −1	0 −1,6	0 −2,5	0 −3,9
50	80	0 −2	0 −3	0 −5	0 −8	0 −13	0 −19	0 −30	0 −46	0 −74	0 −120	0 −190	0 −0,3	0 −0,46	0 −0,74	0 −1,2	0 −1,9	0 −3	0 −4,6
80	120	0 −2,5	0 −4	0 −6	0 −10	0 −15	0 −22	0 −35	0 −54	0 −87	0 −140	0 −220	0 −0,35	0 −0,54	0 −0,87	0 −1,4	0 −2,2	0 −3,5	0 −5,4
120	180	0 −3,5	0 −5	0 −8	0 −12	0 −18	0 −25	0 −40	0 −63	0 −100	0 −160	0 −250	0 −0,4	0 −0,63	0 −1	0 −1,6	0 −2,5	0 −4	0 −6,3
180	250	0 −4,5	0 −7	0 −10	0 −14	0 −20	0 −29	0 −46	0 −72	0 −115	0 −185	0 −290	0 −0,46	0 −0,72	0 −1,15	0 −1,85	0 −2,9	0 −4,6	0 −7,2

Закінчення табл. 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
250	315	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−8	−10	−15	−20	−27	−40	−63	−97	−155	−250	−400	−0,63	−0,97	−1,55	−2,5	−4	−6,3	−9,7
					[2]														
500	630	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−9	−11	−16	−22	−32	−44	−70	−110	−175	−280	−440	−0,7	−1,1	−1,75	−2,8	−4,4	−7	−11
630	800	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−10	−13	−18	−25	−36	−50	−80	−125	−200	−320	−500	−0,8	−1,25	−2	−3,2	−5	−8	−12,5
800	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−11	−15	−21	−28	−40	−56	−90	−140	−230	−360	−560	−0,9	−1,4	−2,3	−3,6	−5,6	−9	−14
1000	1250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−13	−18	−24	−33	−47	−66	−105	−165	−260	−420	−660	−1,05	−1,65	−2,6	−4,2	−6,6	−10,5	−16,5
1250	1600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−15	−21	−29	−39	−55	−78	−125	−195	−310	−500	−780	−1,25	−1,95	−3,1	−5	−7,8	−12,5	−19,5
1600	2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−18	−25	−35	−46	−65	−92	−150	−230	−370	−600	−920	−1,5	−2,3	−3,7	−6	−9,2	−15	−23
2000	2500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−22	−30	−41	−55	−78	−110	−175	−280	−440	−700	−1100	−1,75	−2,8	−4,4	−7	−11	−17,5	−28
2500	3150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		−26	−36	−50	−68	−96	−135	−210	−330	−540	−860	−1350	−2,1	−3,3	−5,4	−8,6	−13,5	−21	−33

[1] Квалітети допусків від *IT*14 до *IT*16 (вкл.) не потрібно використовувати для номінальних розмірів, менших або рівних 1 мм.

[2] Значення в рамці для квалітетів від *IT*1 до *IT*5 (вкл.) для номінальних розмірів, більших 500 мм і менших або рівних 3150 мм, долучено для експериментального використання.

Додаток 5
Таблиця 23

Граничні відхили отворів js
Верхній граничний відхил = *es*
Нижній граничний відхил = *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*is*[2]																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14[1]	15[1]	16[1]	17	18
понад	до включно	Відхили																	
		мкм											мм						
—	3[3]	±0,4	±0,6	±1	±1,5	±2	±3	±5	±7	±12,5	±20	±30	±0,05	±0,07	±0,125	±0,2	±0,3		
3	6	±0,5	±0,75	±1,25	±2	±2,5	±4	±6	±9	±15	±24	±37,5	±0,06	±0,09	±0,15	±0,24	±0,375	±0,6	±0,9
6	10	±0,5	±0,75	±1,25	±2	±3	±4,5	±7,5	±11	±18	±29	±45	±0,075	±0,11	±0,18	±0,29	±0,45	±0,75	±1,1
10	18	±0,6	±1	±1,5	±2,5	±4	±5,5	±9	±13,5	±21,5	±35	±55	±0,09	±0,135	±0,215	±0,35	±0,55	±0,9	±1,35
18	30	±0,75	±1,25	±2	±3	±4,5	±6,5	±10,5	±16,5	±26	±42	±65	±0,105	±0,165	±0,26	±0,42	±0,65	±1,05	±1,65
30	50	±0,75	±1,25	±2	±3,5	±5,5	±8	±12,5	±19,5	±31	±50	±80	±0,125	±0,195	±0,31	±0,5	±0,8	±1,25	±1,95
50	80	±1	±1,5	±2,5	±4	±6,5	±9,5	±15	±23	±37	±60	±95	±0,15	±0,23	±0,37	±0,6	±0,95	±1,5	±2,3
80	120	±1,25	±2	±3	±5	±7,5	±11	±17,5	±27	±43,5	±70	±110	±0,175	±0,27	±0,435	±0,7	±1,1	±1,75	±2,7
120	180	±1,75	±2,5	±4	±6	±9	±12,5	±20	±31,5	±50	±80	±125	±0,2	±0,315	±0,5	±0,8	±1,25	±2	±3,15
180	250	±2,25	±3,5	±5	±7	±10	±14,5	±23	±36	±57,5	±92,5	±145	±0,23	±0,36	±0,575	±0,925	±1,45	±2,3	±3,6
250	315	±3	±4	±6	±8	±11,5	±16	±26	±40,5	±65	±105	±160	±0,26	±0,405	±0,065	±1,05	±1,6	±2,6	±4,05
315	400	±3,5	±4,5	±6,5	±9	±12,5	±18	±28,5	±44,5	±70	±115	±180	±0,285	±0,445	±0,7	±1,15	±1,8	±2,85	±4,45
400	500	±4	±5	±7,5	±10	±13,5	±20	±31,5	±48,5	±77,5	±125	±200	±0,315	±0,485	±0,775	±1,25	±2	±3,15	±4,85
500	630	±4,5	±5,5	±8	±11	±16	±22	±35	±55	±87,5	±140	±220	±0,35	±0,55	±0,875	±1,4	±2,2	±3,5	±5,5
630	800	±5	±6,5	±9	±12,5	±18	±25	±40	±62,5	±100	±160	±250	±0,4	±0,625	±1	±1,6	±2,5	±4	±6,25
800	1000	±5,5	±7,5	±10,5	±14	±20	±28	±45	±70	±115	±180	±280	±0,45	±0,7	±1,15	±1,8	±2,8	±4,5	±7
1000	1250	±6,5	±9	±12	±16,5	±23,5	±33	±52,5	±82,5	±130	±210	±330	±0,525	±0,825	±1,3	±2,1	±3,3	±5,25	±8,25
1250	1600	±7,5	±10,5	±14,5	±19,5	±27,5	±39	±62,5	±97,5	±155	±250	±390	±0,625	±0,975	±1,55	±2,5	±3,9	±6,25	±9,75
1600	2000	±9	±12,5	±17,5	±23	±32,5	±46	±75	±115	±185	±300	±460	±0,75	±1,15	±1,85	±3	±4,6	±7,5	±11,5
2000	2500	±11	±15	±20,5	±27,5	±39	±55	±87,5	±140	±220	±350	±550	±0,875	±1,4	±2,2	±3,5	±5,5	±8,75	±14
2500	3150	±13	±18	±25	±34	±48	±67,5	±105	±165	±270	±430	±675	±1,05	±1,65	±2,7	±4,3	±6,75	±10,5	±16,5

[1] Для того, щоб уникнути повторів однакових значень, таблиця побудована зі значеннями як "$\pm x$", що означає $es = +x$ і $ei = -x$, наприклад $^{+0,23}_{-0,23}$ мкм.
[2] Таблиця подає точні значення, отримані із $\pm IT/2$ в мікрометрах або в міліметрах. Для полів допусків від *js*7 до *js*11 (вкл.) значення з десятковим дробом 0,5 мкм можна округлити в національних стандартах, замінюючи точне значення на ціле найближче менше, наприклад ± 19,5 мкм можна округлити до ± 19 мкм.
[3] Квалітети допусків від *IT*14 до *IT*16 (вкл.) не потрібно використовувати для номінальних розмірів, менших або рівних 1 мм.
[4] Значення в рамці для квалітетів від *IT*1 до *IT*5 (вкл.) для номінальних розмірів, більших 500 мм і менших або рівних 3150 мм, долучено для експериментального використання.

Таблиця 24

Граничні відхили отворів *j* і *k*

Верхній граничний відхил = *es*

Нижній граничний відхил = *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*j*				*k*										
понад	до включно	5[1]	6[1]	7[1]	8	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
—	3	±2	+4 −2	+6 −4	+8 −6	+2 0	+3 0	+4 0	+6 0	+10 0	+14 0	+25 0	+40 0	+60 0	+100 0	+140 0
3	6	+3 −2	+6 −2	+8 −4		+2,5 0	+5 +1	+6 +1	+9 +1	+13 1	+18 0	+30 0	+48 0	+75 0	+120 0	+180 0
6	10	+4 −2	+7 −2	+10 −5		+2,5 0	+5 +1	+7 +1	+10 +1	+16 +1	+22 0	+36 0	+58 0	+90 0	+150 0	+220 0
10	18	+5 −3	+8 −3	+12 −6		+3 0	+6 +1	+9 +1	+12 +1	+19 +1	+27 0	+43 0	+70 0	+110 0	+180 0	+270 0
18	30	+5 −4	+9 −4	+13 −8		+4 0	+8 +2	+11 +2	+15 +2	+23 +2	+33 0	+52 0	+84 0	+130 0	+210 0	+330 0
30	50	+6 −5	+11 −5	+15 −10		+4 0	+9 +2	+13 +2	+18 +2	+27 +2	+39 0	+62 0	+100 0	+160 0	+250 0	+390 0
50	80	+6 −7	+12 −7	+18 −12			+10 +2	+15 +2	+21 +2	+32 +2	+46 0	+74 0	+120 0	+190 0	+300 0	+460 0
80	120	+6 −9	+13 −9	+20 −15			+13 +3	+18 +3	+25 +3	+38 +3	+54 0	+87 0	+140 0	+220 0	+350 0	+540 0
120	180	+7 −11	+14 −11	+22 −18			+15 +3	+21 +3	+28 +3	+43 +3	+63 0	+100 0	+160 0	+250 0	+400 0	+630 0
180	250	+7 −13	+16 −13	+25 −21			+18 +4	+24 +4	+33 +4	+50 +4	+72 0	+115 0	+185 0	+290 0	+460 0	+720 0
250	315	+7 −16	±16	±26			+20 +4	+27 +4	+36 +4	+56 +4	+81 0	+130 0	+210 0	+320 0	+520 0	+810 0
315	400	+7 −18	±18	+29 −28			+22 +4	+29 +4	+40 +4	+61 +4	+89 0	+140 0	+230 0	+360 0	+570 0	+890 0
400	500	+7 −20	±20	+31 −32			+25 +5	+32 +5	+45 +5	+68 +5	+97 0	+155 0	+250 0	+400 0	+630 0	+970 0
500	630								+44 0	+70 0	+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+700 0	+1100 0
630	800								+50 0	+80 0	+125 0	+200 0	+320 0	+500 0	+800 0	+1250 0
800	1000								+56 0	+90 0	+140 0	+230 0	+360 0	+560 0	+900 0	+1400 0
1000	1250								+66 0	+105 0	+166 0	+260 0	+420 0	+660 0	+1050 0	+1650 0
1250	1600								+78 0	+125 0	+195 0	+310 0	+500 0	+780 0	+1250 0	+1950 0
1600	2000								+92 0	+150 0	+230 0	+370 0	+600 0	+920 0	+1500 0	+2300 0
2000	2500								+110 0	+175 0	+280 0	+440 0	+700 0	+1100 0	+1750 0	+2800 0
2500	3150								+135 0	+210 0	+330 0	+540 0	+860 0	+1350 0	+2100 0	+3300 0

[1] Де значення для *j*5, *j*6 і *j*7 показані як "±*x*", там вони ідентичні з полями допусків *js*5, *js*6 або *js*7 для тих самих інтервалів номінальних розмірів.

Таблиця 25

Граничні відхили отворів m і n
Верхній граничний відхил = es
Нижній граничний відхил = ei

Відхили, мкм

Номінальний діаметр, мм		m							n						
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	3	4	5	6	7	8	9
	3	+4	+5	+6	+8	+12	+16	+27	+6	+7	+8	+10	+14	+18	+29
		+2	+2	+2	+2	+2	+2	+2	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4
3	6	+6,5	+8	+9	+12	+16	+22	+34	+10,5	+12	+13	+16	+20	+26	+38
		+4	+4	+4	+4	+4	+4	+4	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8
6	10	+8,5	+10	+12	+15	+21	+28	+42	+12,5	+14	+16	+19	+25	+32	+46
		+6	+6	+6	+6	+6	+6	+6	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
10	18	+10	+12	+15	+16	+25	+34	+50	+15	+17	+20	+23	+30	+39	+55
		+7	+7	+7	+7	+7	+7	+7	+12	+12	+12	+12	+12	+12	+12
18	30	+12	+14	+17	+21	+29	+41	+60	+19	+21	+24	+28	+36	+48	+67
		+8	+8	+8	+8	+8	+8	+8	+15	+15	+15	+15	+15	+15	+15
30	50	+13	+16	+20	+25	+34	+48	+71	+21	+24	+28	+33	+42	+56	+79
		+9	+9	+9	+9	+9	+9	+9	+17	+17	+17	+17	+17	+17	+17
50	80		+19	+24	+30	+41				+28	+33	+38	+50		
			+11	+11	+11	+11				+20	+20	+20	+20		
80	120		+23	+28	+35	+48				+33	+38	+45	+58		
			+13	+13	+13	+13				+23	+23	+23	+23		
120	180		+27	+33	+40	+55				+39	+45	+52	+67		
			+15	+15	+15	+15				+27	+27	+27	+27		
180	250		+31	+37	+46	+63				+45	+51	+60	+77		
			+17	+17	+17	+17				+31	+31	+31	+31		
250	315		+36	+43	+52	+72				+50	+57	+66	+86		
			+20	+20	+20	+20				+34	+34	+34	+34		
315	400		+39	+46	+57	+78				+55	+62	+73	+94		
			+21	+21	+21	+21				+37	+37	+37	+37		
400	500		+43	+50	+63	+86				+60	+67	+80	+103		
			+23	+23	+23	+23				+40	+40	+40	+40		
500	630				+70	+96						+88	+114		
					+26	+26						+44	+44		
630	800				+80	+110						+100	+130		
					+30	+30						+50	+50		
800	1000				+90	+124						+112	+146		
					+34	+34						+56	+56		
1000	1250				+106	+145						+132	+171		
					+40	+40						+66	+66		
1250	1600				+126	+173						+156	+203		
					+48	+48						+78	+78		
1600	2000				+150	+208						+184	+242		
					+58	+58						+92	+92		
2000	2500				+178	+243						+220	+285		
					+68	+68						+110	+110		
2500	3150				+211	+286						+270	+345		
					+76	+76						+135	+135		

Граничні відхили отворів *p*
Верхній граничний відхил = *es*
Нижній граничний відхил = *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*p*							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	+8 +6	+9 +6	+10 +6	+12 +6	+16 +6	+20 +6	+31 +6	+46 +6
3	6	+14,5 +12	+16 +12	+17 +12	+20 +12	+24 +12	+30 +12	+42 +12	+60 +12
6	10	+17,5 +15	+19 +15	+21 +15	+24 +15	+30 +15	+37 +15	+51 +15	+73 +15
10	18	+21 +18	+23 +18	+26 +18	+29 +18	+36 +18	+45 +18	+61 +18	+88 +18
18	30	+26 +22	+28 +22	+31 +22	+35 +22	+43 +22	+55 +22	+74 +22	+106 +22
30	50	+30 +26	+33 +26	+37 +26	+42 +26	+51 +26	+65 +26	+88 +26	+126 +26
50	80		+40 +32	+45 +32	+51 +32	+62 +32	+78 +32		
80	120		+47 +37	+52 +37	+59 +37	+72 +37	+91 +37		
120	180		+55 +43	+61 +43	+68 +43	+83 +43	+106 +43		
180	250		+64 +50	+70 +50	+79 +50	+96 +50	+122 +50		
250	315		+72 +56	+79 +56	+88 +56	+108 +56	+137 +56		
315	400		+80 +62	+87 +62	+98 +62	+119 +62	+151 +62		
400	500		+88 +68	+95 +68	+108 +68	+131 +68	+165 +68		
500	630				+122 +78	+148 +78	+188 +78		
630	800				+138 +88	+168 +88	+213 +88		
800	1000				+156 +100	+190 +100	+240 +100		
1000	1250				+186 +120	+225 +120	+285 +120		
1250	1600				+218 +140	+265 +140	+335 +140		
1600	2000				+262 +170	+320 +170	+400 +170		
2000	2500				+305 +195	+370 +195	+475 +195		
2500	3150				+375 +240	+450 +240	+570 +240		

Граничні відхили отворів r
Верхній граничний відхил = es
Нижній граничний відхил = ei

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		r							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10
	3	+12	+13	+14	+16	+20	+24	+35	+50
		+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10	+10
3	6	+17,5	+19	+20	+23	+27	+33	+45	+63
		+15	+15	+15	+15	+15	+15	+15	+15
6	10	+21,5	+23	+25	+28	+34	+41	+55	+77
		+19	+19	+19	+19	+19	+19	+19	+19
10	18	+26	+28	+31	+34	+41	+50	+66	+93
		+23	+23	+23	+23	+23	+23	+23	+23
18	30	+32	+34	+37	+41	+48	+61	+80	+112
		+28	+28	+28	+28	+28	+28	+28	+28
30	50	+38	+41	+45	+50	+59	+73	+96	+134
		+34	+34	+34	+34	+34	+34	+34	+34
50	65		+49	+54	+60	+71	+87		
			+41	+41	+41	+41	+41		
65	80		+51	+56	+62	+73	+89		
			+43	+43	+43	+43	+43		
80	100		+61	+66	+73	+86	+105		
			+51	+51	+51	+51	+51		
100	120		+64	+59	+76	+89	+108		
			+54	+54	+54	+54	+54		
120	140		+75	+81	+88	+103	+126		
			+63	+63	+63	+63	+63		
140	160		+77	+83	+90	+105	+128		
			+65	+65	+65	+65	+65		
160	180		+80	+86	+93	+108	+131		
			+68	+68	+68	+68	+68		
180	200		+91	+97	+106	+123	+149		
			+77	+77	+77	+77	+77		
200	225		+94	+100	+109	+126	+152		
			+80	+80	+80	+80	+80		
225	250		+98	+104	+113	+130	+156		
			+84	+84	+84	+84	+84		
250	280		+110	+117	+126	+146	+175		
			+94	+94	+94	+94	+94		
280	315		+114	+121	+130	+150	+179		
			+98	+98	+98	+98	+98		
315	355		+126	+133	+144	+165	+197		
			+106	+108	+108	+108	+108		
355	400		+132	+139	+150	+171	+203		
			+114	+114	+114	+114	+114		
400	450		+146	+153	+156	+189	+223		
			+126	+126	+126	+126	+126		
450	500		+152	+159	+172	+195	+229		
			+132	+132	+132	+132	+132		

Номінальний розмір, мм		r		
понад	до включно	6	7	8
500	560	+194	+220	+266
		+150	+150	+150
560	630	+199	+225	+265
		+155	+155	+155
630	710	+225	+255	+305
		+175	+175	+175
710	800	+235	+265	+310
		+185	+185	+185
800	900	+266	+300	+355
		+210	+210	+210
900	1000	+276	+310	+360
		+220	+220	+220
1000	1120	+316	+355	+415
		+250	+250	+250
1120	1250	+326	+365	+425
		+260	+260	+260
1250	1400	+378	+425	+490
		+300	+300	+300
1400	1600	+408	+455	+525
		+330	+330	+330
1600	1800	+462	+520	+600
		+370	+370	+370
1800	2000	+492	+550	+630
		+400	+400	+400
2000	2240	+550	+615	+726
		+440	+440	+440
2240	2500	+570	+635	+740
		+460	+460	+460
2500	2800	+685	+760	+886
		+550	+550	+550
2800	3150	+715	+790	+910
		+580	+580	+580

Додаток Б
Таблиця 29

Граничні відхили отворів Н
Верхній граничний відхил — ES
Нижній граничний відхил — EI

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		H									Номінальний розмір, мм		H				
понад	до включно	5	6	7	8	5	6	7	8	9	понад	до включно	6	7	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
—	3					+22 +18	+24 +18	+28 +18	+32 +18	+43 +18	500	560	+444 +400	+470 +400	+644 +600	+670 +600	+710 +600
3	6					+28 +23	+31 +23	+35 +23	+41 +23	+53 +23	560	630	+494 +450	+520 +450	+704 +660	+730 +660	+770 +660
6	10					+34 +28	+37 +28	+43 +28	+50 +28	+64 +28	630	710	+550 +500	+580 +500	+790 +740	+820 +740	+865 +740
10	18					+41 +33	+44 +33	+51 +33	+60 +33	+76 +33	710	800	+610 +560	+640 +560	+890 +840	+920 +840	+965 +840
18	24					+50 +41	+54 +41	+62 +41	+74 +41	+93 +41	800	900	+676 +620	+710 +620	+996 +940	+1030 +940	+1060 +940
24	30	+50 +41	+54 +41	+62 +41	+74 +41	+57 +48	+61 +48	+69 +48	+81 +48	+100 +48	900	1000	+736 +680	+770 +680	+1106 +1050	+1140 +1050	+1190 +1050
30	40	+59 +48	+64 +48	+73 +48	+87 +48	+71 +60	+76 +60	+85 +60	+99 +60	+122 +60	1000	1120	+846 +780	+885 +780	+1216 +1150	+1255 +1150	+1315 +1150
40	50	+65 +54	+70 +54	+79 +54	+93 +54	+81 +70	+86 +70	+95 +70	+109 +70	+132 +70	1120	1250	+906 +840	+945 +840	+1366 +1300	+1405 +1300	+1465 +1300
50	65	+79 +66	+85 +66	+96 +66	+112 +66	+100 +87	+106 +87	+117 +87	+133 +87	+161 +87	1250	1400	+1038 +960	+1085 +960	+1528 +1450	+1575 +1450	+1645 +1450
65	80	+88 +75	+94 +75	+105 +75	+121 +75	+115 +102	+121 +102	+132 +102	+148 +102	+176 +102	1400	1600	+1128 +1050	+1175 +1050	+1678 +1600	+1725 +1600	+1795 +1600
80	100	+106 +91	+113 +91	+126 +91	+145 +91	+139 +124	+146 +124	+159 +124	+178 +124	+211 +124	1600	1800	+1292 +1200	+1350 +1200	+1942 +1850	+2000 +1850	+2080 +1850
100	120	+119 +104	+126 +104	+139 +104	+158 +104	+159 +144	+166 +144	+79 +144	+198 +144	+231 +144	1800	2000	+1442 +1350	+1500 +1350	+2092 +2000	+2150 +2000	+2230 +2000

Таблиця 28

Граничні відхили отворів *s*
Верхній граничний відхил = *es*
Нижній граничний відхил = *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*s*							
понад	до включно	3	4	5	6	7	8	9	10
—	3	+16 +14	+17 +14	+18 +14	+20 +14	+24 +14	+28 +14	+39 +14	+54 +14
3	6	+21,5 +19	+23 +19	+24 +19	+27 +19	+31 +19	+37 +19	+49 +19	+67 +19
6	10	+25,5 +23	+27 +23	+29 +23	+32 +23	+38 +23	+45 +23	+59 +23	+81 +23
10	18	+31 +28	+33 +28	+36 +28	+39 +28	+46 +28	+55 +28	+71 +28	+98 +28
18	30	+39 +35	+41 +35	+44 +35	+48 +35	+56 +35	+68 +35	+87 +36	+119 +36
30	50	+47 +43	+50 +43	+54 +43	+59 +43	+68 +43	+82 +43	+105 +43	+143 +43
50	65		+61 +53	+66 +53	+72 +53	+83 +53	+99 +53	+127 +53	
65	80		+67 +59	+72 +59	+78 +59	+89 +59	+105 +59	+133 +59	
80	100		+81 +71	+86 +71	+93 +71	+106 +71	+125 +71	+158 +71	
100	120		+89 +79	+94 +79	+101 +79	+114 +79	+133 +79	+166 +79	
120	140		+104 +92	+110 +92	+117 +92	+132 +92	+155 +92	+192 +92	
140	160		+112 +100	+118 +100	+125 +100	+140 +100	+163 +100	+200 +100	
160	180		+120 +108	+126 +108	+133 +108	+148 +108	+171 +108	+208 +108	
180	200		+36 +122	+142 +122	+151 +122	+168 +122	+194 +122	+237 +122	
200	225		+144 +130	+150 +130	+159 +130	+176 +130	+202 +130	+245 +130	
225	250		+154 +140	+160 +140	+169 +140	+186 +140	+212 +140	+255 +140	
250	280		+174 +158	+181 +158	+190 +158	+210 +158	+239 +158	+288 +158	
280	315		+186 +170	+193 +170	+202 +170	+222 +170	+251 +170	+300 +170	
315	355		+208 +190	+215 +190	+226 +190	+247 +190	+279 +190	+330 +190	
355	400		+226 +206	+233 +208	+244 +208	+265 +208	+297 +208	+348 +208	
400	450		+252 +232	+259 +232	+272 +232	+295 +232	+329 +232	+387 +232	
450	500		+272 +252	+279 +252	+292 +252	+315 +252	−349 +252	+407 +252	

Номінальний розмір, мм		*s*		
понад	до включно	6	7	8
500	560	+324 +280	+350 +280	+396 +280
560	630	+354 +310	+380 +310	+426 +310
630	710	+390 +340	+420 +340	+466 +340
710	800	+430 +380	+460 +380	+506 +380
800	900	+486 +430	+520 +430	+570 +430
900	1000	+526 +470	+560 +470	+610 +470
1000	1120	+586 +520	+625 +520	+685 +520
1120	1250	+646 +580	+685 +580	+745 +580
1250	1400	+718 +640	+765 +640	+835 +640
1400	1600	+798 +720	+845 +720	+915 +720
1600	1800	+912 +820	+970 +820	+1050 +820
1800	2000	+1012 +920	+1070 +920	+1150 +920
2000	2240	+1110 +1000	+1175 +1000	+1280 +1000
2240	2500	+1210 +1100	+1275 +1100	+1380 +1100
2500	2800	+1385 +1250	+1460 +1250	+1585 +1250
2800	3150	+1535 +1400	+1610 +1400	+1735 +1400

Закінчення табл. 29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
120	140	+140 +122	+147 +122	+162 +122	+185 +122	+188 +170	+195 +170	+210 +170	+233 +170	+270 +170	2000	2240	+1610 +1500	+1675 +1500	+2410 +2300	+2475 +2300	+2580 +2300
140	160	+152 +134	+159 +134	+174 +134	+197 +134	+208 +190	+215 +190	+230 +190	+253 +190	+290 +190	2240	2500	+1760 +1650	+1825 +1650	+2610 +2500	+2675 +2500	+2780 +2500
160	180	+164 +146	+171 +146	+186 +146	+209 +146	+228 +210	+235 +210	+250 +210	+273 +210	+310 +210	2500	2800	+2035 +1900	+2110 +1900	+3035 +2900	+3110 +2900	+3230 +2900
180	200	+186 +166	+95 +166	+212 +166	+238 +166	+256 +236	+265 +236	+282 +236	+308 +236	+351 +236	2800	3150	+2235 +2100	+2310 +2100	+3335 +3200	+3410 +3200	+3530 +3200
200	225	+200 +180	+209 +180	+226 +180	+252 +180	+278 +258	+287 +258	+304 +258	+330 +258	+373 +258							
225	250	+216 +196	+225 +196	+242 +196	+268 +196	+304 +284	+313 +284	+330 +284	+356 +284	+399 +284							
250	280	+241 +218	+250 +218	+270 +218	+299 +218	+338 +315	+347 +315	+367 +315	+396 +315	+445 +315							
280	315	+263 +240	+272 +240	+292 +240	+321 +240	+373 +350	+382 +350	+402 +350	+431 +350	+480 +350							
315	355	+293 +268	+304 +268	+325 +268	+357 +268	+415 +390	+426 +390	+447 +390	+479 +390	+530 +390							
355	400	+319 +294	+330 +294	+351 +294	+383 +294	+460 +435	+471 +435	+492 +435	+524 +435	+575 +435							
400	450	+357 +330	+370 +330	+393 +330	+427 +330	+517 +490	+530 +490	+553 +490	+587 +490	+645 +490							
450	500	+387 +360	+400 +360	+423 +360	+457 +360	+567 +540	+580 +540	+603 +540	+637 +540	+695 +540							

[1] Поля допусків від *t*5 до *t*8 (вкл.) не долучено до таблиці для номінальних розмірів, менших або рівних 24 мм. Рекомендовано використовувати замість того поля допусків від *u*5 до *u*8 (вкл.). Проте, якщо поля допусків від *u*15 до *u*18 (вкл.) особливо потрібні, то їх можна розрахувати за основними, поданими у ISO 286–1.

Додаток 1
Таблиця 20

Граничні відхили отворів *x*, *y*, *y*²
Верхній граничний відхил — *es*
Нижній граничний відхил — *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*x*²				*x*						*y*²				
понад	до включно	5	6	7	8	5	6	7	8	9	10	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
—	3					+24 +20	+26 +20	+30 +20	+34 +20	+45 +20	+60 +20					
3	6					+33 +28	+36 +28	+40 +28	+46 +28	+58 +28	+76 +28					
6	10					+40 +34	+43 +34	+49 +34	+56 +34	+70 +34	+92 +34					
10	14					+48 +40	+51 +40	+58 +40	+67 +40	+83 +40	+110 +40					
14	18	+47 +39	+50 +39	+57 +39	+66 +39	+53 +45	+56 +45	+63 +45	+72 +45	+88 +45	+115 +45					
18	24	+56 +47	+60 +47	+68 +47	+80 +47	+63 +54	+67 +54	+75 +54	+87 +54	+106 +54	+138 +54	+76 +63	+84 +63	+96 +63	+115 +63	+147 +63
24	30	+64 +55	+68 +55	+76 +55	+88 +55	+73 +64	+77 +64	+85 +64	+97 +64	+116 +64	+148 +64	+88 +75	+96 +75	+108 +75	+127 +75	+159 +75
30	40	+79 +68	+84 +68	+93 +68	+107 +68	+91 +80	+96 +80	+105 +80	+119 +80	+142 +80	+180 +80	+110 +94	+119 +94	+133 +94	+156 +94	+194 +94
40	60	+92 +81	+97 +81	+106 +81	+120 +81	+108 +97	+113 +97	+122 +97	+136 +97	+159 +97	+197 +97	+130 +114	+139 +114	+153 +114	+176 +114	+214 +114
60	65	+115 +102	+121 +102	+132 +102	+148 +102	+135 +122	+141 +122	+152 +122	+168 +122	+196 +122	+242 +122	+163 +144	+174 +144	+190 +144		
65	80	+133 +120	+139 +120	+150 +120	+166 +120	+159 +146	+165 +146	+176 +146	+192 +146	+220 +146	+266 +146	+193 +174	+204 +174	+220 +174		
80	100	+161 +146	+168 +146	+181 +146	+200 +146	+193 +178	+200 +178	+213 +178	+232 +178	+265 +178	+318 +178	+236 +214	+249 +214	+268 +214		
100	120	+187 +172	+194 +172	+207 +172	+226 +172	+225 +210	+232 +210	+245 +210	+264 +210	+297 +210	+350 +210	+276 +254	+289 +254	+308 +254		

Закінчення табл. 30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
120	140	+220 +202	+227 +202	+242 +202	+265 +202	+266 +248	+273 +248	+288 +248	+311 +248	+348 +248	+408 +248	+325 +300	+340 +300	+363 +300		
140	160	+246 +228	+253 +228	+268 +228	+291 +228	+298 +280	+305 +280	+320 +280	+343 +280	+380 +280	+440 +280	+365 +340	+380 +340	+403 +340		
160	180	+270 +252	+277 +252	+292 +252	+315 +252	+328 +310	+335 +310	+350 +310	+373 +310	+410 +310	+470 +310	+405 +380	+420 +380	+443 +380		
180	200	+304 +284	+313 +284	+330 +284	+356 +284	+370 +350	+379 +350	+396 +350	+422 +350	+465 +350	+535 +350	+454 +425	+471 +425	+497 +425		
200	220	+330 +310	+339 +310	+356 +310	+382 +310	+405 +385	+414 +385	+431 +385	+457 +385	+500 +385	+570 +385	+499 +470	+516 +470	+542 +470		
225	250	+360 +340	+369 +340	+386 +340	+412 +340	+445 +425	+454 +425	+471 +425	+497 +425	+540 +425	+610 +425	+549 +520	+566 +520	+592 +520		
250	280	+408 +385	+417 +385	+437 +385	+466 +385	+498 +475	+507 +475	+527 +475	+556 +475	+605 +475	+685 +475	+612 +580	+632 +580	+661 +580		
280	315	+448 +425	+457 +425	+477 +425	+506 +425	+548 +525	+557 +525	+577 +525	+606 +525	+655 +525	+735 +525	+682 +650	+702 +650	+731 +650		
315	355	+500 +475	+511 +475	+532 +475	+564 +475	+615 +590	+626 +590	+647 +590	+675 +590	+730 +590	+820 +590	+766 +730	+787 +730	+819 +730		
355	400	+555 +530	+566 +530	+587 +530	+619 +530	+685 +660	+696 +660	+717 +660	+749 +660	+800 +660	+690 +660	+856 +820	+877 +820	+909 +820		
400	450	+622 +595	+635 +595	+658 +595	+692 +595	+767 +740	+780 +740	+803 +740	+837 +740	+895 +740	+990 +740	+960 +920	+983 +920	+1017 +920		
450	500	+687 +660	+700 +660	+723 +660	+757 +660	+847 +820	+860 +820	+883 +820	+917 +820	+975 +820	+1070 +820	+1040 +1000	+1063 +1000	+1097 +1000		

[1] Основні відхили v, x і y не передбачено для номінальних розмірів, більших 500 мм.

[2] Поля допусків від $v5$ до $v8$ (вкл.) не долучено до таблиці для номінальних розмірів, менших або рівних 14 мм. Рекомендовано використовувати замість цього поля допусків від $x5$ до $x8$ (вкл.). Проте, якщо поля допусків від $v5$ до $v8$ (вкл.) особливо потрібні, то їх можна розрахувати за основними, поданими в ISO 286–1.

[3] Поля допусків від $y6$ до $y10$ (вкл.) не долучено до таблиці для номінальних розмірів, менших або рівних 18 мм. Рекомендовано використовувати замість того поля допусків від $z6$ до $z10$ (вкл.). Проте, якщо поля допусків від $y6$ по $y10$ (вкл.) особливо потрібні, то їх можна розрахувати за основними, поданими в ISO 286–1.

Номинальный размер, мм		z						za					
свыше	до включительно	6	7	8	9	10	11	6	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
—	3	+32 +26	+36 +26	+40 +26	+51 +26	+66 +26	+86 +26	+38 +32	+42 +32	+46 +32	+57 +32	+72 +32	+92 +32
3	6	+43 +35	+47 +35	+53 +35	+65 +35	+83 +35	+110 +35	+50 +42	+54 +42	+60 +42	+72 +42	+90 +42	+112 +42
6	10	+51 +42	+57 +42	+64 +42	+78 +42	+100 +42	+132 +42	+61 +52	+67 +52	+74 +52	+88 +52	+110 +52	+142 +52
10	14	+61 +50	+68 +50	+77 +50	+93 +50	+120 +50	+160 +50	+75 +64	+82 +64	+91 +64	+107 +64	+134 +64	+174 +64
14	18	+71 +60	+78 +60	+87 +60	+103 +60	+130 +60	+170 +60	+88 +77	+95 +77	+104 +77	+120 +77	+147 +77	+187 +77
18	24	+86 +73	+94 +73	+106 +73	+125 +73	+157 +73	+203 +73	+111 +98	+119 +98	+131 +98	+150 +98	+182 +98	+228 +98
24	30	+101 +88	+109 +88	+121 +88	+140 +88	+172 +88	+218 +88	+131 +118	+139 +118	+151 +118	+170 +118	+202 +118	+248 +118
30	40	+128 +112	+137 +112	+151 +112	+174 +112	+212 +112	+272 +112	+164 +148	+173 +148	+187 +148	+210 +148	+248 +148	+308 +148
40	50	+152 +136	+161 +136	+175 +136	+198 +136	+236 +136	+296 +136	+196 +180	+205 +180	+219 +180	+242 +180	+280 +180	+340 +180
50	65	+191 +172	+202 +172	+218 +172	+246 +172	+292 +172	+362 +172	+245 +226	+256 +226	+272 +226	+300 +226	+346 +226	+416 +226
65	80	+229 +210	+240 +210	+256 +210	+284 +210	+330 +210	+400 +210	+293 +274	+304 +274	+320 +274	+348 +274	+394 +274	+464 +274
80	100	+280 +258	+293 +258	+312 +258	+345 +258	+398 +258	+478 +258	+357 +335	+370 +335	+389 +335	+422 +335	+475 +335	+555 +335

Закінчення табл. 31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
100	120	+332 +310	+345 +310	+364 +310	+397 +310	+450 +310	+530 +310	+422 +400	+435 +400	+454 +400	+487 +400	+540 +400	+620 +400
120	140	+390 +365	+405 +365	+428 +365	−465 +365	−525 +365	+615 +365	+495 +470	+510 +470	+533 +470	+570 +470	+630 +470	+720 +470
140	160	+440 +415	+455 +415	+478 +415	+515 +415	+575 +415	+665 +415	+560 +535	+575 +535	+598 +535	+937 +535	+695 +535	+785 +535
160	180	+480 +465	+505 +465	+528 +465	+565 +465	+625 +465	+715 +465	+625 +600	+640 +600	+663 +600	+700 +600	+760 +600	+850 +600
180	200	+549 +520	+566 +520	+592 +520	+635 +520	+705 +520	+810 +520	+699 +670	+716 +670	+742 +670	+785 +670	+855 +670	+960 +670
200	225	+604 +575	+621 +575	+647 +575	+690 +575	+760 +575	+865 +575	+769 +740	+786 +740	+812 +740	+855 +740	+925 +740	+1030 +740
225	250	+669 +640	+686 +640	+712 +640	+755 +640	+825 +640	+930 +640	+849 +820	+866 +820	+892 +820	+935 +820	+1005 +820	+1110 +820
250	280	+742 +710	+762 +710	+791 +710	+840 +710	+920 +710	+1030 +710	+952 +920	+972 +920	+1001 +920	+1050 +920	+1130 +920	+1240 +920
280	315	+822 +790	+842 +790	+871 +790	+920 +790	+1000 +790	+1110 +790	+1032 +1000	+1052 +1000	+1081 +1000	+1130 +1000	+1210 +1000	+1020 +1000
315	355	+936 +900	+957 +900	+989 +900	+1040 +900	+1130 +900	+1260 +900	+1186 +1150	+1207 +1150	+1239 +1150	+1290 +1150	+1380 +1150	+1510 +1150
355	400	+1036 +1000	+1057 +1000	+1089 +1000	+1140 +1000	+1230 +1000	+1360 +1000	+1336 +1300	+1357 +1300	+1389 +1300	+1440 +1300	+1530 +1300	+1660 +1300
400	450	+1140 +1100	+1163 +1100	+1197 +1100	+1255 +1100	+1350 +1100	+1500 +1100	+1490 +1450	+1513 +1450	+1547 +1450	+1605 +1450	+1700 +1450	+1850 +1450
450	500	+1290 +1250	+1313 +1250	+1347 +1250	+1405 +1250	+1500 +1250	+1650 +1250	+1640 +1600	+1663 +1600	+1697 +1600	+1755 +1600	+1850 +1600	+2000 +1600

[1] Основні відхили *z* і *za* не передбачено для номінальних розмірів, більших 500 мм.

Додаток А

Таблиця А2

Граничні відхили отворів *zb* і *zc*

Верхній граничний відхил = *es*

Нижній граничний відхил = *ei*

Відхили, мкм

Номінальний розмір, мм		*zb*					*zc*				
понад	до включно	7	8	9	10	11	7	8	9	10	11
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
—	3	+50 +40	+54 +40	+65 +40	+80 +40	+100 +40	+70 +60	+74 +60	+85 +60	+100 +60	+120 +60
3	6	+62 +50	+68 +50	+80 +50	+98 +50	+125 +50	+92 +80	+98 +80	+110 +80	+128 +80	+155 +80
6	10	+82 +67	+89 +67	+103 +67	+125 +67	+157 +67	+112 +97	+119 +97	+133 +97	+155 +97	+187 +97
10	14	+108 +90	+117 +90	+133 +90	+160 +90	+200 +90	+148 +130	+157 +130	+173 +130	+200 +130	+240 +130
14	18	+126 +108	+135 +108	+151 +108	+178 +108	+218 +108	+168 +150	+177 +150	+193 +150	+220 +150	+260 +150
18	24	+157 +136	+169 +136	+188 +136	+220 +136	+266 +136	+209 +188	+221 +188	+240 +188	+272 +188	+318 +188
24	30	+181 +160	+193 +160	+212 +160	+244 +160	+290 +160	+239 +218	+251 +218	+270 +218	+302 +218	+348 +218
30	40	+225 +200	+239 +200	+262 +200	+300 +200	+360 +200	+299 +274	+313 +274	+336 +274	+374 +274	+434 +274
40	50	+267 +242	+281 +242	+304 +242	+342 +242	+402 +242	+350 +325	+364 +325	+387 +325	+425 +325	+485 +325
50	65	+330 +300	+346 +300	+374 +300	+420 +300	+490 +300	+435 +405	+451 +405	+479 +405	+525 +405	+595 +405
65	80	+390 +360	+406 +360	+434 +360	+480 +360	+550 +360	+510 +480	+526 +480	+554 +480	+600 +480	+670 +480

Закінчення табл. 32

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
80	100	+480 +445	+499 +445	+532 +445	+585 +445	+665 +445	+620 +585	+639 +585	+672 +585	+725 +585	+805 +585
100	120	+560 +525	+579 +525	+612 +525	+665 +525	+745 +525	+725 +690	+744 +690	+777 +690	+830 +690	+910 +690
120	140	+660 +620	+683 +620	+720 +620	+780 +620	+870 +620	+840 +800	+863 +800	+900 +800	+960 +800	+1050 +800
140	160	+740 +700	+763 +700	+800 +700	+860 +700	+950 +700	+940 +900	+963 +900	+1000 +900	+1060 +900	+1150 +900
160	180	+820 +780	+843 +780	+880 +780	+940 +780	+1030 +780	+1040 +1000	+1063 +1000	+1100 +1000	+1160 +1000	+1250 +1000
180	200	+926 +880	+952 +880	+995 +880	+1065 +880	+1170 +880	+1196 +1150	+1222 +1150	+1265 +1150	+1335 +1150	+1440 +1150
200	225	+1006 +960	+1032 +960	+1075 +960	+1146 +960	+1250 +960	+1296 +1250	+1322 +1250	+1365 +1250	+1435 +1250	+1540 +1250
225	250	+1096 +1050	+1122 +1050	+1165 +1050	+1235 +1050	+1340 +1050	+1396 +1350	+1422 +1350	+1465 +1350	+1535 +1350	+1640 +1350
250	280	+1252 +1200	+1281 +1200	+1330 +1200	+1410 +1200	+1520 +1200	+1602 +1550	+1631 +1550	+1680 +1550	+1760 +1550	+1870 +1550
280	315	+1352 +1300	+1381 +1300	+1430 +1300	+1510 +1300	+1620 +1300	+1752 +1700	+1781 +1700	+1830 +1700	+1910 +1700	+2020 +1700
315	355	+1567 +1500	+1589 +1500	+1640 +1500	+1730 +1500	+1860 +1500	+1957 +1900	+1989 +1900	+2040 +1900	+2130 +1900	+2260 +1900
355	400	+1707 +1650	+1739 +1650	+1790 +1650	+1880 +1650	+2010 +1650	+2157 +2100	+2189 +2100	+2240 +2100	+2330 +2100	+2460 +2100
400	450	+1913 +1850	+1947 +1850	+2005 +1850	+2100 +1850	+2250 +1850	+2463 +2400	+2497 +2400	+2555 +2400	+2650 +2400	+2800 +2400
450	500	+2163 +2100	+2197 +2100	+2255 +2100	+2350 +2100	+2500 +2100	+2663 +2600	+2697 +2600	+2755 +2600	+2850 +2600	+3000 +2600

[1] Основні відхили *zb* і *zc* не передбачені для номінальних розмірів, більших 500 мм.

Додаток 3

ДСТУ ГОСТ 520:2002

Параметри шорсткості поверхонь підшипників

Назва поверхні	Клас точності підшипника	Параметр шорсткості поверхні *Ra* (мкм) за ГОСТ 2789–73					
		Номінальні діаметри *d* і *D* кілець підшипників, мм					
		до 30	від 30 до 80	від 80 до 150	від 150 до 250	від 250 до 500	від 500 до 2500
Поверхня отвору підшипника	0, нормальний	1,25	1,25	1,25	1,25	2,5	2,5
	6X, 6,5	0,63	0,63	1,25	1,25	1,25	2,5
	4, T, 2	0,32	0,32	0,63	0,63	0,63	—
Зовнішня поверхня підшипника	0, нормальний	0,63	0,63	1,25	1,25	1,25	2,5
	6X, 6,5	0,32	0,32	0,63	0,63	0,63	1,25
	4, T, 2	0,32	0,32	0,63	0,63	0,63	—
Поверхня торця кілець підшипника	0, нормальний	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	—
	6X, 6,5	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	2,5
	4, T, 2[1]	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	—

[1] Для упорних кулькових підшипників класу точності 2 параметр шорсткості *Ra* повинен бути не більше 0,32 мкм — для кілець підшипників номінальним діаметром отвору тугого кільця до 80 мм; не більше 0,63 мкм — для кілець підшипників номінальним діаметром отвору тугого кільця понад 80 мм.

Додаток В

Таблиця 1

ДСТУ ГОСТ 520:2003

Точність розмірів і взаємного розташування поверхонь. Підшипники кулькові та роликові радіальні й кулькові радіально-упорні

Клас точності 6

Внутрішнє кільце (допуски, мкм)

d, мм	Δ_{dmp}		V_{dsp}			V_{dmp}	K_{ave}	ΔB_s			r_{as} max
			серії діаметрів					відхил	нормальний	модифікований	
	верхній	нижній	9	1, 7	2(5), 3(6), 4			верхній	нижній		
			не більше								
Від 0,6 до 2,5 включно	0	−7	9	7	5	5	5	0	−40	−*	12
Понад 2,5 до 10	0	−7	9	7	5	5	6	0	−120	−250	15
Понад 10 до 18	0	−7	9	7	5	5	7	0	−120	−250	20
Понад 18 до 30	0	−8	10	8	6	6	8	0	−120	−250	20
Понад 30 до 50	0	−10	13	10	8	8	10	0	−120	−250	20
Понад 50 до 80	0	−12	15	15	9	9	10	0	−150	−380	25
Понад 80 до 120	0	−15	19	19	11	11	13	0	−200	−380	25
Понад 120 до 180	0	−18	23	23	14	14	18	0	−250	−500	30
Понад 180 до 250	0	−22	28	28	17	17	20	0	−300	−500	30
Понад 250 до 315	0	−25	31	31	19	19	25	0	−350	−500	35
Понад 315 до 400	0	−30	38	38	23	23	30	0	−400	−630	40
Понад 400 до 500	0	−35	44	44	26	26	35	0	−450	—	45
Понад 500 до 630	0	−40	50	50	30	30	40	0	−500	—	50

* Стосується кілець підшипників, призначених для здвоєних чи комплексних підшипників.

Додаток В

Закінчення табл. 1

Зовнішнє кільце (допуски, мкм)

D, мм	Δ_{Dmp}		V_{Dsp} [1]				V_{Dmp} [1]	K_{ase}	Δ_{Ns}, Δ_{Cls} [2]		Δ_{Ns}, Δ_{Cls} [2]
			відкритий підшипник		закритий підшипник						
			серії діаметрів								
	верхній	нижній	9	1, 7	2(5), 3(6), 4	1, 7 2(5), 3(6), 4			верхній	нижній	не більше
			не більше								
2,5 включно	0	−7	9	7	5	9	5	8	рівні ΔB_s і V_{Bs} того ж підшипника відповідно		
від 6 до 18	0	−7	9	7	5	9	5	8			
від 18 до 30	0	−8	10	8	6	10	6	9			
від 30 до 50	0	−9	11	9	7	13	7	10			
від 50 до 80	0	−11	14	11	8	16	8	13			
від 80 до 120	0	−13	16	16	10	20	10	18			
від 120 до 150	0	−15	19	19	11	25	11	20			
від 150 до 180	0	−18	23	23	14	30	14	23			
від 180 до 250	0	−20	25	25	15	—	15	25			
від 250 до 315	0	−25	31	31	19	—	19	30			
від 315 до 400	0	−28	35	35	21	—	21	35			
від 400 до 500	0	−33	41	41	25	—	25	40			
від 500 до 630	0	−38	48	48	29	—	29	50			
від 630 до 800	0	−45	56	56	34	—	34	60			
від 800 до 1000	0	−60	75	75	45	—	45	75			

[1] для вілець до монтажу і після зняття внутрішнього чи зовнішнього пружного кільця.
[2] для кулькових підшипників.

Додаток В

Таблиця В

Клас точності 5

Внутрішнє кільце (допуски, мкм)

d, мм	Δ_{dmp}		V_{dsp}		V_{dmp}	K_{ia}	S_d	S_{ia}^1	ΔB_s			V_{Bs}, не більше
			серії діаметрів						відхил	нормальний	модифікований[2]	
	верхній	нижній	9	1, 7, 2(5), 3(6), 4					верхній	нижній		
	не більше											
Від 0,6 до 2,5 включно	0	−5	5	4	3	4	7	7	0	−40	−250	5
Понад 2,5 до 10	0	−5	5	4	3	4	7	7	0	−40	−250	5
Понад 10 до 18	0	−5	5	4	3		7	7	0	−80	−250	5
Понад 18 до 30	0	−6	6	5	3		8	8	0	−120	−250	5
Понад 30 до 50	0	−8	8	6	4	5	8	8	0	−120	−250	5
Понад 50 до 80	0	−9	9	7	5	5	8	8	0	−150	−250	6
Понад 80 до 120	0	−10	10	8	5	6	9	9	0	−200	−380	7
Понад 120 до180	0	−13	13	10	7	8	10	10	0	−250	−380	8
Понад 180 до 250	0	−15	15	12	8	10	11	13	0	−300	−500	10
Понад 250 до 315	0	−18	18	14	9	13	13	15	0	−350	−550	13
Понад 315 до 400	0	−23	23	18	12	15	15	15	0	−400	−630	13

[1] Чинні тільки для кулькових підшипників.

[2] Стосуються кілець підшипників, призначених для здвоєних чи комплексних підшипників.

Додаток В

Закінчення табл. 2

Зовнішнє кільце (допуски, мкм)

D, мм	Δ_{Dmp}		V_{Dsp}[1] серії діаметрів		V_{Dmp}	K_{ea}	S_D[1], S_{D1}[2]	S_{ea}[1,2]	S_{ea1}[2]	Δ_{Cs}, Δ_{Cls}[2]		V_{Cs}, V_{Cls}[2]
	верхній	нижній	9	1, 7 2(5), 3(6), 4						верхній	нижній	не більше
			не більше									
2,5 включно	0	−5	5	4	3	5	8	8	11			5
від 0 до 18	0	−5	5	4	3	5	8	8	11			5
від 18 до 30	0	−6	6	5	3	6	8	8	11			5
від 30 до 50	0	−7	7	5	4	4	8	8	11			5
від 50 до 80	0	−9	9	7	5	8	8	10	14			6
від 80 до 120	0	−10	10	8	5	10	9	11	16	Дорівнює ΔBs того ж підшипника		8
від 120 до 150	0	−11	11	8	6	11	10	13	18			8
від 150 до 180	0	−13	13	10	7	13	0	14	20			8
від 180 до 250	0	−15	15	11	8	15	11	15	21			10
від 250 до 315	0	−18	18	14	9	18	13	18	25			11
від 315 до 400	0	−20	20	15	10	20	13	20	28			13
від 400 до 500	0	−23	23	17	12	23	15	23	33			15
від 500 до 630	0	−28	28	21	14	25	18	25	35			18
від 630 до 800	0	−35	35	26	18	30	20	30	42			20

[1] для кілець до монтажу і після зняття внутрішнього чи зовнішнього пружинного кільця.
[2] тільки для кулькових підшипників.

Додаток В

Таблиця 3

Клас точності 4

Внутрішнє кільце
(допуски, мкм)

d, мм	Δ_{dmp}		Δ_{ds}[1]		V_{dsp}		V_{dmp}	K_{ia}	S_d	S_{id}[1]	ΔB_s			V_{Bs}
					серії діаметрів						відхил	нормальний	модифікований[3]	не більше
	верхній	нижній	верхній	нижній	9	1, 7, 2(5), 3(6), 4					верхній	нижній		
	не більше													
Від 0,6 до 2,5 включно	0	−4	0	−4	4	3	2	2,5	3	3	0	−40	−250	2,5
Понад 2,5 до 10	0	−4	0	−4	4	3	2	2,5	3	3	0	−40	−250	2,5
Понад 10 до 18	0	−4	0	−4	4	3	2	2,5	3	3	0	−80	−250	2,5
Понад 18 до 30	0	−5	0	−5	5	4	2,5	3	4	4	0	−120	−250	2,5
Понад 30 до 50	0	−6	0	−6	6	5	3	4	4	4	0	−120	−250	3
Понад 50 до 80	0	−7	0	−7	7	5	3,5	4	5	5	0	−150	−250	4
Понад 80 до 120	0	−8	0	−8	8	6	4	5	5	5	0	−200	−380	4
Понад 120 до180	0	−10	0	−10	10	8	5	6	6	7	0	−250	−380	5
Понад 180 до 250	0	−12	0	−12	12	9	6	8	7	8	0	−300	−380	6

[1] Чинні тільки для серій діаметрів 1, 7, 2(5), 3(6) і 4.

[2] Чинні тільки для кулькових підшипників.

[3] Стосуються кілець підшипників, призначених для здвоєних чи комплексних підшипників.

Додаток В

Закінчення табл. 3

Зовнішнє кільце (допуски, мкм)

D, мм	Δ_{Dmp}		V_{Ds}[1]		V_{Dsp}[1] серії діаметрів		V_{Dmp}	K_{ea}	S_D[3], S_{D1}[3]	S_{ea}[2,3]	S_{ea1}[3]	Δ_{Cs}, Δ_{Cls}[3]		V_{Cs}, V_{Cls}[3]
	верхній	нижній	верхній	нижній	9	1, 7 2(5), 3(6), 4						верхній	нижній	не більше
	не більше													
Від 2,5 до 6 включно	0	−4	0	−4	4	3	2	3	4	5	7			2,5
Понад 6 до 18	0	−4	0	−4	4	3	2	3	4	5	7	Рівне ΔBs того ж підшипника		2,5
Понад 18 до 30	0	−5	0	−5	5	4	2,5	4	4	5	7			2,5
Понад 30 до 50	0	−6	0	−6	6	5	3	5	4	5	7			2,5
Понад 50 до 80	0	−7	0	−7	7	5	3,5	5	4	5	7			3
Понад 80 до 120	0	−8	0	−8	8	6	4	6	5	6	8			4
Понад 120 до 150	0	−9	0	−9	9	7	5	7	5	7	10			5
Понад 150 до 180	0	−10	0	−10	10	8	5	8	5	8	11			5
Понад 180 до 250	0	−11	0	−11	11	8	6	10	7	10	14			7
Понад 250 до 315	0	−13	0	−13	13	10	7	11	8	10	14			7
Понад 315 до 400	0	−15	0	−15	15	11	8	13	10	13	18			8

[1] Чинні тільки для серій діаметрів 1, 7, 2(5), 3(6) і 4.

[2] Не чинні для підшипників з упорним бортом на зовнішньому кільці.

[3] Чинні тільки для кулькових підшипників.

Додаток Б

Таблиця 4

Клас точності 2

Внутрішнє кільце
(допуски, мкм)

d, мм	Δ_{dmp}		V_{ds}		V_{dsp}[1]	V_{dmp}	K_{ia}	S_d	S_d^2[2]	ΔB_s[3]			V_{Bs}
										відхил	нормальний	модифікований	
	верхній	нижній	верхній	нижній	не більше					верхній	нижній		
Від 0,6 до 2,5 включно	0	−2,5	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	−40	−250	1,5
Понад 2,5 до 10	0	−2,5	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	−40	−250	1,5
Понад 10 до 18	0	−2,5	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0	−80	−250	1,5
Понад 18 до 30	0	−2,5	0	−2,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0	−120	−250	1,5
Понад 30 до 50	0	−2,5	0	−2,5	2,5	1,5	2,5	1,5	2,5	0	−120	−250	1,5
Понад 50 до 80	0	−4	0	−4	4	2	2,5	1,5	2,5	0	−150	−250	1,5
Понад 80 до 120	0	−5	0	−5	5	2,5	2,5	2,5	2,5	0	−200	−380	2,5
Понад 120 до150	0	−7	0	−7	7	3,5	2,5	2,5	2,5	0	−250	−380	2,5
Понад 150 до 180	0	−7	0	−7	7	3,5	5	4	5	0	−250	−380	4
Понад 180 до 250	0	−8	0	−8	8	4	5	5	5	0	−300	−500	5

[1] Чинні тільки для серій діаметрів 1, 7, 2(5), 3(6) і 4.

[2] Чинні тільки для кулькових підшипників.

[3] Стосуються кілець підшипників, призначених для здвоєних чи комплексних підшипників.

Додаток В

Закінчення табл. 4

Зовнішнє кільце (допуски, мкм)

D, мм	Δ_{Dmp}		V_{Ds}[1]		V_{Dsp}[1]	V_{Dmp}	K_{ea}	S_D[2], S_{D1}[3]	S_{ea}[2,3]	S_{ea1}[3]	Δ_{Cs}, Δ_{Cls}[3]		V_{Cs}, V_{Cls}[3]
	верхній	нижній	верхній	нижній	не більше						верхній	нижній	не більше
Від 0,6	0	−2,5	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	3	3			1,5
До 6 включно													
Понад 6 до 18	0	−2,5	0	−2,5	2,5	1,5	1,5	1,5	3	3	Рівне ΔBs		1,5
Понад 18 до 30	0	−4	0	−4	4	2	2,5	1,5	4	4	того ж		1,5
Понад 30 до 50	0	−4	0	−4	4	2	2,5	1,5	4	1	підшип-		1,5
Понад 50 до 80	0	−4	0	−4	4	2	4	1,5	6	6	ника		1,5
Понад 80 до 120	0	−5	0	−5	5	2,5	5	2,5	7	7			2,5
Понад 120 до150	0	−5	0	−5	5	2,5	5	2,5	7	7			2,5
Понад 150 до 180	0	−7	0	−7	7	3,5	5	2,5	7	7			2,5
Понад 180 до 250	0	−8	0	−8	8	4	7	4	10	10			4
Понад 250 до 315	0	−8	0	−8	8	4	7	5	10	10			5
Понад 315 до 400	0	−10	0	−10	10	5	8	7	11	11			7

[1] Також також для серій діаметрів 1, 7, 2(5), 3(6) і 4.
[2] Також для підшипників з упорним бортом на зовнішньому кільці.
[3] Також також для кулькових підшипників.

Додаток

Таблиця

Норми кінематичної точності (показник Fp, мкм) (за ГОСТ 1643–81, скорочено)

Ступінь точності	Модуль m, мм	Ділильний діаметр d, мм							
		до 12,7	понад 12,7 до 20,4	понад 20,4 до 31,8	понад 31,8 до 50,9	понад 50,9 до 101,8	понад 101,8 до 200,5	понад 200,5 до 401,1	понад 401,1 до 630,0
3	Від 1 до 10	4	5	5,5	6	8	11	16	20
4	Від 1 до 10	6	8	9	10	12	18	25	32
5	Від 1 до 16	10	12	14	16	20	28	40	50
6	Від 1 до 16	16	20	22	25	32	45	63	80
7	Від 1 до 25	22	28	32	36	45	63	90	112
8	Від 1 до 25	32	40	45	50	63	90	125	160

Примітка: F_p – допуск на накопичену похибку кроку зубчастого колеса.

Додаток Г

Таблиця 2

Норми кінематичної точності (показники F'_{ir}, F_{rr}, F_{vwr}, F_{cr}, F''_{ir}, мкм) (за ГОСТ 1643–81, скорочено)

Модуль m, мм	Ділильний діаметр d, мм		Ступінь точності	Позначення	Модуль m, мм до 125	Ділильний діаметр d, мм	
	до 125	понад 125 до 400				до 125	понад 125 до 400
Від 1 до 3,5	25	36	9	F_r	Від 1 до 3,5	71	80
Понад 3,5 до 6,3	28	40			Понад 3,5 до 6,3	80	100
Понад 6,3 до 10	32	45			Понад 6,3 до 10	90	112
Від 1 до 16	F_p+f_f				Від 1 до 3,5	90	112
Від 1 до 16	16	28		F''_i	Понад 3,5 до 6,3	112	140
Від 1 до 3,5	36	50			Понад 6,3 до 10	125	160
Понад 3,5 до 6,3	40	56	10	F_r	Від 1 до 3,5	100	112
Понад 6,3 до 10	45	63			Понад 3,5 до 6,3	125	140
Від 1 до 16	16	28			Понад 6,3 до 10	140	160
Від 1 до 16	F_p+f_f			F''_i	Від 1 до 3,5	140	160
Від 1 до 3,5	36	50			Понад 3,5 до 6,3	180	200
Понад 3,5 до 6,3	40	56			Понад 6,3 до 10	200	224
Понад 6,3 до 10	45	63					
Від 1 до 25	22	40	11	F_r	Від 1 до 3,5	125	140
Від 1 до 3,5	50	71			Понад 3,5 до 6,3	160	180
Понад 3,5 до 6,3	56	80			Понад 6,3 до 10	180	200
Понад 6,3 до 10	63	90		F'_i	Від 1 до 3,5	180	200
Від 1 до 25	22	40			Понад 3,5 до 6,3	224	250
					Понад 6,3 до 10	250	280
Від 1 до 25	F_p+f_f		12	F_r	Від 1 до 3,5	160	180
Від 1 до 3,5	45	63			Понад 3,5 до 6,3	200	224
Понад 3,5 до 6,3	50	71			Понад 6,3 до 10	224	250
Понад 6,3 до 10	56	90		F'_i	Від 1 до 3,5	224	250
Від 1 до 3,5	63	90			Понад 3,5 до 6,3	280	315
Понад 3,5 до 6,3	71	100			Понад 6,3 до 10	315	355
Понад 6,3 до 10	80	112					
Від 1 до 40	28	50					
Від 1 до 40	28	50					

Примітка. F_i — допуск на кінематичну похибку зубчастого колеса; F_r — допуск на радіальне биття зубчастого колеса; F_c — допуск на похибку обкочення; F''_i — допуск на коливання вимірювальної міжосьової відстані за оберт зубчастого колеса; F_{vw} — допуск на коливання довжини спільної нормалі.

Норми кінематичної точності (показники f'_{ir}, f_{rr}, f_{vwr}, f_{cr}, f''_{ir}, мкм) (за ГОСТ 1643–81, скорочено)

Ступінь точності	Позначення	Модуль m, мм	Ділильний діаметр d, мм	
			до 125	понад 125 до 400
6	f_i'	Від 1 до 3,5	18	20
		Понад 3,5 до 6,3	22	25
		Понад 6,3 до 10	28	30
	f_{pt}	Від 1 до 3,5	±10	±11
		Понад 3,5 до 6,3	±13	±14
		Понад 6,3 до 10	±14	±16
	$f_{p\alpha}$	Від 1 до 3,5	±9,5	±10
		Понад 3,5 до 6,3	±12	±13
		Понад 6,3 до 10	±13	±15
	f_f	Від 1 до 3,5	8	9
		Понад 3,5 до 6,3	10	11
		Понад 6,3 до 10	12	13
	f_i'	Від 1 до 3,5	14	16
		Понад 3,5 до 6,3	18	20
		Понад 6,3 до 10	20	22
7	f_i'	Від 1 до 3,5	25	30
		Понад 3,5 до 6,3	32	36
		Понад 6,3 до 10	36	40
	f_{pt}	Від 1 до 3,5	±14	±16
		Понад 3,5 до 6,3	±18	±20
		Понад 6,3 до 10	±20	±22
	$f_{p\alpha}$	Від 1 до 3,5	±13	±15
		Понад 3,5 до 6,3	±17	±19
		Понад 6,3 до 10	±19	±21
	f_f	Від 1 до 3,5	11	13
		Понад 3,5 до 6,3	14	16
		Понад 6,3 до 10	17	19
	f_i''	Від 1 до 3,5	20	22
		Понад 3,5 до 6,3	25	18
		Понад 6,3 до 10	28	32
8	f_i'	Від 1 до 3,5	36	40
		Понад 3,5 до 6,3	45	50
		Понад 6,3 до 10	50	60
	f_{pt}	Від 1 до 3,5	±20	±22
		Понад 3,5 до 6,3	±25	±28
		Понад 6,3 до 10	±28	±32
8	$f_{p\alpha}$	Від 1 до 3,5	±19	±21
		Понад 3,5 до 6,3	±24	±26
		Понад 6,3 до 10	±26	±30
	f_f	Від 1 до 3,5	14	18
		Понад 3,5 до 6,3	20	22
		Понад 6,3 до 10	22	28
	f_i''	Від 1 до 3,5	28	32
		Понад 3,5 до 6,3	36	40
		Понад 6,3 до 10	40	45
9	f_{pt}	Від 1 до 3,5	±28	±32
		Понад 3,5 до 6,3	±36	±40
		Понад 6,3 до 10	±40	±45
	$f_{p\alpha}$	Від 1 до 3,5	±26	±30
		Понад 3,5 до 6,3	±34	±38
		Понад 6,3 до 10	±38	±42
	f_i''	Від 1 до 3,5	36	40
		Понад 3,5 до 6,3	45	50
		Понад 6,3 до 10	50	60
10	f_{pt}	Від 1 до 3,5	±40	±45
		Понад 3,5 до 6,3	±50	±56
		Понад 6,3 до 10	±56	±63
	$f_{p\alpha}$	Від 1 до 3,5	±38	±42
		Понад 3,5 до 6,3	±48	±53
		Понад 6,3 до 10	±53	±60
	f_i''	Від 1 до 3,5	45	50
		Понад 3,5 до 6,3	56	63
		Понад 6,3 до 10	63	71
11	f_{pt}	Від 1 до 3,5	±56	±63
		Понад 3,5 до 6,3	±71	±80
		Понад 6,3 до 10	±80	±90
	$f_{p\alpha}$	Від 1 до 3,5	±53	±60
		Понад 3,5 до 6,3	±67	±75
		Понад 6,3 до 10	±75	±85
	f_i''	Від 1 до 3,5	56	63
		Понад 3,5 до 6,3	71	80
		Понад 6,3 до 10	80	90

Примітка: 1. Прийняті позначення: f_i' – допуск на місцеву кінематичну похибку зубчастого колеса; $\pm f_{pt}$ – граничні відхили кроку; $\pm f_{p\alpha}$ – граничні відхили кроку зчеплення; f_f – допуск на похибку профілю зубця; f_i'' – допуск на коливання вимірювальної міжосьової відстані на одному зубці.

2. Допуск на місцеву кінематичну похибку передачі f_{io}' приймається рівним 1,25 f_i' колеса передачі.

Додаток Г

Таблиця 4

Норми плавності роботи (показники f_{zkr} або f_{zkr}) (за ГОСТ 1643–81, скорочено)

Ступінь точності	Частота k циклічної похибки за оберт зубчастого колеса	Ділильний діаметр d, мм			
		до 125		понад 125 до 400	
		Модуль m, мм			
		від 1 до 6,3	від 6,3 до 16	від 1 до 6,3	від 6,3 до 16
6	від 2 до 4	7,1	9	10	12
	понад 4 до 8	5	6,7	7,5	9
	понад 8 до 16	3,8	5	5,6	6,7
	понад 16 до 32	3	3,8	4,5	5,3
	понад 32 до 63	2,5	3,2	3,6	4,2
	понад 63 до 125	2,1	2,6	3	3,6
7	від 2 до 4	1,1	14	16	19
	понад 4 до 8	8	10	12	14
	понад 8 до 16	6	7,5	8,5	10,5
	понад 16 до 32	4,8	6	6,7	8
	понад 32 до 63	3,8	5	5,6	6,7
	понад 63 до 125	3,2	4,2	4,8	5,6
8	від 2 до 4	18	22	26	30
	понад 4 до 8	13	16	18	22
	понад 8 до 16	9,5	12	14	16
	понад 16 до 32	7,5	9,5	11	13
	понад 32 до 63	6	8,0	9	10
	понад 63 до 125	5,3	6,7	7,5	9
9	від 2 до 4	25	32	36	42
	понад 4 до 8	18	22	26	30
	понад 8 до 16	14	17	20	22
	понад 16 до 32	11	13	15	18
	понад 32 до 63	8	11	12	15
	понад 63 до 125	7,1	9,5	10	12

Примітка 1. Прийняті позначення: f_{zk} – допуск на циклічну похибку зубчастого колеса; f_{zko} – допуск на циклічну похибку передачі.

При контролюванні зубчастої передачі частота k приймається за колесом передачі. При контролюванні з вимірювальним зубчастим колесом частота k приймається за контрольованим зубчастим колесом.

Додаток Г

Таблиця 5

Норми плавності роботи (показники f_{zzor}) (за ГОСТ 1643–81, скорочено)

Ступінь точності за показником f_{zzor}	Модуль m, мм	Частота k (k=z) за оберт				Ступінь точності за показником f_{zzor}	Модуль m, мм	Частота k (k=z) за оберт			
		до 16	від 16 до 32	від 32 до 63	від 63 до 125			до 16	від 16 до 32	від 32 до 63	від 63 до 125
5	Від 1 до 3,5	6,7	7,1	7,5	8	7	Від 1 до 3,5	15	16	17	18
	Понад 3,5 до 6,3	8	8,5	9	10		Понад 3,5 до 6,3	18	19	20	22
	Понад 6,3 до 10	10	11	11	12		Понад 6,3 до 10	22	24	24	26
6	Від 1 до 3,5	10	10	11	12	8	Від 1 до 3,5	22	24	24	25
	Понад 3,5 до 6,3	12	13	14	15		Понад 3,5 до 6,3	28	28	30	32
	Понад 6,3 до 10	14	16	17	18		Понад 6,3 до 10	32	34	36	38

Примітка: 1. f_{zzo} — допуск на циліндричну похибку зубцевої частини в передачі.
2. При контролюванні передачі частоту k приймають рівною z — кількості зубців колеса передачі.
3. При контролюванні з вимірювальним зубчастим колесом частоту k приймають рівною z — кількості зубців контрольованого зубчастого колеса.
f_{zz} — допуск на циліндричну похибку зубцевої частоти зубчастого колеса встановлюється рівним $0{,}6\,f_{zzo}$, який приймають за табл. 2.81 ГОСТу.

Додаток Г

Таблиця 6

Норми контакту зубців у передачі (сумарна пляма контакту) (за ГОСТ 1643–81, скорочено)

Ступінь точності	Відносні розміри сумарної плями контакту, %	
	по висоті зубців, не менше	по довжині зубців, не менше
5	55	80
6	50	70
7	45	60
8	40	50
9	30	40
10	25	30
11	20	25
12	15	20

Додаток Г

Таблиця 7

Норми контакту зубців (показник F_β) (за ГОСТ 1643–81, скорочено)

Модуль m, мм	Ширина зубчастого вінця, мм		Ступінь точності	Позначення	Модуль m, мм	Ширина зубчастого вінця, мм	
	до 40	понад 40 до 100				до 40	понад 40 до 100
	похибка, мкм					похибка, мкм	
від 1 до 10	4,5	6	8	F_β	від 1 до 40	18	25
від 1 до 10	5,5	8	9	F_β	від 1 до 55	28	40
від 1 до 16	7	10	10	F_β	від 1 до 55	45	63
від 1 до 16	9	12	11	F_β	від 1 до 55	71	100
від 1 до 25	11	16	12	F_β	від 1 до 55	112	160

Примітка. Позначення F_β — допуск на напрямок зубця.

Додаток Г

Таблиця 8

Норми бічного зазору (показники $j_{n\,min}$, f_{ar}) (за ГОСТ 1643–81, скорочено)

Ступінь точності	Вид спряження	Позначення	Міжосьова відстань a'', мм						
			до 80	понад 80 до 100	понад 125 до 180	понад 180 до 250	понад 250 до 315	понад 315 до 400	понад 400 до 500
			Похибка, мкм						
II	H	$j_{n\,min}$	0	0	0	0	0	0	0
II	H		30	35	40	46	52	57	63
III	H		46	54	63	72	81	89	97
IV	H		74	87	100	115	130	140	155
V	H		120	140	160	185	210	230	250
VI	H		190	220	250	290	320	360	400
II	H	f_a	±10	±11	±12	±14	±16	±18	±20
II	H		±16	±18	±20	±22	±25	±28	±30
III	H		±22	±28	±30	±35	±40	±45	±50
IV	H		±35	±45	±50	±55	±60	±70	±80
V	H		±60	±70	±80	±90	±100	±110	±120
VI	H		±100	±110	±120	±140	±160	±180	±200

Примітка. У клас відхилів міжосьової відстані використовують при зміні відповідності між видом спряження і класом відхилу міжосьової відстані; $j_{n\,min}$ – гарантований бічний зазор; $\pm f_a$ – допуск відхилу міжосьової відстані.

Додаток І

Таблиця 1

Норми бічного зазору. Допуск на зміщення вихідного контуру $T_н$, мкм (за ГОСТ 1643–81, скорочено)

Різновид з'єднання	Різновид допуску	Допуск на радіальне биття вінця F_r, мкм					
		до 8	понад 8 до 10	понад 10 до 12	понад 12 до 16	понад 16 до 20	понад 20 до 25
H, E	*h*	28	30	35	40	40	45
D	*d*	35	40	40	45	55	60
C	*c*	45	50	55	60	70	80
B	*b*	55	60	70	70	80	90
A	*a*	70	80	80	90	100	100
Різновид з'єднання	Різновид допуску	понад 25 до 32	понад 32 до 40	понад 40 до 50	понад 50 до 60	понад 60 до 80	понад 80 до 100
H, E	*h*	55	60	70	80	110	120
D	*d*	70	80	90	100	140	160
C	*c*	90	100	120	140	180	200
B	*b*	100	120	140	180	200	250
A	*a*	140	160	180	200	250	300

* Різновид допуску на бічний зазор використовують при зміні відповідності між різновидом з'єднання і різновидом допуску бічного зазору.

Навчальне видання

КОГУТ Микола Степанович

ВЗАЄМОЗАМІННІСТЬ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ і ТЕХНІЧНІ ВИМІРЮВАННЯ

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Редактор Л. Ключкевич, Е.Главацька
Художній редактор І. Шутурма
Коректор О. Тростятин

Формат 60x84$^{1}/_{16}$. Папір офс. Гарнітура SchoolBook.
Умов. друк. арк. 23,25. Обл.-вид. арк. 21,00.
Додатковий тираж 22 пр. Зам. 2С.

Державне підприємство
“Всеукраїнське спеціалізоване видавництво “Світ”
79008 м. Львів, вул. Галицька, 22
Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 2980 від 19.09.2007
e-mail: office@svit.gov.ua
svit_vydav@ukr.net; www.svit.gov.ua